

D.E.A Exploitation Durable des Ecosystèmes Littoraux
Option Gestion Durable en Milieu Tropical
2003/2004, Université de La Rochelle

Mémoire présenté par Laure Carassou

STRUCTURE SPATIO-TEMPORELLE DES ASSEMBLAGES DE JEUNES
POISSONS DANS LES ZONES COTIERES AUTOUR DE NOUMÉA, LIENS
AVEC L'ENVIRONNEMENT

Sous la direction scientifique de
Dominique Ponton, chargé de recherche IRD

Soutenu à La Rochelle le 12 juillet 2004



ZoNéCo
PROGRAMME D'ÉVALUATION DES RESSOURCES MARINES
DE LA ZONE ÉCONOMIQUE DE NOUVELLE-CALÉDONIE



REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier Dominique Ponton pour m'avoir permis de réaliser ce stage de cinq mois au sein de l'UR081, pour ses conseils rigoureux et sa grande disponibilité. Je le remercie également pour son soutien professionnel comme moral pendant toute la durée de ce stage et pour la confiance qu'il m'accorde pour l'avenir.

Je remercie la direction du Programme d'Evaluation des Ressources Marines de la Zone Economique de Nouvelle-Calédonie (ZONECO), sous la responsabilité de M. Farman, et grâce à l'intermédiaire de l'Agence de Développement Economique de la Nouvelle-Calédonie (ADECAL), représentée par M. Jean-Michel Arlie, pour leur soutien financier, sans qui cette étude n'aurait pas été réalisable.

Je remercie également l'IRD, représenté par M. Colin, pour m'avoir accueilli au centre, et m'avoir permis de réaliser ce travail dans d'excellentes conditions.

Je remercie Philippe Borsa pour ses lectures critiques et corrections de mes travaux.

Un grand merci à toutes les personnes qui ont participé à l'échantillonnage et au travail de laboratoire :

- Pour l'adaptation des pièges lumineux aux conditions de terrain de Nouvelle-Calédonie : G. Mou Tham, F. Murasaki, avec l'aide de J. Baly.
- Les différents capitaines du NO Coris, au cours des 18 mois d'échantillonnage : G. Barbigant, M. Clarque, E. Folcher et S. Tereua.
- Toutes les personnes qui ont participé à l'échantillonnage : J. Baly, P. Borsa, E. Durieux, D. Franko, A. Gautier, T. Hoareau, D. Milton, J. Mounier, G. Mou Tham, W. Nigote, D. Ponton, F. Rigault.
- Pour les tris et mesures des échantillons : J. Baly

Pour la communication des données météorologiques : L. Maitrepierre, Météo-France, Nouvelle-Calédonie.

Je tiens également à remercier M. Kulbicki et C. Chevillon (IRD Nouméa) pour m'avoir donné accès à certains de leurs résultats.

Merci aussi à Aymerick Jouon et Marion Amand (IRD Nouméa) pour leur aide.

Enfin, merci à Adeline Collet, Erika Gervasoni et Stéphanie Pedron pour avoir supporté mes plaintes pendant la rédaction du rapport, et à tous mes colocataires du loft, avec qui j'ai passé d'excellents moments.

Merci enfin à Franck pour son soutien précieux.

PREMIERE PARTIE : RAPPORT BIBLIOGRAPHIQUE

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	p. 1
2. CYCLE DE VIE DES POISSONS RÉCIFO-LAGONAIRES	p. 2
2.1. La reproduction et la ponte	p. 2
2.2. La phase pélagique	p. 2
2.3. La phase de colonisation et installation	p. 3
3. METHODES D'ÉTUDE DE LA PHASE PELAGIQUE	p. 5
3.1. Echantillonnage	p. 5
3.2. Identification	p. 5
4. LES PATRONS TEMPORELS D'ABONDANCE	p. 6
5. DISTRIBUTION HORIZONTALE DES JEUNES POISSONS	p. 7
6. DISTRIBUTION VERTICALE DES JEUNES POISSONS	p. 9
7. CONCLUSIONS	p. 10
Références bibliographiques citées	p. 11

Tableau 1 : Liste non exhaustive des principaux thèmes abordés dans la littérature sur les premiers stades de vie des poissons récifo-lagonaires par zone géographique, avec les références correspondantes.

Zone géographique	Site	Thème abordé	Référence
ATLANTIQUE TROPICAL Caraïbes	Puerto Rico	Description des assemblages dans les zones côtières	Dennis <i>et al.</i> , 1991
		Influence des processus océanographiques et du cycle lunaire	Thorrold <i>et al.</i> , 1994a, 1994b
	Bahamas	Relation ontogénie/habitat	Dahlgren et Eggleston, 2000
		Patrons de distribution en zone côtière	Sponaugle et Cowen, 1996
	Barbade	Migrations et relations à l'environnement dans les mangroves	Cocheret de la Morinière <i>et al.</i> , 2002, 2003
		et herbiers	
	Curaçao	Changements ontogénétiques abordés par l'alimentation dans le continuum mangroves-herbiers-récifs.	Nagelkerken et van der Velde, 2002
		Importance des habitats de mangroves et herbiers	Nagelkerken <i>et al.</i> , 2001
	Virgin Islands	Rétention larvaire et recrutement	Swearer <i>et al.</i> , 1999
		Dynamique des assemblages	Sponaugle <i>et al.</i> , 2003
Floride	Florida Bay (keys)	Composition des assemblages, stade d'installation	Beckley et Naidoo, 2003
Afrique du Sud			
PACIFIQUE SUD Australie	Brisbane (Moreton Bay)	Importance des habitats de mangroves	Laegdsgaard et Johnson, 2000
		Dynamique des assemblages	Ault et Johnson, 1998
	Grande Barrière de Corail	Amplitude et synchronicité du recrutement	Milicich et Doherty, 1994
		Prédictabilité du recrutement par le stock larvaire	Milicich <i>et al.</i> , 1992
		Couplage recrutement/processus océanographiques	Milicich, 1994
		Patrons spatio-temporels d'abondance	Kingsford, 2001
		Relation recrutement/phase lunaire et processus physiques	Kingsford et Finn, 1997
		Autorecruitment	Jones <i>et al.</i> , 1999
		Prédation à la transition larve-juvénile	Hoey et McCormick, 2004
		Etude comportementale (colonisation)	Leis et Carson-Ewart, 2002
		Etude ontogénétique (métamorphose)	McCormick <i>et al.</i> , 2002
		Patrons spatio-temporels d'abondance	McIlwain, 2003
	Exmouth (côte ouest)	Relation recrutement/habitats (herbiers, récifs algaux, fonds sableux).	Jenkins et Wheatley, 1998
	Port Philip Bay (côte Sud)		
Nouvelle Zélande	Péninsule de Kaikoura (côte Nord-Est, île du Sud)	Comparaison des phases dispersives selon le type de ponte	Hickford et Schiel, 2003
	Ti Point	Capacités auditives et orientation des larves	Tolimieri <i>et al.</i> , 2000
PACIFIQUE CENTRAL Polynésie	Archipel des Tuamotu et îles Sociétés (Moorea)	Composition et densité des assemblages selon les sites/habitats	Leis <i>et al.</i> , 2003
			Lecchini, 2004
		Etude expérimentale sur les capacités sensorielles des larves	
OCEAN INDIEN Madagascar	Lagon de Tulear et mangrove de Sarodrano	Patrons temporels d'abondance	Laroche <i>et al.</i> , 1997

1. INTRODUCTION

Les études sur l'écologie des poissons tropicaux d'habitats récifaux ont connu un essor depuis une vingtaine d'années en raison de l'intérêt croissant des scientifiques pour la grande diversité faunistique qui caractérise les récifs coralliens (Sale, 1991), souvent citée comme l'équivalent de la forêt tropicale en milieu marin (Connell, 1974). Cette grande diversité faunistique et plus particulièrement ichtyologique constitue une ressource non négligeable pour les populations locales, ce qui a retenu l'attention des décideurs locaux. Soumis à de fortes pressions anthropiques, les milieux coralliens sont également très fragilisés, d'où l'intérêt majeur d'accroître les efforts de recherche sur ces milieux et sur les multiples ressources exploitables et souvent menacées qu'ils contiennent. Dans ce contexte, la compréhension des processus susceptibles d'influencer les stocks de poissons commerciaux adultes est un outil indispensable à l'élaboration de plans de gestion adaptés.

C'est lors des premiers stades de vie que la majorité des facteurs qui vont déterminer l'importance du stock adulte entrent en jeu. Pourtant, à l'inverse du domaine tempéré, les études portant sur l'écologie des jeunes poissons en milieu corallien et sur leur relation avec l'habitat n'ont débuté que récemment (Leis, 1991 ; références principales : tableau 1). L'avancée de la connaissance sur ce thème apparaît donc très pertinente puisqu'elle permettra de mieux comprendre les différentes étapes du cycle de vie des poissons exploités et ainsi de déterminer les habitats essentiels à protéger pour le maintien des populations adultes.

Les études existantes sur l'écologie des premiers stades de vie des poissons récifo-lagonaires se sont principalement intéressées aux processus du recrutement et à l'utilisation des habitats côtiers comme nourricerie ou refuge par les juvéniles de poissons récifaux ou pélagiques tropicaux (tableau 1). Leurs distributions horizontales et verticales à plus ou moins grande échelle spatiale ont aussi été étudiées ainsi que la variabilité temporelle des assemblages. Les relations entre facteurs physiques et biologiques susceptibles d'influencer ces patrons de distribution ont également été traitées dans divers travaux, les facteurs physiques principaux étudiés étant le vent, le cycle lunaire, les courants et la marée. Quelques travaux ont aussi abordé des aspects de la biologie des jeunes poissons récifaux (croissance, alimentation, ontogénie, capacités sensorielles et activité de nage des larves...).

Les zones géographiques concernées par ces travaux se répartissent entre l'Atlantique tropical et le Pacifique, avec quelques études en Océan Indien (tableau 1). Aucune étude sur le sujet n'a encore été effectuée en Nouvelle-Calédonie.

2. CYCLE DE VIE DES POISSONS RÉCIFO-LAGONAIRES

2.1. La reproduction et la ponte

Comme chez la plupart des poissons osseux, la reproduction se fait par fécondation externe. Il existe deux types de ponte chez les poissons récifaux : la ponte de type benthique, avec divers niveaux de soins parentaux, et celle de type pélagique où les œufs sont largués directement dans la colonne d'eau sans soins parentaux (Leis et McCormick, 2002). Le type de ponte ne semble pas influencer la dispersion larvaire : les larves issues d'œufs de type benthique ne sont pas forcément limitées en distance de déplacement aux zones proches des récifs ou aux lagons dont elles proviennent (Hickford et Shiel, 2003).

2.2. La phase pélagique

La plupart des poissons récifaux présentent un cycle de vie en deux phases distinctes : une phase pélagique ou dispersive durant le stade larvaire et une phase benthique sédentaire à l'âge adulte (Leis, 1991). Ces deux phases se distinguent par des caractéristiques biologiques (morphologie, comportement, alimentation et croissance) se traduisant par des habitats différents (Leis, 1991 ; Leis et McCormick, 2002). Sur environ 100 familles de poissons osseux associées aux récifs coralliens, seulement quatre semblent ne pas présenter de phase larvaire pélagique : les Plotosidae, les Batrachoididae, les Scianidae récifaux et les Pholidichthyidae (Leis, 1991). Cette absence de phase larvaire pélagique a également été constatée chez une espèce de Pomacentridae : *Acanthochromis polyacantha*, et le genre *Ogilbia* de la famille des Bythitidae (Leis, 1991).

Le schéma le plus répandu de la succession de ces deux phases a été décrit en Polynésie française, à Moorea en particulier (Leis *et al.*, 2003 ; Lecchini et Galzin, 2003 pour les travaux les plus récents). Selon ce schéma, les larves de poissons, une fois écloses, quittent le lagon pour rejoindre les eaux océaniques. Cette phase dispersive peut avoir une durée variable. Des études otolithométriques ont montré que cette durée varie suivant les taxons et géographiquement, voire saisonnièrement pour une même espèce (Randall, 1961). Cette durée peut s'étendre de neuf à plus de 100 jours suivant les espèces (Leis, 1991). Chez certaines espèces, la durée de vie pélagique peut être modulée selon les conditions de croissance rencontrées en milieu océanique (Leis, 1991).

Pendant la phase dispersive, les larves présentent des spécialisations morphologiques très particulières qui leur donnent souvent un aspect très différent de celui du stade adulte (Leis, 1991 ; Leis et Trnski, 1989). Ces spécialisations permettent la nage ou la flottaison optimale dans les eaux océaniques et sont également soupçonnées de jouer un rôle pour limiter la prédation (Leis et Carson-Ewart, 1997). La prédation est en effet très forte pendant cette période (Leis et McCormick, 2002), mais elle semble moins intense en milieu pélagique qu'en milieu récifal, d'où l'intérêt

supposé de l'existence de cette phase dispersive océanique (Johannes, 1978). Leis et Carson-Ewart (1997) ont observé des taux de prédation sur les jeunes poissons en phase d'installation supérieurs sur les récifs ou dans leurs environs qu'en milieu océanique, confirmant ainsi l'hypothèse de Johannes (1978).

Comme pour beaucoup de poissons tempérés, la formation de bancs pendant la phase larvaire pélagique chez les poissons récifaux est probable (Leis, 1991 ; Leis et McCormick, 2002). Ce comportement a pu être observé chez les Acanthuridae (Leis, 1991), chez les Mullidae, chez au moins deux espèces de Pomacentridae et chez certains Lutjanidae (McCormick et Milicich, 1993 ; Leis et Carson-Ewart, 1997).

2.3. *La phase de colonisation et installation*

A partir d'un certain stade de développement, les larves se dirigent vers un récif plus ou moins éloigné de leur récif d'origine (Leis *et al.*, 2003). Selon le schéma décrit à Moorea (Leis *et al.*, 2003 ; Lecchini et Galzin, 2003), il semble que les larves retournent dans le lagon en passant par-dessus la barrière, utilisant les mouvements de la houle et des marées, pour aller coloniser les récifs à l'intérieur du lagon. Cette étape marque la fin de la phase pélagique. Il s'agit de la phase de colonisation. On parle de colonisation allochtone lorsque les larves qui entrent dans le lagon proviennent d'un autre ensemble récifal, ou de colonisation autochtone lorsque les larves s'installent sur leur récif d'origine. La taille des individus au moment de la colonisation dépend du taux de croissance pendant la phase dispersive et de la durée de celle-ci. Elle varie donc d'une espèce à l'autre (Leis et McCormick, 2002), voire d'une zone géographique à l'autre pour une même espèce (Tresher *et al.*, 1989) et dépend des conditions alimentaires rencontrées durant la phase pélagique (Leis et McCormick, 2002).

La distance à parcourir pour rejoindre un récif au début de la phase de colonisation peut atteindre plusieurs centaines de kilomètres (Leis et McCormick, 2002). Ce retour vers le récif a longtemps été considéré comme une phase passive, durant laquelle les larves sont transportées au gré des courants océaniques. Cette idée a été abandonnée lorsqu'à la suite des travaux de Sale (1970), Buri et Kawamura (1983) ont montré que la plupart des poissons récifaux en fin de phase pélagique sont à des stades de développement avancés et dotés de capacités de nage active qui leur permettent de contrôler leurs déplacements.

Depuis l'article de Sale (1970), de nombreuses hypothèses ont été émises quant au rôle des facteurs physiques dans les déplacements larvaires. L'influence des facteurs hydrodynamiques, en particulier le rôle des courants océaniques, a été largement abordée dans la littérature (Leis, 1991 ; Milicich, 1994 ; Thorrold *et al.*, 1994a et b).

L'hypothèse de Randall (1961) concernant le rôle des boucles de courants de retour autour des récifs a été ensuite reprise par de nombreux auteurs (Emery, 1972 ; Powles, 1977 ; Lobel et Robinson, 1983, 1986 ; Bakun, 1986). Le rôle des courants de marée a également été étudié (Leis, 1986 ; Wolanski et Hammer, 1988). Le transport d'Ekman (Bakun, 1986), le transport de surface de Stokes et les différences de densité ou de turbidité des eaux à l'approche des côtes (Bakun, 1986), ont également été proposés comme facteurs influençant les mouvements larvaires pendant la phase de retour vers les récifs. La plupart de ces facteurs ne permettent pas d'expliquer à eux seuls les trajectoires et distances parcourues par les larves en phase de colonisation. Des éléments comportementaux propres aux larves doivent donc être pris en compte et devraient même être suffisants à eux seuls pour permettre le retour vers le récif de certaines espèces (Leis, 1991). L'influence des phases lunaires sur les processus de la colonisation a été étudiée par de nombreux auteurs qui ont démontré que les juvéniles sont plus abondants dans le milieu récifal juste après les phases de pleine lune et de nouvelle lune, avec des patrons temporels variables selon les taxons (Milicich, 1994 ; Milicich et Doherty, 1994 ; Thorrold et al. 1994a ; Kingsford et Finn, 1997).

Une fois en milieu lagonaire, les jeunes poissons sont exposés à un environnement complexe dans lequel ils doivent choisir un habitat parmi les nombreux substrats potentiels, et éviter les compétiteurs intra et interspécifiques ainsi que les nombreux prédateurs (Leis, 1991 ; Lecchini et Galzin, 2003). La phase de recherche d'un habitat favorable à l'intérieur du lagon est dite phase de pré-installation. Elle est suivie par la phase d'installation, pendant laquelle les jeunes poissons adoptent un habitat qui, de par le caractère sédentaire des adultes pour beaucoup d'espèces récifales, restera le même toute leur vie (Leis, 1991 ; Leis et McCormick, 2002). L'installation marque donc la fin de la vie pélagique des poissons, et le début de leur vie benthique (Leis et McCormick, 2002). La pré-installation est une étape critique dans la survie des jeunes poissons puisque c'est d'elle que va dépendre le succès du recrutement. En effet, le recrutement est défini comme l'apport de nouveaux individus dans la population adulte. Il correspond donc à la proportion de larves qui survivent et terminent toute leur métamorphose. La découverte et la sélection d'un habitat qui optimise les chances de survie des jeunes poissons sont donc essentielles.

Après leur installation, les larves continuent leur métamorphose jusqu'à atteindre une morphologie semblable à celles des adultes. Cette métamorphose dure plus ou moins longtemps selon le stade de développement que les larves avaient atteint lors de leur installation et qui dépend des taxons (McCormick *et al.*, 2002). Pendant leur vie adulte, les poissons récifaux sont très sédentaires et parcourent en général peu de distance autour de leur habitat habituel (Leis, 1991).

Tableau 2 : Techniques d'échantillonnage courantes pour l'étude des premiers stades de vie des poissons récifolagounaires d'après Doherty (1987) et Leis (1991).

<i>TECHNIQUE D'ECHANTILLONNAGE :</i>	<i>ZONES RECIFALES « CIBLES »</i>	<i>PHASE DE DEVELOPPEMENT « CIBLE » DES POISSONS</i>	<i>AVANTAGES</i>	<i>INCONVENIENTS</i>
Filet à plancton standard	Toutes	Petites classes de taille	Facilité d'utilisation	<i>Volumes d'eau filtrés faibles. Pas de prise des individus plus gros et plus rares, seulement accès aux taxons les plus abondants. Echantillonnage synoptique difficile.</i>
Filets maillants	Toutes	Fonction de la maille choisie	Permet de cibler une classe de taille particulière	Ne permet que la capture des juvéniles de grande taille.
Senne tournante	Zones de pleine eau	Individus en surface	Facilité d'emploi, efficacité pour les jeunes stades	Evitement important, réplicabilité difficile. Mise en œuvre complexe.
Pièges lumineux	<i>Lagon, zone côtière et zones plutôt abritées</i>	Espèces et stades de développement attirés par la lumière. Taille conditionnée par les ouvertures du piège	Choix de la profondeur de capture Echantillonnage synoptique possible	Forte sélectivité, coût, complexité de fabrication. Qualité de l'échantillonnage fortement soumise aux conditions de milieu (turbidité, courants, lune etc...).
Filets de crête	<i>Récif barrière (« surf zone »)</i>	Phase de colonisation	Peu d'évitement, cible les individus au moment de la colonisation, peu spécifique, grandes quantités d'individus récoltées	Soumis à la houle, mise en œuvre parfois complexe.
Verveux	<i>Chenauxtidaux</i>	Fonction de la maille choisie	Echantillonnage non spécifique des individus transportés par les marées	Mise en œuvre parfois complexe.

3. MÉTHODES D'ÉTUDE DE LA PHASE PELAGIQUE DE LA VIE DES POISSONS RÉCIFO-LAGONAIRES.

3.1. Echantillonnage.

Les techniques d'échantillonnage utilisées sont diverses et ne donnent souvent accès qu'à une fraction des informations recherchées (tableau 2). Les échelles de temps et d'espace concernées sont en effet très différentes selon les classes d'âge étudiées car, de par leur cycle biologique, les poissons récifaux changent d'habitats au cours de leur vie, influençant la distribution des assemblages (cf partie 2). Les techniques d'échantillonnage employées doivent tenir compte de ces différences (Leis, 1991). Le choix de la méthode utilisée dépend des abondances attendues, de l'âge (ou taille) des poissons, de leur activité (mobilité), et de leur comportement spécifique (Choat et al., 1991). Lorsque différentes méthodes sont utilisées, elles doivent être intercalibrées, ce qui est rarement le cas (Choat et al., 1991). De plus, pendant leur phase pélagique, beaucoup de poissons récifaux atteignent des tailles considérables, passant d'une taille « planctonique » à une taille « nectonique ». L'étude de leurs stades jeunes nécessite donc des connaissances dans chacun des deux domaines : plancton et necton (Leis, 1991).

De façon générale, les difficultés de l'échantillonnage des premiers stades de vie des poissons récifo-lagonaires peuvent être résumées en cinq points : une distribution des individus en agrégats (ou « patch »), la rareté de certains taxons ou leur caractère cryptique aux stades jeunes, l'inexistence d'une méthode unique valable pour toutes les classes d'âge, des distributions spatiales très variables dans le temps, et tri-dimensionnelles (Leis, 1991). Ces facteurs ne sont pas propres au domaine de l'écologie des premiers stades de vie des poissons récifaux, mais s'y rencontrent simultanément.

3.2. Identification.

Une des premières difficultés rencontrées lors des identifications des jeunes poissons récifo-lagonaires est un problème de définition. Les termes de larves, post-larves ou juvéniles restent mal définis. Le terme de larve a trait à la morphologie ou au stade de développement du poisson (Leis, 1991). La fin de la phase larvaire est arbitrairement définie comme une transition morphologique marquée vers l'aspect adulte (Leis et Trnski, 1989). Cette transition de la larve au juvénile peut être brusque ou graduelle selon les taxons (Leis, 1991). Un ouvrage entier a été consacré à cette question (Copp et al., 1999) sans toutefois régler le problème des définitions. Il est souvent admis que le terme de jeune larve désigne une larve dont la caudale n'est pas complètement formée, c'est le stade de préflexion ; alors que le terme de post-larve désigne le cas où la caudale a atteint son niveau de développement définitif, c'est le stade de post-flexion (Leis, 1991 ; Leis et Trnski, 1989). Le terme

pélagique est un terme écologique, qui sous-entend la notion de pleine eau, sans aucune référence à la taille des organismes (Leis, 1991). Pour éviter toute confusion, le terme général de jeune poisson sera utilisé le plus souvent dans cette étude. Le terme de larve sera appliqué aux stades pré-colonisation (phase dispersive). Une fois revenus en milieu récifal (colonisation, pré-installation et installation), les jeunes poissons seront arbitrairement considérés comme des juvéniles.

La plupart des études traitant des premiers stades de vie des poissons en phase de pré-installation présentent des niveaux d'identification variables et souvent hétérogènes. Les niveaux taxonomiques auxquels s'arrêtent en général les identifications sont la famille ou le genre, plus rarement l'espèce. Les difficultés d'identification sont liées au fait que les caractères permettant la reconnaissance des adultes ne sont pas toujours présents chez les jeunes. De plus, les adaptations à la vie pélagique qui sont présentes pendant cette période (Leis, 1991 ; Leis et Carson-Ewart, 2000 ; Leis et McCormick, 2002) font que la morphologie des jeunes peut être complètement différente de celle des adultes.

Les clés d'identification disponibles sur les jeunes stades de vie des poissons récifaux de l'Indo-Pacifique sont peu nombreuses (Leis et Trnski, 1989 ; Leis et Carson-Ewart, 2000), et concernent surtout la phase larvaire proprement dite. Ainsi, l'approfondissement des études d'ontogénie conduisant à des clés d'identification par stade de développement est une nécessité dans les perspectives de recherche futures dans le domaine (Leis, 1991 ; Leis et McCormick, 2002).

L'utilisation d'outils génétiques peut aider aux identifications mais la mise au point de protocoles rapides et efficaces pour chaque famille ou taxon est longue et coûteuse. En l'absence d'autres outils aussi efficaces, cette approche est néanmoins indispensable.

4. LES PATRONS TEMPORELS D'ABONDANCE.

Les études concernant la variation temporelle des abondances de jeunes poissons récifo-lagonaires sont nombreuses. Elles concernent principalement le stade de la pré-installation et ont été effectuées dans diverses zones géographiques : Australie (Ault et Johnson, 1998 ; Kingsford, 2001 ; Kingsford et Finn, 1997 ; McIlwain, 2003 ; Milicich, 1994 ; Milicich et Doherty, 1994), Floride (Sponaugle *et al.*, 2003), Antilles (Dennis *et al.*, 1991 ; Robertson, 1990), Polynésie (Leis *et al.*, 2003 ; Lecchini et Galzin, 2003 ; Lecchini, 2004).

Plusieurs types de patrons temporels d'abondance des larves existent chez les poissons récifaux : les stades larvaires de certaines espèces sont présents toute l'année, d'autres à des périodes données de l'année, souvent calées sur les cycles lunaires et en liaison avec la période de ponte des adultes (Kingsford, 1980 ; Robertson *et al.*, 1988 ; Leis et McCormick, 2002). Pour un même taxon, ces patrons temporels d'abondance peuvent varier d'un site géographique à l'autre (Leis et McCormick, 2002). Les périodes d'apparition des phases de pré-installation sont fortement liées aux cycles

lunaires et aux marées. Robertson (1991), en citant Kingsford (1980), propose l'hypothèse que les périodes de reproduction des adultes sont calées de telle sorte que les jeunes qui en sont issus sont au stade de développement adéquat pour l'installation lors de périodes lunaires particulières, favorisant ainsi leur retour vers le récif et leur installation.

5. DISTRIBUTION HORIZONTALE DES JEUNES POISSONS RECIFO-LAGONAIRES.

La distribution horizontale des stades jeunes des poissons récifaux est certainement l'aspect qui a le plus retenu l'attention des biologistes. Leis (1991) décrit ce qui est connu sur la distribution horizontale des stades pélagiques à la fin des années 1980 dans son article publié dans l'ouvrage de Sale (1991) mais de nombreux auteurs ont abordé cette question à différentes échelles de temps et d'espace et dans différents endroits du monde (Madagascar : Laroche et al., 1997; Iles Sociétés et Tuamotu : Leis et al., 2002; Bahamas : Thorrold et al., 1994a et b; Floride : Sponaugle et al., 2003; La Barbade : Sponaugle et Cowen, 1996; Grande Barrière australienne : Kingsford, 2001 ; Milicich, 1994, Milicich et Doherty, 1994 ; Kingsford et Finn, 1997 ; Ault et Johnson, 1998; Ningaloo Reef, Australie côte ouest : McIlwain, 2003; tableau 1).

Les jeunes poissons sont présents à la fois dans le lagon, au niveau des barrières, mais également très loin au large, parfois jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres du premier récif (Leis, 1991). A plus petite échelle spatiale, des différences de distribution ont pu être observées entre les côtes au vent et sous le vent, cette répartition pouvant être variable d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre (Milicich et Doherty, 1994).

L'influence des facteurs hydrodynamiques sur la distribution des stades pélagiques de poissons récifaux a été largement abordée dans de nombreuses études (Leis, 1991; Milicich, 1994 ; Thorrold et al., 1994a et b ; Sponaugle et Cowen, 1996 ; Kingsford, 2001 ; Lecchini et Galzin, 2003 ; Sponaugle et al., 2003). La vitesse et la direction des courants, océaniques pour la phase pélagique et locaux pour le stade de l'installation, ainsi que celle des vents semblent être des facteurs déterminants dans cette distribution. Le rôle de ces facteurs varie selon les espèces, selon les sites et selon les périodes de l'année. Les patrons de distribution horizontale à grande échelle, liés aux facteurs hydrodynamiques, sont propres à chaque taxon et fortement variables dans le temps et l'espace d'une zone géographique à l'autre (Leis et McCormick, 2002).

Plusieurs études ont mis en relation structure des assemblages et habitat, notamment des études sur le rôle potentiel des mangroves et herbiers comme nourriceries pour les juvéniles de poissons (Dennis et al., 1991 ; Jenkins et Wheatley, 1998 ; Meng et Powell, 1999 ; Dahlgren et Eggleston, 2000 ; Laegdsgaard et Johnson, 2000 ; Nagelkerken et al., 2001 ; Cocheret de la Morinière et al., 2002 ; Nagelkerken et van der Velde, 2002 ; Leis et McCormick, 2002 ; Heck et al., 2003).

L'hypothèse du rôle de nourricerie des zones de mangrove pour les juvéniles a été remis en question, notamment par Heck et al. (2003), suggérant que les facteurs influençant la répartition spatiale des juvéniles sont en fait beaucoup plus complexes que ce qui avait été suggéré auparavant. De récentes études ont démontré que les larves de poissons récifaux présentent des capacités de nage très importantes, susceptibles d'influencer les patrons de distribution horizontale ou verticale des assemblages. La vitesse de nage moyenne in situ de 50 espèces de larves de poissons récifaux étudiées sur la Grande Barrière de Corail australienne et les îles Tuamotu est de 20,6 cm.s⁻¹, avec des vitesses maximales atteignant 60 cm.s⁻¹ soit 2,14 km.h⁻¹ (Leis et Carson-Ewart, 1997). La vitesse moyenne des courants dans ces sites d'étude étant de 10 à 20 cm.s⁻¹, les larves de poissons sont donc capables de contrôler leurs déplacements. Cette vitesse de nage importante s'accompagne d'une grande résistance dans la durée. En laboratoire, les larves de 51 espèces de poissons récifaux ont parcouru 40,7 km, soit 83,7 h de nage en continu. Les individus de certaines familles sont capables de nager en moyenne 84 km, soit 194 h sans apport de nourriture (Leis et Carson-Ewart, 1997). Cette capacité d'endurance est également fonction de la quantité de nourriture disponible et de la vitesse de nage (Fisher et Bellwood, 2002).

De nombreuses études ont démontré que les larves de poissons récifaux possèdent des capacités sensorielles très développées qu'elles utilisent lors des processus de dispersion pélagique ou de colonisation, pour se diriger vers un récif. Leis et Carson-Ewart (2003) indiquent, en citant Sweatman (1988) que les larves pourraient utiliser l'odeur des récifs ou des poissons adultes peuplant ces récifs pour se diriger vers les sites d'installation. Leur sens de la vue est également très développé (Leis et Carson-Ewart, 2002), ainsi que celui de l'ouïe. Le bruit du déferlement des vagues sur la barrière pourrait ainsi également être un facteur d'orientation à grande distance pour les larves (Tolimieri et al., 2000 ; Leis et McCormick., 2002). Ces capacités sensorielles peuvent varier d'une espèce à l'autre et les trajectoires de nage observées chez différents taxons semblent montrer que chaque espèce exploite une capacité différente pour s'orienter. Par exemple, pendant la journée les larves de Pomacentridae semblent utiliser un compas solaire pour se diriger vers le récif, ce qui, dans la Mer de Corail par exemple, augmente leur chance de rencontrer un site potentiel d'installation en les dirigeant vers l'ouest et donc vers les zones récifales (Leis, 1991 ; Leis et McCormick, 2002). Au contraire, Leis (1991) indique que les larves de Chaetodontidae sont capables de détecter la présence de récifs et de s'en éloigner. Leis et Carson-Ewart (2003) ont également observé que certaines espèces (*Pomacentrus lepidogenys*, Pomacentridae par exemple) sont capables non seulement de repérer les récifs mais également d'évaluer la distance qui les sépare de ce récif. Leis (1991) et Leis et Carson-Ewart (2003) indiquent que les capacités d'orientation des larves sont également variables dans le temps et l'espace. Des différences de

comportement d'orientation ont en effet été observées entre le jour et la nuit, ou entre le matin et l'après-midi, ou encore entre les côtes au vent ou sous le vent, ou suivant la distance à la côte. Ces différences démontrent l'existence d'une plasticité des capacités d'orientation chez les larves de poissons récifaux, mettant ainsi en évidence la complexité de leurs biologie et écologie, et l'intérêt de pousser plus avant les études sur le sujet.

6. DISTRIBUTION VERTICALE DES JEUNES POISSONS RÉCIFO-LAGONAIRES.

La distribution verticale des assemblages de jeunes poissons récifaux est mieux connue en zone côtière qu'en milieu océanique, où la tendance générale semble montrer que les larves de poissons coralliens restent concentrées dans les premiers 100 m de profondeur, ce qui reste très imprécis.

Leis (1991) cite huit travaux de référence sur cet aspect, couvrant plusieurs zones géographiques : Watson (1974) et Leis (1978) pour Hawaii ; Liew (1983) et Leis (1986, 1991) pour la Grande Barrière de Corail australienne ; Dekhnik et al. (1966) pour Cuba, Robinson (1985) pour la Floride, et Aboussouan (1965) pour l'Afrique de l'Ouest. Dans chaque cas, des patrons de distribution spécifiques ont pu être observés, avec peu de variabilité spatiale ou temporelle, à l'exception de variations jour/nuit. La plupart des travaux cités présentent des défauts, notamment un manque d'analyse statistique pour appuyer l'information ainsi que des problèmes d'identification d'espèces (Leis, 1991). Les résultats issus de ces études concluent à une structuration des assemblages plus marquée le jour que la nuit, avec des pics d'abondance à des profondeurs propres à chaque taxon. La nuit, les patrons de distribution sont beaucoup moins stables et la stratification verticale des abondances est beaucoup moins nette. La plupart des larves étudiées (10 familles) semblent éviter la strate du neuston pendant la journée, mais y entrer pendant la nuit (Leis, 1991). De façon générale, les patrons spécifiques de distribution verticale sont assez mal compris, et difficiles à déterminer, en raison d'une grande variabilité temporelle et de l'influence des facteurs environnementaux, eux-mêmes nombreux et variables dans le temps et l'espace.

Watson (1974) a émis l'hypothèse que la plupart des larves de poissons récifaux-lagonaires présentent des affinités pour certains niveaux de luminosité, qui déterminent la profondeur qu'elles occupent pendant la journée. La déstructuration de cette distribution en profondeur pendant la nuit serait alors due à un défaut d'orientation des larves pendant la nuit. Le fait que la structure verticale de certains taxons pendant la journée se maintient seulement les nuits de pleine lune semble confirmer cette hypothèse. Dufour (1991) l'appuie également en étudiant l'effet de la lumière sur la colonisation larvaire, et en démontrant que les profondeurs occupées par les jeunes poissons dans la colonne d'eau pendant cette phase sont fortement dépendantes de la luminosité ambiante. Peu de travaux ont été réalisés sur cet aspect depuis la synthèse de Leis (1991) et plus d'informations

seraient nécessaires pour tracer un profil général ou spécifique de la distribution verticale des larves, et surtout déterminer les facteurs qui influencent cette répartition (stratification des masses d'eau, courantologie, bathymétrie etc...).

7. CONCLUSION

Les études réalisées jusqu'à présent sur les stades de pré-installation des poissons récifo-lagonaires montrent donc des schémas complexes de répartition spatiale et temporelle, liés à la fois aux facteurs environnementaux et aux facteurs biologiques spécifiques de chaque taxon. Cette complexité est accentuée par la grande variabilité des distributions spatiales et temporelles qui existe au sein d'un même taxon entre zones géographiques, et par la multitude des facteurs forçants inter-reliés les uns avec les autres et variables dans le temps qui jouent sur ces distributions. Les études des premiers stades de vie des poissons récifo-lagonaires nécessitent donc une description préalable des peuplements et des caractéristiques environnementales générales sur chaque grande zone géographique ainsi que la prise en compte de facteurs locaux susceptibles de faire varier les schémas généraux connus ou admis actuellement. Une telle description dans des sites coralliens qui diffèrent des sites de Polynésie ou d'Australie, les mieux étudiés, permettrait de déterminer si les facteurs identifiés comme responsables de la variabilité des patrons temporels ou spatiaux, horizontaux ou verticaux, restent valables dans des milieux différents. Le schéma classique du cycle biologique décrit pour Moorea (phase pélagique océanique, puis recrutement dans le lagon) nécessite d'être testé sur des sites présentant des caractéristiques hydrologiques ou géomorphologiques différentes, comme la Nouvelle-Calédonie par exemple. Des études ontogénétiques s'avèrent également nécessaires dans ce cadre, de façon à définir plus clairement les stades de développement en liaison avec les changements d'habitat.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES.

- Aboussouan A., 1965. Oeufs et larves de téléostens de l'Ouest africain – II. Distribution verticale. *Bull. Inst. Fondam. Afr. Noire* 27 : 1504-1521.
- Ault T.R., Johnson C.R., 1998. Spatially and temporally predictable fish communities on coral reefs. *Ecol. Monog.* 68 : 25-50.
- Bakun A., 1986. Local retention of planktonic early life stages in tropical reef/bank demersal system: The role of vertically-structured hydrodynamic processes. In D. Pauly and A. Yanez-Arancibia (eds.) : "IOC/FAO Workshop on Recruitment in Tropical Coastal Demersal Communities", *IOC Workshop Rep.* 44 (suppl.), pp. 15-3. UNESCO, Paris.
- Beckley L.E., Naidoo A.K., 2003. Exploratory trials with light-traps to investigate settlement stage fishes in subtropical, coastal waters off South Africa. *Afr. Zool.* 38 : 333-342.
- Buri P., Kawamura G., 1983. The mechanics of mass occurrence and recruitment strategy of milkfish *Chanos chanos* (Forsskal) fry in the Philippines. *Mem. Kagoshima Univ. Res. Cent. South Pac.* 3 : 33-55.
- Choat J.H., Doherty P.J., Kerrigan B.A., Leis J.M., 1991. A comparison of towed nets, purse seines and light aggregation devices for sampling larvae and pelagic juveniles of coral reef fishes. *Fish. Bull.* 91 : 195-209.
- Cocheret de la Morinière E., Pollux B.J.A., Nagelkerken I., van der Velde G., 2002. Post-settlement life cycle migration patterns and habitat preference of coral reef fish that use seagrass and mangrove habitats as nurseries. *Est. Coast. Shelf Sci.* 55: 309-321.
- Cocheret de la Morinière E., Pollux B.J.A., Nagelkerken I., Hemminga M.A., Huiskes A.H.L., van der Velde G., 2003. Ontogenetic dietary changes of coral reef fishes in the mangrove-seagrass-reef continuum : stable isotopes and gut-content analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 246 : 279-289.
- Connell J.H., 1974. Ecology : Field experiments in marine ecology. In *Experimental Marine Biology* R.N. Mariscal (ed.), pp 21-54. Academic Press, New York.
- Copp G.H., Kovac V., Hensel K. (eds.), 1999. *When do fishes become juveniles?* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 289 p.
- Dahlgren C.P., Eggleston D.B., 2000. Ecological processes underlying ontogenetic habitat shifts in a coral reef fish. *Ecology* 81 : 2227-2240.
- Dekhnik T.V., Haures M., Salabariya D., 1966. Distribution of pelagic eggs and larvae of fishes in the coastal waters of Cuba. *Akad. Nauk SSSR, Inst. Biol. Yushnikh Morei Im. Akad. A.O. Kovalevskogo* pp. 189-241 (Engl. Transl. U.S. Dep. Commer. TT70-57762).
- Dennis D.D., Goulet D., Rooker J.R., 1991. Ichthyoplankton assemblages sampled by night lighting in nearshore habitats of SouthWestern Puerto Rico. *NOAA Technical Report NMFS* 95 : 89-97.
- Doherty P.J., 1987. Light traps : selective but useful devices for quantifying the distributions and abundances of larval fishes. *Bull. Mar. Sci.* 41 : 423-431.
- Dufour V., 1991. Variations d'abondance des larves de poissons en milieu récifal : Effets de la lumière sur la colonisation larvaire. *C.R. séances Acad. Sci.* 3 313 : 187-194.
- Emery, A.R., 1972. Eddy formation from an oceanic island : Ecological effects. *Carrib. J. Sci.* 12 : 121-128.
- Fisher R., Bellwood D.R., 2002. The influence of swimming speed on sustained swimming performance of late-stage reef fish larvae. *Mar. Biol.* 140 : 801-807.
- Heck K.L., Hays G., Orth R.J., 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 253 : 123-136.

- Hickford M.J.H., Schiel D.R., 2003. Comparative dispersal of larvae from demersal versus pelagic spawning fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 252 : 255-271.
- Hoey A.S., McCormick M.I., 2004. Selective predation for low body condition at the larval-juvenile transition of a coral reef fish. *Oecologia* 139 : 23-29.
- Jenkins G.P., Wheatley M.J., 1998. The influence of habitat structure on nearshore fish assemblages in a Southern Australian embayment : Comparison of shallow seagrass, reef-algal and unvegetated sand habitats, with emphasis on their importance to recruitment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 221 : 147-172.
- Johanes R.E., 1978. Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. *Environ. Biol. Fish.* 3 : 65-84.
- Jones G.P., Milicich M.J., Emslie M.J., Lunow C., 1999. Self-recruitment in a coral reef fish population. *Nature* 402 : 802-804.
- Kingsford M.J., 1980. Interrelationships between spawning and recruitment of *Chromis dispilus* (Pisces : Pomacentridae) within a reef environment : An experimental approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5 : 283-290.
- Kingsford M.J., 2001. Diel patterns of abundance of presettlement reef fishes and pelagic larvae on a coral reef. *Mar. Biol.* 138 : 853-867.
- Kingsford M., Finn M., 1997. The influence of phase of the moon and physical processes on the input of presettlement fishes to coral reefs. *J. Fish Biol.* 51 : 176-205.
- Laegdsgaard P., Johnson C., 2000. Why do juvenile fish utilise mangrove habitats? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 257 : 229-253.
- Laroche J., Baran E., Rasoaandrasana N.B., 1997. Temporal pattern in a fish assemblage of a semiarid mangrove zone in Madagascar. *J. Fish Biol.* 51 : 3-20.
- Lecchini D., 2004. Etude expérimentale sur les capacités sensorielles des larves de poissons coralliens dans la détection de leur lieu d'installation. *C.R. Biol.* 327 : 159-171.
- Lecchini D., Galzin R., 2003. Synthèse sur l'influence des processus pélagiques et benthiques, biotiques et abiotiques, stochastiques et déterministes, sur la dynamique de l'autorecrutement des poissons coralliens. *Cybiu* 2003 27 : 167-184.
- Leis J.M., 1978. *Distributional ecology of ichthyoplankton and invertebrate macrozooplankton in the vicinity of a Hawaiian coastal power station*. Unpublished Ph.D. thesis, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Leis J.M., 1986. Vertical and horizontal distribution of fish larvae near coral reefs at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Mar. Biol.* 90 : 505-516.
- Leis J.M., 1991. The Pelagic Stage of Reef Fishes : the Larval Biology of Coral Reef Fishes. In : P.F. Sale (ed.) *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*, pp : 183- 230, Academic Press, San Diego.
- Leis J.M., Trnski T., 1989. *The Larvae of Indo-Pacific Shorefishes*. New South Wales University Press, Australia. 364 pp.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M., 1997. Swimming speeds of the late larvae in open-water and near-reef pelagic environments. *Env. Biol. Fish.* 53 : 259-266.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M. (eds.), 2000. *The Larvae of Indo-Pacific Coastal Fishes, an Identification Guide to Marine Fish Larvae*. Fauna Melanesia Handbooks, Australian Museum, Sydney, 850 pp.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M., 2002. In situ settlement behaviour of damselfish (Pomacentridae) larvae. *J. Fish Biol.* 61 : 325-346.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M., 2003. Orientation of pelagic larvae of coral-reef fishes in the ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 252 : 239-253.

- Leis J.M., Carson-Ewart B.M., Cato D.H., 2002. Sound detection in situ by the larvae of a coral reef damselfish (Pomacentridae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 232 : 259-268.
- Leis J.M., McCormick M.I., 2002. The biology, behaviour and ecology of the pelagic, larval stage of coral reef fishes. In : P.F. Sale (ed.) *Coral Reef Fishes, Dynamics and Diversity in a complex ecosystem*. pp 171-199, Academic Press, Ontario.
- Leis J.M., Trnski T., Dufour V., Harmelin-Vivien M., Renon J.-P., Galzin R., 2003. Local completion of the pelagic larval stage of coastal fishes in coral-reef lagoons of the Society and Tuamotu Islands. *Coral Reefs* 22 : 271 – 290.
- Liew H.C., 1983. *Studies on flatfish larvae (Fam. Psettodidae, and Bothidae, Pleuronectiformes) in the shelf waters of the central Great Barrier Reef, Australia*. Unpublished M.S. Thesis, James Cook University, Townsville, Australia.
- Lobel P.S., Robinson A.R., 1983. Reef fishes at sea : Ocean currents and the advection of larvae. In M.L. Reaka, (ed.), *The Ecology of Deep and Shallow Coral Reefs*. pp 29-38, NOAA Rockville.
- Lobel P.S., Robinson A.R., 1986. Transport and entrapment of fish larvae by ocean mesoscale eddies and currents in Hawaiian waters. *Deep-Sea Res.* 33 : 483-500.
- McCormick M.I. et Milicich M.J., 1993. Late pelagic-stage goatfishes : Distribution patterns and inferences on schooling behavior. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 174 : 15-42.
- McCormick M.I., Makey L., Dufour V., 2002. Comparative study of metamorphosis in tropical reef fishes. *Mar. Biol.* 141 : 841 – 853.
- McIlwain J.L., 2003. Fine-scale temporal and spatial patterns of larval supply to a fringing reef in Western Australia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 252 : 207-222.
- Meng L., Powell C., 1999. Linking juvenile fish and their habitats : an example from Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuaries* 22 : 905-916.
- Milicich M.J., 1994. Dynamic coupling of reef fish replenishment and oceanographic processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 110 : 135-144.
- Milicich M.J., Meekan M.G., Doherty P.J., 1992. Larval supply : a good predictor of recruitment of three species of reef fish (Pomacentridae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 86 : 153-166.
- 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. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 110 : 121-134.
- Nagelkerken I., Kleijnen S., Klop T., van den Brand R.A.C.J., Cocheret de la Morinière E., van der Velde G., 2001. Dependence of Caribbean reef fishes on mangroves and seagrass beds as nursery habitats : a comparison of fish faunas between bays with and without mangroves/seagrass beds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 214 : 225 – 235.
- Nagelkerken I., van der Velde G., 2002. Do non-estuarine mangroves harbour higher densities of juvenile fish than adjacent shallow-water and coral reef habitats in Curaçao (Netherlands Antilles)? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 245 : 191 – 204.
- Powles H.P., 1977. Island mass effects on the distribution of larvae of two pelagic fish species off Barbados. *FAO Fish Rep.* 200 : 333-346.
- Randall J.E., 1961. A contribution to the biology of the convict surgeonfish of the Hawaiian Islands, *Acanthurus triostegus sandvicensis*. *Pac. Sci.* 15 : 215-272.
- Robertson, D.R., 1990. Differences in the seasonalities of spawning and recruitment of some small neotropical reef fishes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 144 : 49-62.
- Robertson D.R., 1991. The role of adult biology in the timing of spawning of tropical reef fishes. In : P.F. Sale (ed.), *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*, pp 356-370, Academic Press, San Diego.

- Robertson D.R., Green D.G., and Victor B.C., 1988. Temporal coupling of reproduction and recruitment of larvae of a Caribbean reef fish. *Ecology* 69 : 370-381.
- Robinson D.E., 1985. Variability in the vertical distribution of ichthyoplankton in lower Tampa Bay, Florida. In : Treat S.A.F., J.L. Simon., R.R. Lewis and R.L. Whitman (eds.) *Proceedings of the Tampa Bay Area Scientific Information Symposium* pp. 359-383, Florida Sea Grant College, Bellwether.
- Sale P.F., 1970. Distribution of larval Acanthuridae off Hawaii. *Copeia* 1970 : 765-766.
- Sale P.F. (ed), 1991. *The ecology of coral reef fishes*. Academic Press, San Diego, California. 754 pp.
- Sponaugle S., Cowen R.K., 1996. Nearshore patterns of coral reef fish larval supply to Barbados, West Indies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 133 : 13-28.
- Sponaugle S., Fortuna J., Grorud K., Lee T., 2003. Dynamics of larval fish assemblages over a shallow coral reef in the Florida Keys. *Mar. Biol.* 143 : 175-189.
- Swearer S.E., Caselle J.E., Lea D.W., Warner R.R., 1999. Larval retention and recruitment in an island population of a coral reef fish. *Nature* 402 : 799 – 802.
- Sweatman H.P.A., 1988. Field evidence that settling coral reef fish larvae detect resident fishes using dissolved chemical cues. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 124 : 163-174.
- Thorrold S.R., Shenker J.M., Wishinski E., Mojica R., Maddox E.D., 1994a. Larval supply of shorefishes to nursery habitats around Lee Stocking Island, Bahamas. I. Small-scale distribution patterns. *Mar. Biol.* 118 : 555-566.
- Thorrold S.R., Shenker J.M., Maddox E.D., Mojica R., Wishinski E., 1994b. Larval supply of shorefishes to nursery habitats around Lee Stocking Island, Bahamas. II. Lunar and oceanographic influences. *Mar. Biol.* 118 : 567-578.
- Tresher R.E., Colin P.L., Bell L.J., 1989. Planktonic duration, distribution and population structure of western and central Pacific damselfishes (Pomacentridae). *Copeia* 1989 : 420-434.
- Tolimieri N., Jeffs A., Montgomery J.C., 2000. Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 207 : 219 – 224.
- Watson W., 1974. *Diel changes in the vertical distributions of some common fish larvae in southern Kaneohe Bay, Oahu, Hawaii*. M.S. Thesis, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 175 pp.
- Wolanski E. et Hammer W.M., 1988. Topographically controlled fronts in the ocean and their biological influence. *Science* 241 : 177-181.

DEUXIEME PARTIE : RAPPORT SCIENTIFIQUE

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	p. 1
2. MATERIEL ET METHODES	p. 3
2.1. Les sites d'étude	p. 3
2.2. L'échantillonnage	p. 3
2.3. Identification et mesure des poissons au laboratoire	p. 4
2.4. Données environnementales	p. 4
2.5. Analyse des données	p. 5
3. RESULTATS	p. 7
3.1. Description de l'échantillonnage	p. 7
3.2. L'environnement	p. 7
3.2.1. Données météorologiques pendant les campagnes	p. 7
3.2.2. Température, salinité et turbidité dans les trois baies	p. 8
3.2.3. Structure spatio-temporelle des données environnementales	p. 9
3.3. Les assemblages de jeunes poissons	p. 11
3.3.1. La richesse spécifique	p. 12
3.3.2. Taxons dominants dans les assemblages	p. 13
3.3.3. Patrons temporels d'abondance	p. 14
3.3.4. Structure spatio-temporelle des données biologiques	p. 14
3.4. Couplage des données environnementales et biologiques	p. 17
4. DISCUSSION/CONCLUSION	p. 18
Références bibliographiques citées	p. 23

1. INTRODUCTION

Les écosystèmes coralliens sont d'un grand intérêt pour le monde scientifique du fait du grand nombre d'espèces qui y cohabitent et qui présentent des stratégies de vie originales. La grande richesse de ces écosystèmes constitue une ressource importante pour les populations locales et la gestion raisonnée de ces ressources est devenue une préoccupation essentielle à l'échelle internationale comme à échelle locale. Soumis à une pression anthropique en continuelle augmentation, ces écosystèmes nécessitent la mise en place de plans de gestion qui doivent s'appuyer sur une connaissance préalable des processus biotiques et abiotiques qui s'y déroulent. Dans ce contexte, les études concernant les poissons récifo-lagonaires se sont intéressées en premier lieu à l'écologie des stades adultes des espèces exploitées. Assez rapidement, l'étude de leurs premiers stades de vie est apparue comme une nécessité puisque c'est durant cette phase de leur vie qu'a lieu la sélection des individus qui constitueront le stock d'adultes.

De nombreux auteurs se sont intéressés aux premiers stades de la vie des poissons récifo-lagonaires dans divers endroits du monde. Ces travaux ont abordé des domaines variés, les plus traités étant les relations entre premiers stades de vie des poissons et certains processus physiques tels que les courants océaniques, les marées et les cycles lunaires (Lecchini et Galzin, 2003 ; Milicich, 1994 ; Milicich et Doherty, 1994 ; Sponaugle *et al.*, 2003 ; Sponaugle et Cowen, 1996 ; Thorrold *et al.*, 1994a et b). Il existe aussi de nombreux travaux de physiologie traitant surtout des capacités natatoires et sensorielles des jeunes poissons (Fisher et Bellwood, 2002 ; Leis *et al.*, 2003 ; Leis et Carson-Ewart, 1997, 2002, 2003 ; Leis et McCormick, 2002; Tolimieri *et al.*, 2000).

Ces différentes études ont permis de proposer un schéma type de l'histoire de vie des poissons récifaux. Ce schéma s'appuie surtout sur les travaux réalisés à Moorea en Polynésie (Leis *et al.* 2003 ; Lecchini, 2004 pour les plus récents) et peut être résumé en trois étapes majeures. La ponte a lieu dans le lagon, mais ensuite les larves une fois écloses quittent le lagon pour rejoindre le milieu océanique grâce à des adaptations morphologiques particulières qui leur permettent de se maintenir et de se déplacer dans la colonne d'eau (Leis et McCormick, 2002). A partir d'un certain stade de développement, variable selon les taxons et les zones géographiques (Randall, 1961), les larves retournent vers un récif : c'est l'étape de colonisation (Leis, 1991, Leis *et al.*, 2003 ; Leis et McCormick, 2002). Elles peuvent rejoindre soit leur récif d'origine (colonisation autochtone), soit un autre récif (colonisation allochtone). Les distances parcourues pendant cette étape peuvent être considérables (jusqu'à plus de 100 kilomètres) grâce à des capacités sensorielles et natatoires très développées qui permettent aux jeunes poissons de s'orienter activement sur de grandes distances (Sale, 1970 ; Buri et Kawamura, 1983 ; Leis et McCormick, 2002). Les jeunes poissons réintègrent le lagon en passant par-dessus la barrière grâce aux mouvements de la houle et des marées.

Une fois en milieu lagunaire, ils recherchent un habitat favorable pour terminer leur développement : c'est la phase de pré-installation, suivie de l'installation une fois que le substrat idéal a été sélectionné par les animaux (Sale, 1991 ; Lecchini et Galzin, 2003).

Parallèlement, l'utilisation des zones côtières par les jeunes poissons récifo-lagonaires a été décrite dans de nombreux endroits du monde. Le rôle potentiel de nurserie de ces zones, c'est-à-dire leur fonction supposée de refuge face aux prédateurs et de site d'alimentation privilégié a été souvent évoqué, en particulier pour les mangroves (Puerto Rico : Dennis *et al.*, 1991; Curaçao : Cocheret de la Morinière *et al.*, 2002 et 2003 ; Nagelkerken *et al.*, 2001 ; Sponaugle et Cowen, 1996; Australie : Jenkins et Wheatley, 1998 ; Laedsgaard et Johnson, 2000, par exemple). Cette utilisation des zones côtières par les premiers stades de vie des poissons récifo-lagonaires a été constatée aussi bien dans l'Atlantique tropical (Caraïbes) que dans le Pacifique (Australie), suggérant l'existence d'une stratégie différente ou complémentaire du schéma décrit à Moorea.

L'île principale de l'archipel de la Nouvelle-Calédonie présente des caractéristiques très différentes de celles des îles de Polynésie. Son lagon est de grande taille, environ 8000 km², et le récif barrière est très éloigné des côtes, jusqu'à 65 kilomètres par endroits (ORSTOM, 1981). Son climat est caractérisé par une saisonnalité très marquée, avec une saison chaude et humide de mi-novembre à mi-avril, période des fortes précipitations et des dépressions tropicales, et une saison fraîche de mi-mai à mi-septembre où les températures de l'air passent par leurs minima annuels. Les vents sont forts presque en permanence et sont dominés par le régime des Alizés de Sud-Est.

Les travaux concernant les premiers stades de vie des poissons récifo-lagonaires en Nouvelle-Calédonie n'ont réellement débuté qu'en 2001. Une étude des assemblages de jeunes poissons sur les zones côtières y apparaît comme pertinente d'une part parce qu'il n'en existe pour l'instant aucune connaissance, et d'autre part parce que la taille très importante du lagon permet d'émettre l'hypothèse que les zones côtières pourraient participer davantage au cycle de vie des jeunes poissons que pour les îles où la distance côte-barrière est plus limitée. Sur un plan pratique, la compréhension de l'utilisation des zones côtières par les jeunes poissons en phase de pré-installation permettrait également de déterminer les milieux qui leur sont favorables, dans l'objectif d'aboutir à leur protection.

Dans ce contexte, cette étude a pour buts d'identifier les espèces de poissons dont les stades jeunes sont présents dans certaines zones côtières de la Nouvelle-Calédonie, de décrire la structure spatiale et temporelle de ces assemblages, de déterminer si ces assemblages sont différents en termes de composition, de diversité ou de variabilité temporelle de ceux décrits dans la littérature, et enfin d'évaluer les facteurs qui peuvent expliquer ces éventuelles différences.

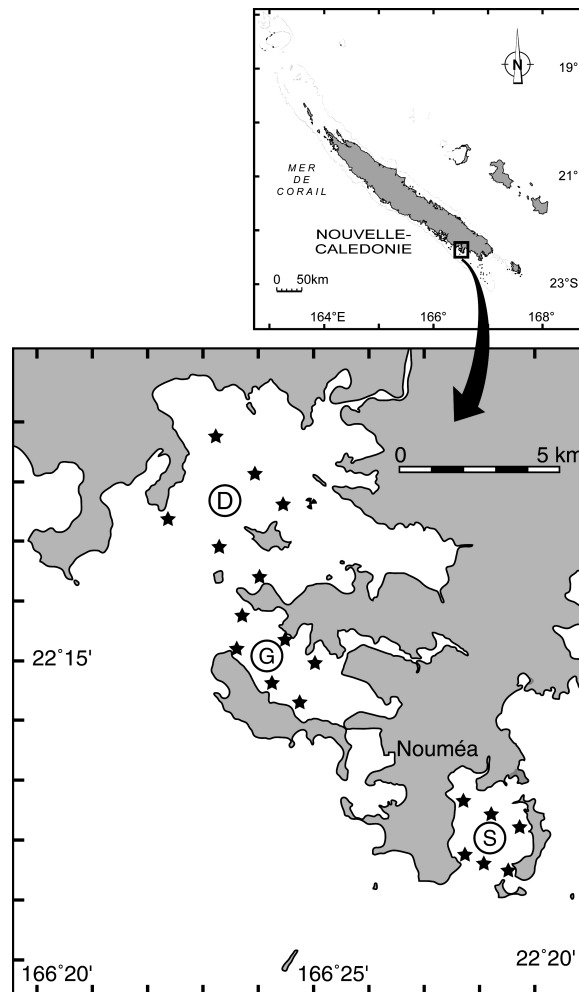


Figure 1 : Les trois baies étudiées avec G : Grande Rade, S : Sainte Marie et D : Dumbéa. Les étoiles représentent la position des stations.

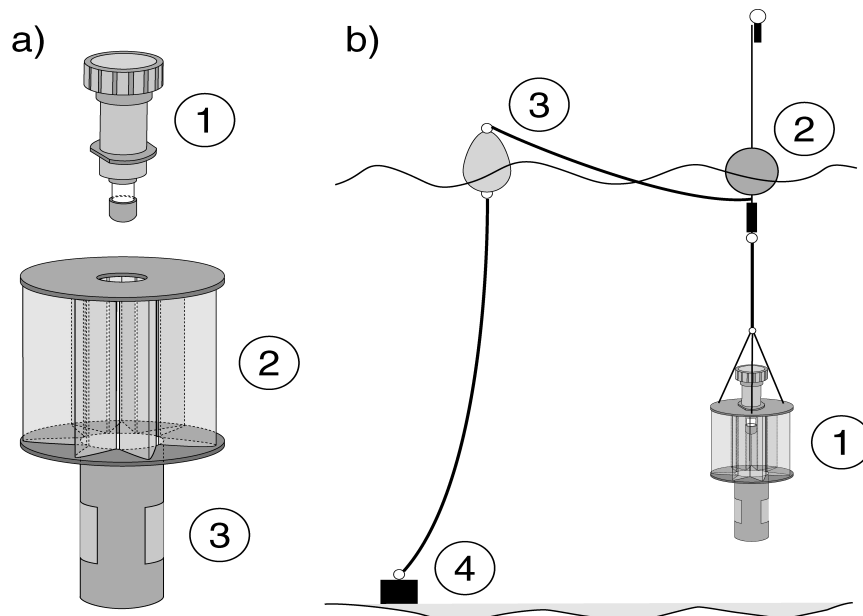


Figure 2. a) Structure d'un piège lumineux: 1 : bloc étanche contenant une batterie 12 V et une lampe néon ; 2 : éléments en plexiglas transparent séparés par des fentes verticales d'environ 10 mm de large ; 3 : godet avec fenêtres grillagées (maille 2 mm). b) Dispositif utilisé pour le mouillage des pièges : 1 : piège lumineux, 2 : bouée de repérage, 3: bouée de rappel, 4 : lest

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Les sites d'étude

Trois baies proches de Nouméa ont été choisies comme lieu d'étude (figure 1) : la Grande Rade, la baie Sainte Marie et la baie de Dumbéa. La Grande Rade présente des conditions hydrodynamiques faibles en raison de son confinement (Dandonneau *et al.*, 1981 ; Douillet, 2001). C'est une baie qui subit directement l'influence des activités de l'industrie du minerai de nickel, avec la présence d'une usine de raffinage et d'une forte activité portuaire, associée au déversement d'effluents urbains non traités. Dans la baie de Sainte Marie, le déversement des eaux usées non traitées, joint à la destruction de la mangrove en relation avec l'urbanisation croissante, provoque localement une eutrophisation des eaux (Ferraris, 2001 ; Manane, 1998). La baie de Dumbéa est entourée de nombreuses petites baies et d'anses peu profondes (Launay, 1972). Elle subit les apports du bassin versant de la rivière Dumbéa (Manane, 1998). A l'influence de ces apports terrigènes s'ajoute une importante pression anthropique liée aux zones d'activités agricoles et aux anciennes mines.

2.2. L'échantillonnage

Dix-huit campagnes mensuelles ont été menées, de janvier 2002 à juin 2003. Lors de chaque campagne, six échantillons ont été obtenus dans chaque baie grâce à des pièges lumineux. Pour optimiser l'efficacité de l'échantillonnage, les campagnes ont été effectuées au moment de la nouvelle lune, lorsque la luminosité relative du piège dans la colonne d'eau est maximale.

La technique des pièges lumineux est très utilisée dans le domaine de l'étude des jeunes poissons de par sa facilité d'utilisation et ce malgré le fait que seuls les individus présentant un phototropisme positif sont capturés. Les engins utilisés dans le cadre de cette étude ont été développés par la société Aquafish Technology (Lattes, France) et modifiés par l'IRD (figure 2). Les poissons, attirés par la lumière émise par la lampe, entrent dans les pièges par les fentes latérales prévues à cet effet et sont ensuite théoriquement incapables d'en ressortir.

La pose des pièges avait lieu juste après le coucher du soleil, à environ 2,50 m sous la surface. Le temps de pêche était de deux heures. Les poissons récoltés étaient d'abord endormis dans un bain de benzocaïne à 0,75g.l⁻¹ puis conservés dans l'alcool à 95%.

Des mesures de température, salinité et turbidité en fonction de la profondeur ont été réalisées grâce à une sonde CTD Seabird SBE 19. A chaque station, deux profils ont été réalisés : un à la pose du piège lumineux, l'autre à la relève.

2.3. Identification et mesure des poissons au laboratoire

Les identifications des poissons capturés ont été réalisées sous loupe binoculaire, en se basant sur l'observation de plusieurs critères : la morphologie générale du corps, le nombre de rayons et d'épines présents sur les nageoires dorsales, anale, caudale et éventuellement pectorales et la forme générale des nageoires (caudale en particulier).

Les outils d'identification des jeunes poissons récifaux sont peu nombreux. Les ouvrages de référence utilisés dans cette étude sont ceux de Leis et Trnski (1989) et de Leis et Carson-Ewart (2000), tous deux destinés à l'identification des larves de poissons de l'Indo-Pacifique, et le guide de la FAO (Carpenter et Niem, 1999a et b, 2001a et b) destiné à l'identification des poissons adultes. Un outil informatique s'appuyant sur des photographies et sur une base de données de critères méristiques, développé par P. Doherty de l'Australian Institute of Marine Science, Townsville, a été également utilisé pour faciliter les identifications.

Les longueurs standard des poissons ont été mesurées à 0,1 mm près à l'aide d'un pied à coulisse. Pour certains taxons très abondants du genre *Spratelloides* et *Encrasicholina*, les mesures ont été effectuées sur 30 individus de la même espèce sous échantillonnés au hasard dans un même échantillon.

2.4. Données environnementales

En plus des profils CTD, des données semi-qualitatives comme les types de fond, ou quantitatives comme les distances à la côte et les profondeurs des stations de pêche ont été récoltées. Les distances à la côte ont été mesurées à partir de la carte marine 6687S du SHOM. Les types de fond ont été déterminés grâce à des cartographies acoustiques réalisées par C. Chevillon (IRD Nouméa, données non publiées). La distance surface-fond de chaque station a été déduite des profils CTD en prenant la profondeur maximale atteinte par la sonde lors de sa progression dans la colonne d'eau.

A plus grande échelle spatiale, la station météorologique de Nouméa a fourni des données sur les directions et vitesses de vent (vitesse moyenne horaire, et direction du vent maximal intégrée sur 10min), le rayonnement et la pluviométrie pendant la période de l'échantillonnage.

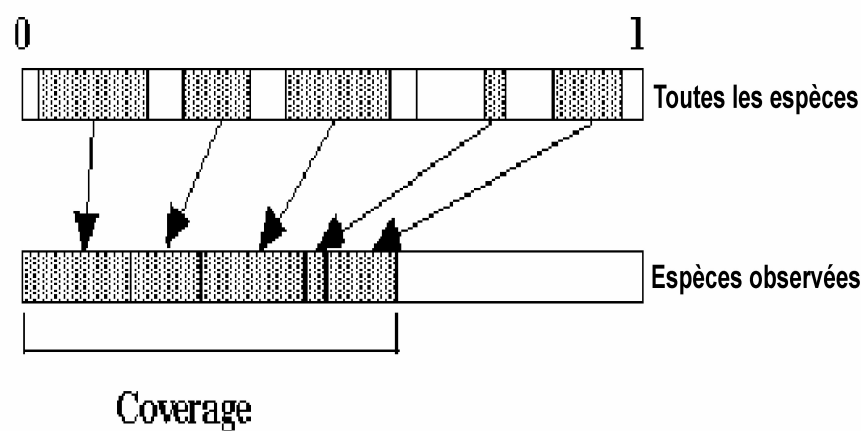


Figure 3 : Schéma d'illustration du principe du « sample coverage », appliqué pour le calcul de l'estimateur de richesse spécifique ACE : Abundance Coverage Estimator (Chao et Lee, 1992).

La bande du haut représente l'ensemble de l'échantillon découpé en S segments, dont les longueurs respectives représentent la proportion réelle constituée par chacune des S espèces trouvées dans l'échantillon. Les proportions sont exprimées en pourcentage, le segment total va donc de 0 à 1.

L'étendue réelle de l'échantillon (coverage) est la somme des segments représentant la véritable proportion de chaque espèce capturée (Chazdon *et al.*, 1998).

2.5. Analyses des données

Une analyse en composante principale (ACP) normée a été appliquée aux données environnementales pour tenter de mettre en évidence d'éventuelles différences entre les baies, entre les stations de pêche ou entre les campagnes d'échantillonnage. Cette analyse permet de représenter de façon simple un ensemble complexe de données dans un espace à deux dimensions (ordination en espace réduit) dont les axes représentent les sens de variation des variables les plus structurantes de l'ensemble des données (Gower, 1967). Elle se base sur le calcul des distances euclidiennes entre les n échantillons et des corrélations entre les p variables car les unités dans lesquelles les données sont exprimées sont différentes les unes des autres (Legendre et Legendre, 1998).

Le tableau faunistique échantillons x abondances des taxons a été utilisé pour étudier successivement la richesse spécifique, les taxons dominants et la structuration des données biologiques. Le nombre d'espèces observées (S) dans un échantillon étant généralement sous-estimé par rapport à la réalité en raison d'un effort d'échantillonnage souvent insuffisant et de la présence d'espèces cryptiques ou difficiles à trouver, un estimateur théorique de la richesse spécifique a été utilisé. Le choix s'est porté sur l'Abundance Coverage Estimator (ACE ; Chao *et al.*, 1993 ; Chazdon *et al.*, 1998), estimateur statistique de la valeur réelle du nombre d'espèces qui est issu de la modification des estimateurs Chao 1 et 2 développés par Chao (1984 et 1987). Le calcul de ACE se base sur une matrice d'abondance échantillons-espèces. Il s'appuie sur le principe statistique du « sample coverage » (figure 3) développé par Chao et Lee (1992). Brièvement, si une ligne unique représentant l'ensemble de l'échantillon est découpée en S segments, dont les longueurs respectives représentent la véritable proportion constituée par chacune des S espèces trouvées dans l'échantillon, l'étendue réelle de l'échantillon (sample coverage) correspond à la somme de ces segments (Chazdon *et al.*, 1998). Dans un échantillon, il existe des espèces très fréquentes et des espèces rares. Les informations utiles sur les espèces présentes mais non découvertes lors de l'échantillonnage résident dans les données concernant les espèces les plus rares. Le calcul de ACE se base sur ces espèces, c'est-à-dire sur celles qui présentent des abondances inférieures ou égales à 10 individus dans un échantillon. Il permet donc d'estimer la proportion d'espèces présentes mais non découvertes dans l'échantillon, qui, associée par randomisation à celle représentée par les espèces découvertes, fréquentes et rares, fournit une estimation de la valeur réelle de la richesse spécifique. L'Abundance Coverage Estimator a été calculé pour chaque mois de campagne pour chaque baie grâce au logiciel ESTIMATES, et comparé à la valeur de S observée.

La structure des assemblages, et en particulier les taxons qui les dominent, a été étudiée à l'aide de diagrammes rang-fréquence établis pour chaque baie grâce au logiciel PRIMER5 (Clarke et Gorley, 2001). Le tableau faunistique a ensuite été soumis à une analyse factorielle des correspondances (AFC) pour tenter de dégager une structure dans les données biologiques et de mettre en évidence

d'éventuelles différences entre les baies, entre les stations et entre les campagnes. L'AFC s'appuie sur le principe du calcul des distances du chi-carré entre les points projetés dans un espace factoriel à deux dimensions, et se base sur un tableau de contingence stations-espèces. Les points représentés dans cet espace peuvent être regroupés autour de pôles d'attraction. Les groupes ainsi formés réunissent les points qui présentent des similitudes faunistiques les uns avec les autres. Diverses tentatives de transformations et regroupements des valeurs d'abondance des taxons ont été tentées de façon à augmenter le pourcentage de variance expliquée par l'analyse tout en obtenant des représentations graphiques pertinentes.

Afin de décrire une éventuelle structure commune entre le tableau environnemental et le tableau faunistique, une analyse de co-inertie a été réalisée (Tucker, 1958). Cette analyse est basée sur le croisement d'une ACP normée du tableau environnemental, basée donc sur le calcul des corrélations, et d'une ACP centrée du tableau faunistique basée sur le calcul des covariances. Les données d'abondance du tableau faunistique ont subi une transformation

$\log(x+1)$ afin de diminuer l'importance des familles très abondantes par rapport à celles qui sont rares ou peu abondantes. Le croisement entre les deux tableaux génère une matrice contenant les covariances entre l'abondance d'un taxon et d'une variable environnementale normalisée. Une carte factorielle des espèces et une carte factorielle des variables sont obtenues et liées entre elles, ce qui permet d'obtenir des informations sur chacun des deux tableaux d'une part et sur le lien qui les unit d'autre part (Chessel et Mercier, 1993). La validité des résultats de l'analyse de co-inertie est testée grâce à un test de permutation sur la co-structure de deux tableaux dans lequel les lignes des deux tableaux sont permutées simultanément (Monte-Carlo D-fixed test). Le nombre de permutations réalisées est de 10 000.

Toutes les analyses multivariées ont été effectuées à l'aide du logiciel ADE4 (Thioulouse *et al.*, 2001).

Tableau 1 : Présentation des conditions d'échantillonnage dans les trois baies.

VARIABLE/CRITERE	Grande Rade	Sainte Marie	Dumbéa
Nombre d'échantillons réalisés	107	103	105
Effort de pêche (heures)	1,87 – 2,28	1,87 – 2,25	1,80 – 2,27
Hauteur de la colonne d'eau (m)	3,4 – 16,3	6,5 – 14,5	3,4 – 16,3
Temps entre le coucher du soleil et la pose des pièges	0h15 – 1h30	0h15 – 2h15	0h15 – 1h45
Temps entre la pose des pièges et le coucher de la lune (heure pose – heure coucher de lune)	-6h15 – 5h00	-5h00 – 3h45	-6h15 – 3h00
Temps entre la pose des pièges et la marée haute (heure pose – heure marée haute la plus proche)	-5h15 – 5h00	-4h45 – 3h45	-4h15 – 4h30
Distance à la côte (kilomètres)	0,6 – 4,2	0,5 – 1,8	0,8 – 3,6
Type de fond	Sable (100%)	Fonds durs coralliens (33%) Sable (33%) Vase (33%)	Fonds durs coralliens (50%) Sable (50%)

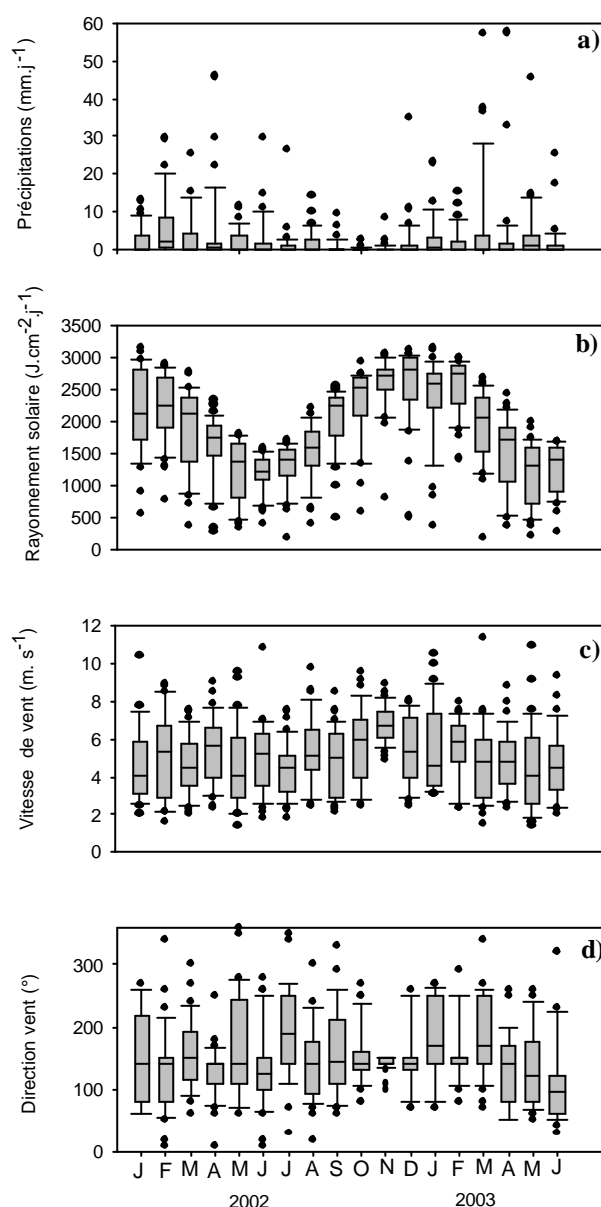


Figure 4 : Données météorologiques mensuelles à Nouméa pendant la période d'échantillonnage avec

a) Pluviométrie, en mm.j⁻¹ ; b) Rayonnement solaire, en J.cm².j⁻¹ ; c) Vitesse moyenne horaire du vent, en m.s⁻¹ et d) Direction du vent maximal, intégrée sur 10 min, en degrés (0° = Nord).

Source : Station Météo-France, Faubourg Blanchot, Nouméa.

Les limites inférieures et supérieures des boîtes représentent le 1^{er} et 3^{ème} quartile, la barre horizontale, la médiane. Les barres verticales s'étendent jusqu'au 10^{ème} et 90^{ème} percentile, les points indiquent les valeurs au-delà.

3. RESULTATS

3.1. Description de l'échantillonnage.

Durant les dix-huit mois de campagne, 315 échantillons ont été obtenus : 107 dans la Grande Rade, 103 dans la baie de Sainte Marie et 105 dans la baie de Dumbéa.

Les conditions d'échantillonnage dans les trois baies en termes de profondeur, de décalage avec le coucher de la lune et du soleil, de marée et d'effort de pêche sont homogènes (tableau 1). La grande majorité des échantillons réalisés ont été prélevés sur des fonds compris entre 7,5 et 15,0 m, moins de 2h15 après le coucher du soleil. Le critère le plus variable est la présence ou l'absence de la lune lors des prélèvements : la pose des pièges a eu lieu dans certains cas plus de six heures après le coucher de la lune, dans d'autres cas presque cinq heures avant. Le plus souvent, les pièges ont été posés en condition de marée descendante (pose après la marée haute). L'effort de pêche est toujours proche de deux heures. Les distances à la côte des stations d'échantillonnage sont toujours inférieures à 4,5 km, avec un minimum de 500 m dans la baie de Sainte Marie. La majorité des stations se caractérise par la présence de fonds sableux (11 stations sur 18), mais la présence de récifs coralliens sous les pièges a également été observée (cinq stations), ainsi que des fonds vaseux (deux stations).

3.2. L'environnement.

3.2.1. Données météorologiques pendant les campagnes.

La région de Nouméa est caractérisée par une pluviométrie très variable (figure 4). Les valeurs médianes de précipitations sont le plus souvent inférieures à 10 mm.j^{-1} mais la variabilité dans les données est forte. Dans un même mois, les précipitations peuvent varier de quelques millimètres par jour à plus de 58 mm.j^{-1} (mars 2003 par exemple). Malgré cette forte variabilité, il est possible de définir deux périodes : l'une pluvieuse de janvier à juillet pendant laquelle les hauteurs d'eau recueillies sont très variables, et l'autre plutôt sèche de août à décembre pendant laquelle la variabilité est beaucoup moins forte. Les valeurs maximales d'ensoleillement s'observent entre décembre et mars, et les valeurs minimales entre juin et septembre. Les vitesses de vent fluctuent au cours de l'année entre 20 et $11,8 \text{ m.s}^{-1}$ mais les valeurs supérieures à 5 m.s^{-1} sont les plus fréquentes. Les vents dominants sont de secteur Est à Sud-Ouest et incluent les vents de Sud-Est (Alizés). Des vents de secteur Nord-Est peuvent également être observés.

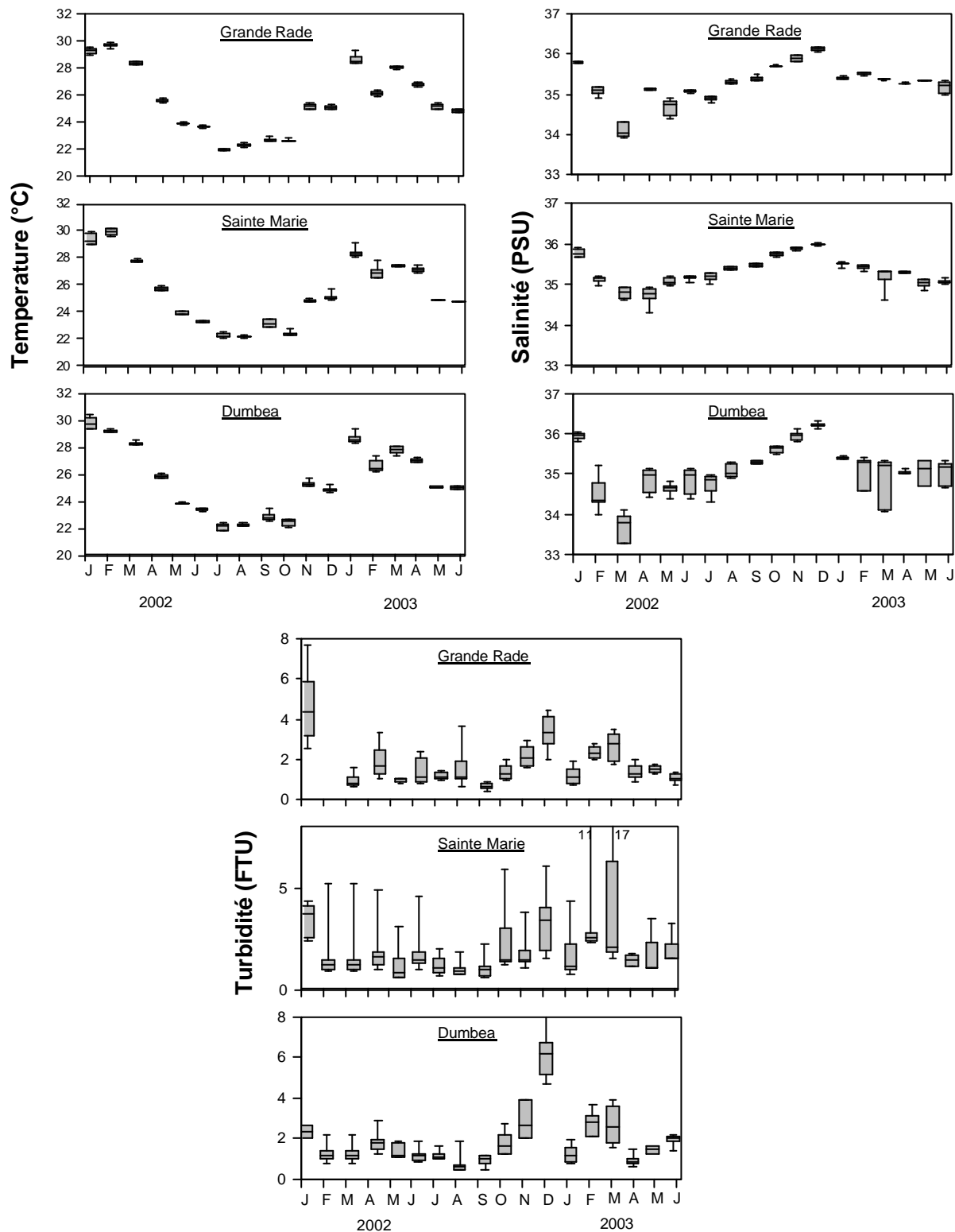


Figure 5 : Valeurs moyennes (couche 0-5 mètres) de la température (°C), la salinité (PSU) et la turbidité (FTU) pour chaque campagne et dans chaque baie, obtenues à l'aide d'une bathysonde Seabird SBE19, un profil à la pose et à la relève de chaque piège. Voir figure 4 pour la signification des boîtes.

3.2.2. Température, salinité et turbidité dans les trois baies.

Dans les trois baies, la température moyenne de la couche 0-5 mètres déterminée pour chaque campagne évolue de façon sensiblement identique au cours du temps avec toutefois un décalage temporel entre les minima et les maxima (figure 5). Les valeurs maximales sont atteintes en février 2002 dans la Grande Rade (médiane = 29,4°C) et dans la baie de Sainte Marie (médiane = 30,0°C) et en janvier 2002 dans la baie de Dumbéa (médiane = 29,6°C). Les valeurs minimales sont observées en juillet 2002 dans la Grande Rade (médiane = 21,9°C), en août 2002 dans la baie de Sainte Marie (médiane = 22,1°C) et en juillet 2002 à Dumbéa (médiane = 22,2°C).

De la même façon, il existe un décalage temporel entre les baies pour les valeurs extrêmes de salinité moyennes (PSU) enregistrées dans la couche 0-5 mètres. Les valeurs minimales sont atteintes en mars 2002 dans la Grande Rade (33,9), en avril 2002 dans la baie de Sainte Marie (34,8) et en mars 2002 dans la baie de Dumbéa (33,7). Les valeurs maximales sont atteintes en décembre 2002 dans la Grande Rade (36,2), dans la baie de Sainte Marie (36,0) et dans la baie de Dumbéa (36,3). La baie de Dumbéa présente des valeurs de salinité de la couche de surface beaucoup plus variables que dans les deux autres baies, avec une forte diminution en mars 2002.

La Grande Rade se caractérise par des valeurs de turbidité très variables avec une augmentation entre septembre et octobre 2002 puis en février et mars 2003. Les valeurs maximales sont cependant observées en janvier 2002 (5,7 FTU). La baie de Sainte Marie présente des valeurs de turbidité dans la couche 0-5 mètres très variables, avec un maximum en mars 2003 (17 FTU) et un minimum en mai 2002 (1 FTU). Les valeurs de turbidité de la baie de Dumbéa sont beaucoup moins variables au cours du temps avec une forte augmentation de septembre à décembre 2002 (maximum de 7 FTU), puis en février et mars 2003.

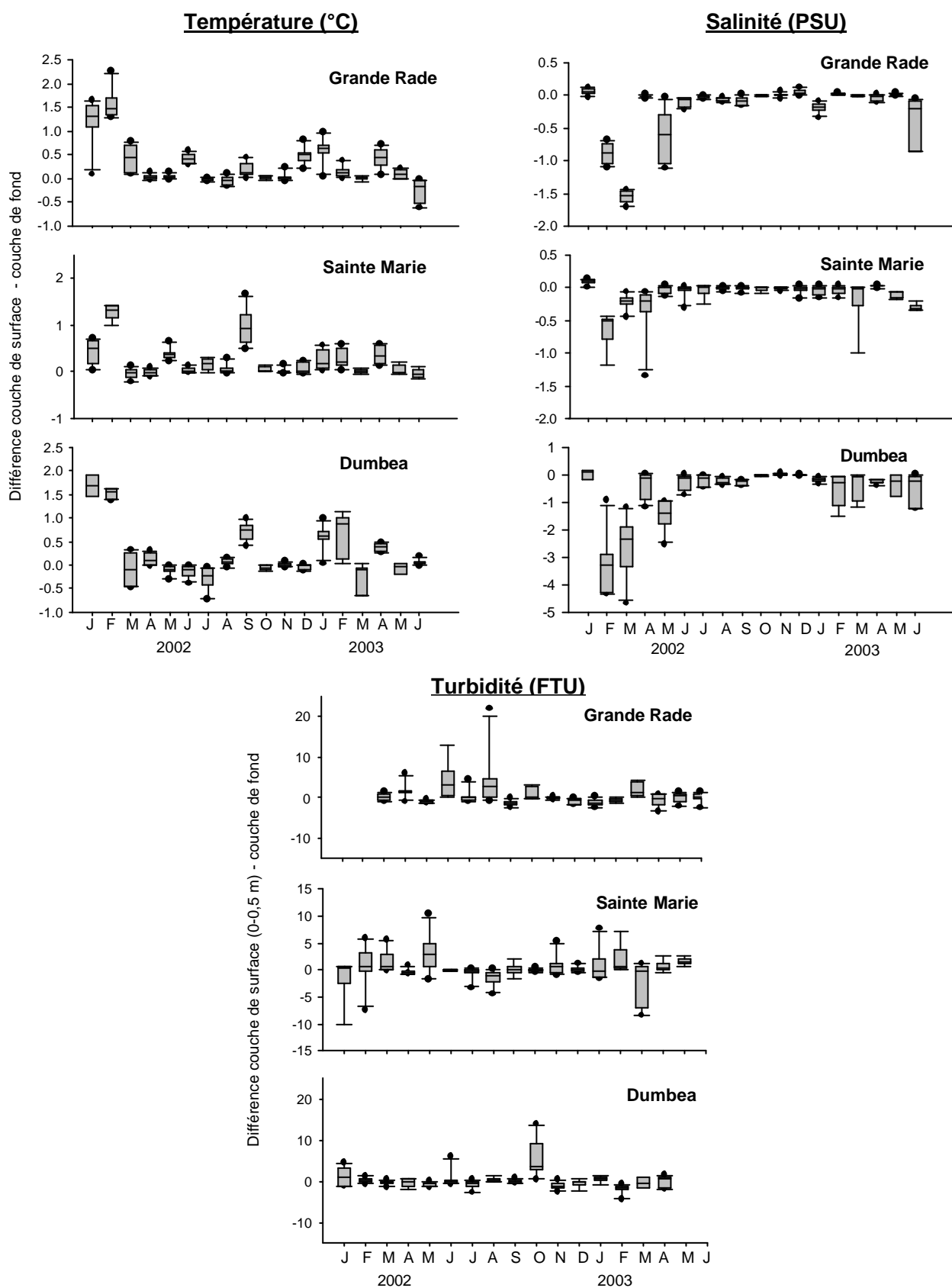


Figure 6 : Différences de température (°C), salinité (PSU) et turbidité (FTU) entre la couche de surface (0-50 cm) et la couche de fond (50 cm les plus profonds) pour chaque campagne et dans les trois baies.

Les différences de température entre la surface (moyenne sur la couche 0-50 cm) et le fond (moyenne sur les 50 cm les plus profonds) ne dépassent pas quelques degrés dans les trois baies (figure 6). Le maximum est atteint dans la Grande Rade au mois de février 2002 lorsque la température de la couche de surface est supérieure de 2,3°C à celle de fond. Cette différence n'atteint que 1,6°C au maximum dans la baie de Sainte Marie en septembre 2002 et 1,8°C dans la baie de Dumbéa en janvier 2002. Les différences de salinité observées entre la surface et le fond sont souvent proches de zéro dans les trois baies sauf en début d'année 2002 (février, mars, avril), où la salinité de surface est toujours inférieure. Cette différence atteint un maximum de 4,8 en mars 2002 à Dumbéa. Les différences entre turbidité de surface et de fond sont globalement comprises entre -10 et 10 FTU, mais un maximum de 22 FTU de différence est atteint en août 2002 dans la Grande Rade. La turbidité de surface est plus souvent supérieure à celle de fond dans les trois baies.

3.2.3. Structure spatio-temporelle des données environnementales.

Le tableau des données environnementales comprend les 315 échantillons réalisés, regroupés par baies (N=3), stations (N=18, 6 stations par baie) et campagnes (N=18). Les valeurs de turbidité ont été exclues du fait d'un trop grand nombre de valeurs manquantes ; les variables étudiées sont donc au nombre de 11 (tableau 2).

Tableau 2 : Variables utilisées pour l'ACP normée sur les données environnementales.

VARIABLES	Unités	Pondération
Température moyenne (couche 0-5 m)	°C	1
Salinité moyenne (couche 0-5 m)	PSU	1
Gradient de température (entre couche de surface : 0-50 cm, et couche de fond : 50 cm les plus profonds)	°C	1
Gradient de salinité (entre couche de surface : 0-50 cm, et couche de fond : 50 cm les plus profonds)	PSU	1
Distance surface-fond	m	1
Distance à la côte	km	1
Type de fonds sous les pièges :		
- Vase		0,3
- Sable		0,3
- Fonds durs coralliens		0,3
Pluviométrie le jour de l'échantillonnage	mm.j ⁻¹	1
Ensoleillement le jour de l'échantillonnage	J.cm ⁻² .j ⁻¹	1
Vitesse moyenne horaire du vent le jour de l'échantillonnage	m.s ⁻¹	1
Direction moyenne du vent maximal, intégrée sur 10 min, le jour de l'échantillonnage :	° (degrés)	
-direction Nord-Est		0,2
-direction Sud-Est		0,2
-direction Sud		0,2
-direction Ouest		0,2
-direction Nord		0,2

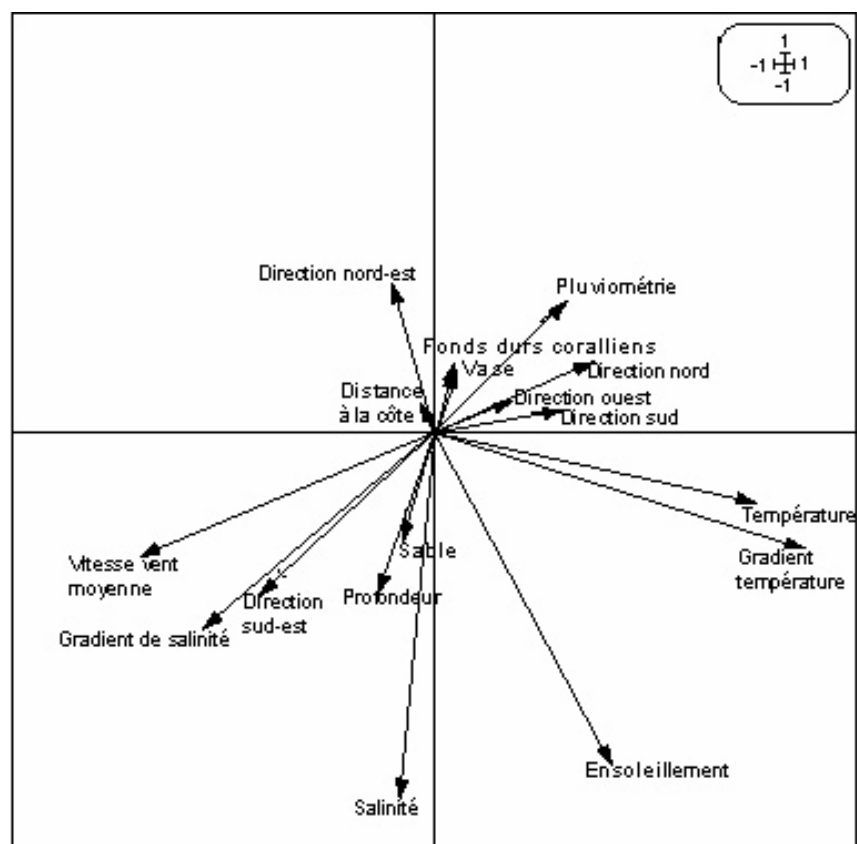


Figure 7 : Corrélations entre les variables environnementales, et leur sens de variation dans l'espace factoriel (Axes 1 et 2).

Le type de fond est représenté par trois catégories, qui correspondent chacune à 33% de l'information. Les catégories de fond ont donc été pondérées d'un coefficient de 0,3. De même, les valeurs de direction du vent ont été regroupées en cinq modalités, qui correspondent chacune à 20% de l'information. Chaque type de direction de vent a donc été pondéré d'un coefficient de 0,2 (tableau 2).

La variance expliquée est très dispersée dans l'espace factoriel (au moins égale à 10% jusqu'au 5^{ème} axe), et seuls les axes 1 et 2 ont été retenus pour représenter les variables et les échantillons (axe 1 : 20,5% ; axe 2 : 17,8%, soit 38,3% de variance expliquée par les deux premiers axes).

Les variables qui contribuent le plus à expliquer la dispersion des données sur l'axe 1 (valeurs de contribution absolue maximales) sont, par ordre d'importance décroissant, le gradient de température, la température moyenne, la vitesse de vent moyenne, le gradient de salinité et la pluviométrie. Sur l'axe 2, les variables présentant les contributions absolues maximales sont la salinité moyenne, l'ensoleillement, le gradient de salinité, la profondeur et la pluviométrie. Les variables d'habitat représentées par les types de fond, et la distance à la côte participent peu à la dispersion des points sur les axes de projection (figure 7).

La température moyenne diminue lorsque la vitesse moyenne des vents augmente (figure 7). La salinité (moyenne entre 0 et 5 m de profondeur) décroît lorsque la pluviométrie est forte et lorsque les vents de direction Nord-Est sont forts. L'ensoleillement diminue lorsque les vents de direction Nord-Est sont forts et la pluviométrie diminue lorsque les Alizés (direction Sud-Est) soufflent.

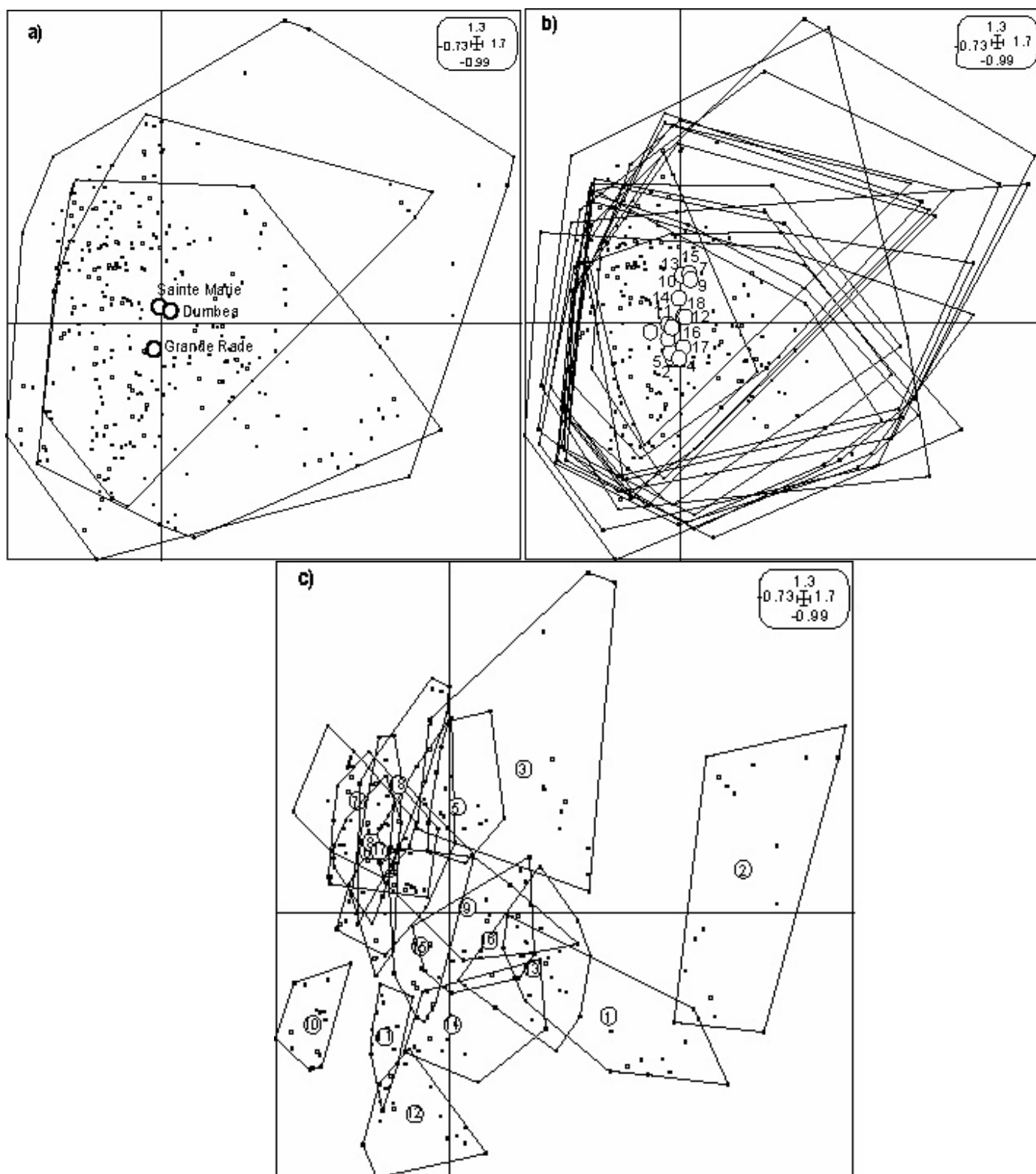


Figure 8 : Projection des échantillons du tableau environnemental dans l'espace factoriel 1-2 de l'ACP normée. Les contours regroupent les observations par : Baies ; b) Stations, avec 1 à 6 : stations de la Grande Rade, 7 à 12 : stations de la baie de Sainte Marie, et 8 à 18 : stations de la baie de Dumbéa ; c) Campagnes, de 1 : janvier 2002 à 18 : juin 2003.

Les variables utilisées ne permettent pas de dégager de différences marquantes entre les baies et entre les stations d'échantillonnage (figure 8a et b). La variabilité intra-baie est importante (contours très grands) et quelques échantillons se distinguent nettement (points extrêmes sur l'axe 1 et 2). Ils correspondent à différentes stations réalisées dans la baie de Dumbéa pendant les campagnes de février et mars 2002.

Les variables utilisées permettent de différencier les observations en fonction des saisons (figure 8c). Les campagnes se succèdent dans l'ordre chronologique dans le sens d'une diminution de température (axe 1, figure 7) et d'ensoleillement (axe 2), et d'une augmentation de la pluviométrie (axes 1 et 2, figure 7) et de la vitesse des vents (axe 1).

Les campagnes de janvier à mars 2002 (1, 2 et 3 figure 8c), et d'octobre à décembre 2002 (10, 11 et 12, figure 8c) se distinguent bien des autres. Elles sont caractérisées par de fortes températures et un fort ensoleillement pour la campagne 1, de fortes températures et une pluviométrie croissante pour la campagne 2 et une pluviométrie élevée pour la campagne 3. Les campagnes 10, 11 et 12 sont caractérisées par des vents forts pour la campagne 10, un gradient de salinité marqué pour la campagne 11, et une forte salinité pour la campagne 12.

3.3. Les assemblages de jeunes poissons.

Les 315 échantillons effectués ont permis d'obtenir un nombre total de 55 805 poissons :

17 446 dans la Grande Rade, 20 546 dans la baie de Sainte Marie et 17 813 dans la baie de Dumbéa (tableau 3). Les poissons se répartissent en 97 taxons, appartenant à sept ordres. Les Clupéiformes sont nettement prédominants avec 54 247 poissons soit plus de 97% des individus. Les six autres ordres sont, par ordre d'importance numérique décroissant : les Perciformes (1306 poissons, soit 2,3% des effectifs totaux), les Tetraodontiformes (n=105 ; 0,2%), les Atheriniformes (n=47 ; 0,08%), les Syngnathiformes (n=11 ; 0,02%), les Scorpaeniformes (n=4 ; >0,01%) et les Gadiformes (n=2 ; >0,01%).

Les niveaux d'identification atteints sont variables : 54 taxons ont été identifiés jusqu'à la famille, 34 jusqu'au genre et neuf seulement jusqu'à l'espèce. Parmi les Clupéiformes, deux familles ont été observées : les Clupeidae (35,0%, sept taxons) et les Engraulididae (65,0%, six taxons). Les Perciformes sont majoritairement représentés par la famille des Pomacentridae (61,0%), des Lethrinidae (11,8%), des Blenniidae (7,7%), des Apogonidae (7,3%) et des Chaetodontidae (3,6%).

Tableau 3 : Nombre total d'individus capturés par taxon et par baie classés par ordre taxonomique, ainsi que les codes correspondants.
Avec LS : longueur standard en mm.

Ordre	Autorité	Code	Nombre d'individus				LS (mm) [min-max]	
	Famille Espèce		Grande Rade	Sainte Marie	Dumbea	Total		
Clupéiformes								
	Clupeidae sp1	CLU_1	43	47	-	90	16,3 - 25,2	
	Clupeidae sp2	CLU_2	-	4	-	4	20,1 - 21,7	
	<i>Dussumeria acuta</i>	Valenciennes, 1847	DUACU	-	1	-	1	110,1
	<i>Herklotsichthys</i> sp1	HERK1	-	-	2	2	17,5 - 35,5	
	<i>Herklotsichthys</i> sp2	HERK2	41	23	58	122	27,2 - 114,5	
	<i>Spratelloides delicatulus</i>	Bennett, 1832	SPDEL	278	215	149	642	17,6 - 54,8
	<i>Spratelloides gracilis</i>	Temminck & Schlegel, 1846	SPGRA	1912	12839	3453	18204	13,7 - 58,4
	Engraulididae spp (jeunes non ident.)	ENGRy	10838	4368	10763	25969	12,3 - 54,5	
	Engraulididae spp (adultes non ident.)	ENG_0	-	2	1	3		
	<i>Encrasicholina</i> cf. <i>punctifer</i>	ENPU_	7	5	4	16	50,3 - 70,4	
	<i>Encracicholina devisi</i>	Whitley, 1940	ENDEV	156	323	371	850	40,9 - 68,6
	<i>Encrasicholina heteroloba</i>	Rüppell, 1837	ENHET	3204	2414	2707	8325	37,1 - 83,2
	<i>Stolephorus indicus</i>	van Hasselt, 1823	STIND	6	11	2	19	40,1 - 79,6
Gadiformes								
	Bregmacerotidae sp1	BRE_1	2	-	-	2	20,9 - 21,7	
Atheriniformes								
	Atherinidae sp1	ATH_1	-	2	-	2	18,0 - 20,6	
	<i>Hypoatherina temminckii</i>	Bleeker, 1853	HYTEM	11	33	1	45	26,9 - 64,3
Syngnathiformes								
	Syngnathinae sp1	SYN_1	1	-	3	4	22,7 - 44,4	
	Syngnathinae sp2	SYN_2	-	1	5	6	25,0 - 76,5	
	Syngnathinae sp3	SYN_3	1	-	-	1	58,5	
Scorpaeniformes								
	Aploactinidae sp1	APL_1	-	2	1	3	5,7 - 8,3	
	Platycephalidae sp1	PLA_1	1	-	-	1	8,6	
Perciformes								
	Serranidae sp1	SER_1	5	2	4	11	15,8 - 19,0	
	Serranidae sp2	SER_2	2	1	-	3	16,4 - 17,7	
	<i>Cephalopolis</i> sp1	CEPH1	3	-	-	3	14,9 - 16,2	
	<i>Epinephelus</i> sp1	EPIN1	-	-	1	1	19,1	
	Plesiopidae sp1	PLE_1	1	-	-	1	11,1	
	Apogonidae sp1	APO_1	-	1	1	2	10,5 - 11,6	
	Apogonidae sp2	APO_2	7	-	1	8	9,2 - 12,0	
	Apogonidae sp3	APO_3	1	1	-	2	8,1 - 8,2	
	Apogonidae sp4	APO_4	3	21	-	24	8,2 - 14,6	
	Apogonidae sp5	APO_5	-	21	-	21	13,7 - 20,5	
	Apogonidae sp6	APO_6	-	13	3	16	5,0 - 11,9	

Tableau 3 : 2 de 3.

Ordre	Famille Espèce	Autorité	Code	Nombre d'individus			LS (mm) [min-max]	
				Grande Rade	Sainte Marie	Dumbea		
Perciformes (suite)								
	Apogonidae sp7		APO_7	1	6	4	11	9,2 - 14,1
	Apogonidae sp8		APO_8	-	1	-	1	7,3
	Apogonidae sp9		APO_9	-	2	-	2	11,6 - 15,6
	Apogonidae sp10		APO10	1	-	-	1	6,5
	Apogonidae sp11		APO11	-	1	-	1	11,4
	Apogonidae sp12		APO12	-	1	-	1	7,3
	Apogonidae sp13		APO13	1	-	-	1	8,7
	Apogonidae sp14		APO14	-	-	1	1	13,0
	Apogon sp1		APOG1	2	-	-	2	29,1 - 32,0
	Archamia sp1		ARCH1	1	-	-	1	42,8
	Carangidae sp1		CAR_1	-	-	1	1	29,2
	Lethrinidae sp1		LET_1	134	3	13	150	8,0 - 21,2
	Lethrinidae sp2		LET_2	-	1	1	2	19,0 - 20,1
	Lethrinidae sp3		LET_3	1	-	-	1	19,3
	Lethrinidae sp4		LET_4	1	-	-	1	21,7
	Mullidae							
	Upeneus sp1		UPEN1	1	2	1	4	20,4 - 31,4
	Upeneus sp2		UPEN2	-	1	-	1	31,5
	Pempheridae							
	Parapriacanthus ransonneti	Steindachner, 1870	PARAN	-	-	1	1	26,8
	Chaetodontidae							
	Chaetodon sp1		CHAE1	-	1	-	1	9,5
	Chaetodon sp2		CHAE2	2	13	6	21	8,1 - 10,9
	Chaetodon sp3		CHAE3	-	1	-	1	11,0
	Chaetodon sp4		CHAE4	-	1	-	1	10,6
	Chaetodon sp5		CHAE5	3	13	5	21	9,1 - 11,0
	Chaetodon sp6		CHAE6	-	2	-	2	9,9 - 10,2
	Pomacanthidae							
	Pomacanthus sp1		PCAN1	1	-	-	1	12,4
	Pomacentridae sp1		POM_1	415	38	106	559	5,8 - 14,7
	Pomacentridae sp2		POM_2	140	12	40	192	6,9 - 12,6
	Pomacentridae sp3		POM_3	2	-	-	2	6,8 - 7,2
	Pomacentridae sp5		POM_5	1	-	-	1	8,6
	Pomacentridae sp6		POM_6	1	3	-	4	9,8 - 11,8
	Pomacentridae sp7		POM_7	4	11	1	16	5,4 - 8,7
	Pomacentridae sp8		POM_8	-	-	1	1	9,7
	Chromis sp1		CHRO1	8	2	3	13	7,5 - 11,0
	Chromis sp3		CHRO3	-	3	-	3	7,9 - 36,5
	Pomacentrus sp1	PCEN1		3	-	1	4	10,9 - 11,0

Tableau 3 :3 de 3.

Ordre	Autorité	Code	Nombre d'individus				LS (mm) [min-max]
	Famille Espèce		Grande Rade	Sainte Marie	Dumbea	Total	
Perciformes (suite)							
Sphyraenidae							
	<i>Sphyraena</i> sp1	SPHY1	-	1	-	1	70,7
	<i>Sphyraena</i> sp2	SPHY2	1	-	-	1	2,9
	Tripterygiidae sp1	TRI_1	3	12	-	15	12,1 - 14,6
	Tripterygiidae sp2	TRI_2	2	-	-	2	11,2 - 16,1
	<i>Norfolkia</i> sp1	NORF1	1	-	-	1	11,8
	<i>Norfolkia</i> sp2	NORF2	1	-	-	1	14,9
	Blenniidae sp1	BLE_1	14	4	6	24	8,5 - 12,0
	Blenniidae sp2	BLE_2	5	-	1	6	9,1 - 12,4
	Blenniidae sp3	BLE_3	11	9	3	23	7,4 - 12,7
	Blenniidae sp4	BLE_4	2	-	-	2	9,9 - 10,2
	Blenniidae sp5	BLE_5	1	1	-	2	16,6 - 17,0
	Blenniidae sp6	BLE_6	-	-	1	1	8,6
	<i>Omobranchus</i> sp1	OMOB1	24	3	2	29	8,2 - 17,4
	<i>Omobranchus</i> sp2	OMOB2	2	7	2	11	6,9 - 15,4
	<i>Petroscirtes</i> sp1	PETR1	2	-	-	2	14,4 - 17,1
	Gobiidae sp1	GOB_1	2	1	2	3	9,7 - 10,1
	Gobiidae sp2	GOB_2	1	-	-	1	9,3
	Gobiidae sp4	GOB_4	1	3	-	4	10,0 - 10,8
Acanthuridae							
	<i>Acanthurus</i> sp1	ACAN1	-	3	1	4	20,1 - 23,0
Siganidae							
	<i>Siganus</i> sp1	SIGA1	28	3	10	41	13,1 - 25,1
	<i>Siganus</i> sp2	SIGA2	1	-	-	1	24,9
	Scombridae sp1	SCO_1	1	-	-	1	12,3
	<i>Scomberomus</i> sp1	SCOM1	1	6	5	12	21,0 - 103,8
Tetraodontiformes							
	Monacanthidae sp1	MON_1	6	1	4	11	10,3 - 13,9
	Monacanthidae sp2	MON_2	1	2	1	4	12,8 - 15,5
Tetraodontidae							
	<i>Arothron</i> sp1	AROT1	9	12	32	53	7,2 - 31,4
	<i>Arothron</i> sp2	AROT2	-	1	2	3	12,3 - 16,1
	<i>Arothron</i> sp3	AROT3	1	1	6	8	9,1 - 12,1
	<i>Canthigaster</i> sp1	CANT1	11	2	11	24	11,6 - 40,0
	<i>Torquigener</i> sp1	TORQ1	-	1	1	2	13,1 - 15,3
Non identifiés			68	5	10	83	8,0 - 11,8
TOTAL			17446	20546	17813	55805	

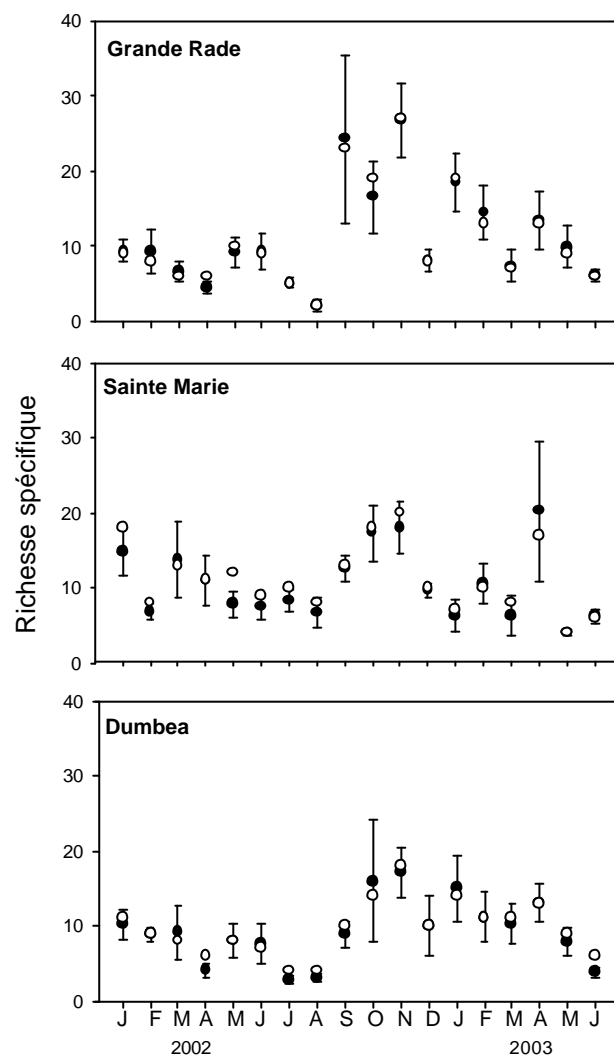


Figure 10 : Richesse spécifique observée (cercles vides) et estimée à l'aide de l'Abundance Coverage Estimator (cercles pleins), dans chaque baie et pour chaque mois de campagne. Les barres verticales correspondent aux déviations standard associées aux valeurs de ACE.

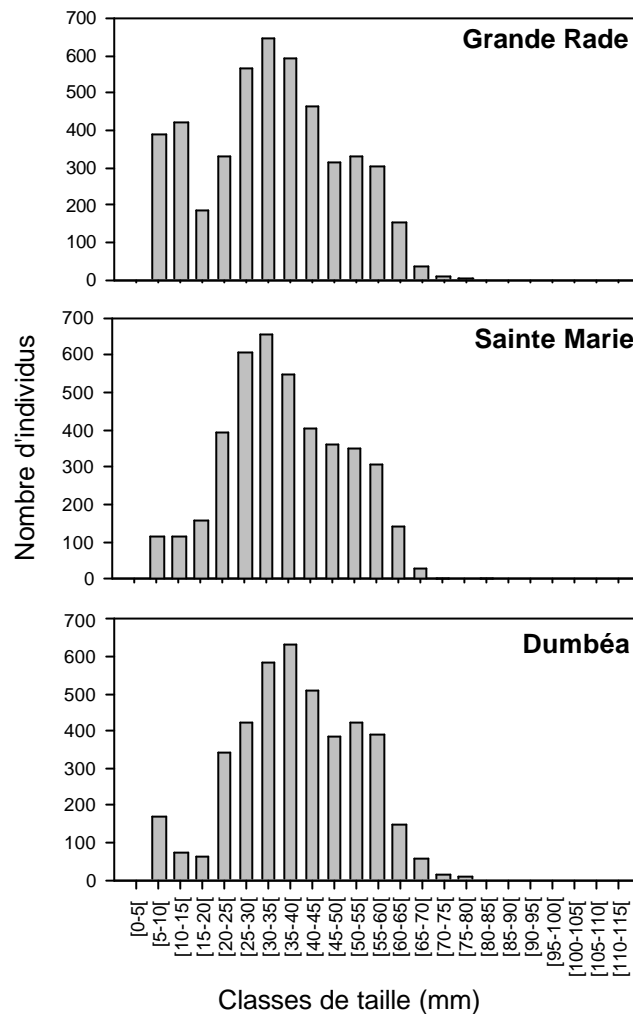


Figure 9 : Distribution des tailles des poissons récoltés dans les trois baies.

Les distributions de taille des poissons récoltés dans les trois baies sont similaires (figure 9), mais la Grande Rade présente une plus grande proportion d'individus de taille inférieure à 20 mm (21% dans la Grande Rade ; 9% dans la baie de Sainte Marie ; 7% dans la baie de Dumbéa) .

3.3.1. Richesse spécifique

Dans chacune des baies, les richesses spécifiques calculées (Abundance Coverage Estimator) présentent des variations temporelles similaires avec trois phases distinctes (figure 10). Une première période de huit mois, de janvier à août 2002, présente des valeurs estimées de richesse spécifique inférieures ou proches de 10, avec une tendance décroissante, et des minima en juillet et août 2002 dans les trois baies. Une seconde période s'étend de septembre à novembre 2002. Les valeurs de richesse y sont plus élevées (moyenne estimée de 22,6 taxons dans la Grande Rade, 15,9 dans la baie de Sainte Marie et 14,0 dans la baie de Dumbéa).

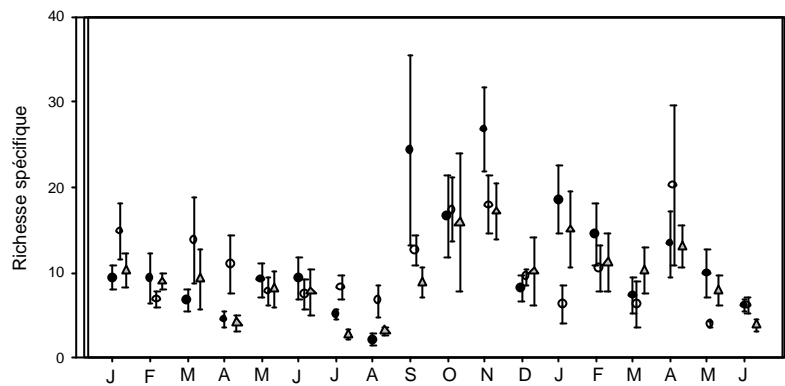


Figure 11 : Valeurs calculées de richesse spécifique (Abundance Coverage Estimator) pour chaque campagne et pour les trois baies d'étude, avec cercles noirs : Grande Rade ; cercles blancs : baie de Sainte Marie ; triangles gris : baie de Dumbea ; barres verticales : déviations standards associées aux valeurs de ACE.

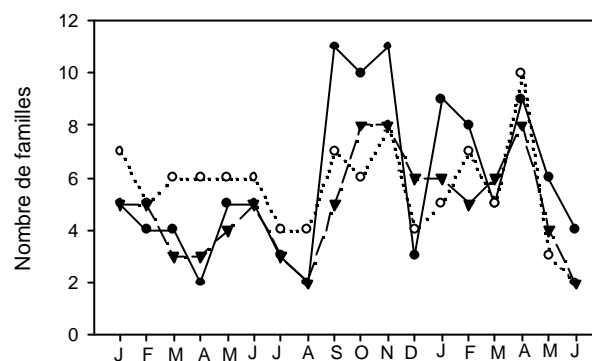


Figure 12 : Nombre de familles observé pour chaque campagne et pour les trois baies d'étude avec cercles noirs : Grande Rade ; cercles blancs : baie de Sainte Marie ; triangles noirs : baie de Dumbéa.

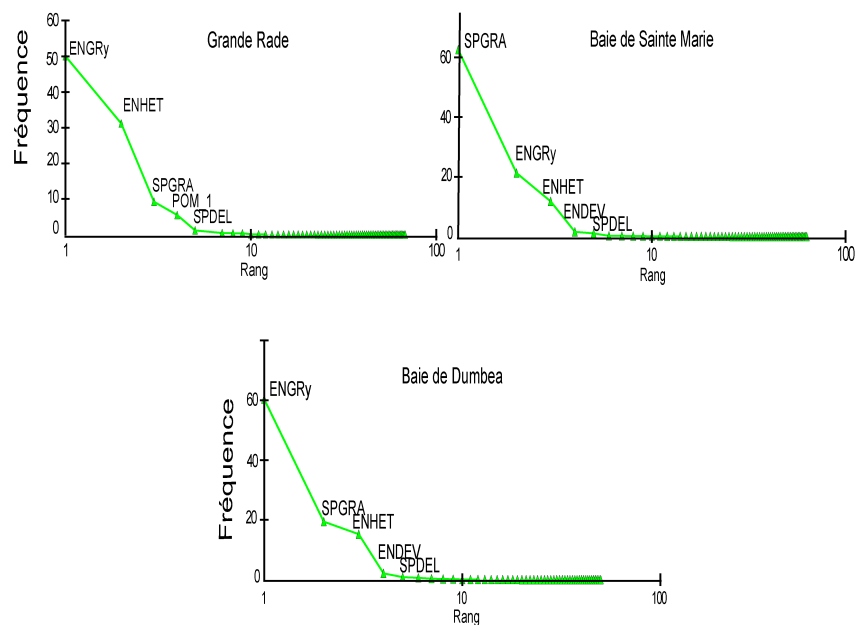


Figure 13 : Diagrammes rang-fréquence pour les trois baies, avec les codes des cinq taxons dominants. Voir tableau 3 pour la signification de ces codes.

Une troisième période s'étend de décembre 2002 à juin 2003, avec une diminution globale des valeurs de richesse et un pic en avril 2003 dans les trois baies (moyenne estimée de 11,1 dans la Grande Rade ; 9,0 dans la baie de Sainte Marie ; 10,2 dans la baie de Dumbéa). On note que les valeurs de richesse estimées et observées sont généralement proches, les différences ne dépassant pas 1,5 dans la Grande Rade, 3,2 dans la baie de Sainte Marie et 1,9 dans la baie de Dumbéa. Les estimations de ACE s'accompagnent de fortes déviations standard, traduisant une grande variabilité dans les valeurs réelles de la richesse, ce qui n'apparaît pas dans le nombre de taxons par piège.

Les valeurs de richesse spécifique estimées diffèrent peu entre les trois baies, sauf en mars, septembre, et novembre 2002 et janvier et avril 2003 (figure 11). Ces cinq mois s'accompagnent de fortes valeurs de déviation standard dans les trois cas. Les valeurs de diversité dans la Grande Rade sont maximales neuf mois sur 18, et sept mois sur 18 dans la baie de Sainte Marie. La baie de Dumbéa ne présente les valeurs de richesse spécifique les plus élevées qu'en décembre 2002 et mars 2003.

Les variations temporelles du nombre de familles dans les trois baies (figure 12) présentent une allure en trois phases, comme celle du nombre de taxons (figure 11). Les maxima de richesse spécifique observés en septembre, octobre et novembre 2002 (figure 11) sont donc liés à la présence d'un grand nombre de familles différentes à cette période (figure 12). De même, le pic observé en avril 2003 dans les trois baies est lié à la présence de différentes familles.

3.3.2. Taxons dominants dans les assemblages.

Dans les trois baies d'étude, sur l'ensemble des campagnes de pêche, cinq taxons dominent largement les échantillonnages (figure 13). Dans la Grande Rade, sur les 66 taxons identifiés, les Clupéiformes apparaissent comme largement dominants, avec deux familles : les Engraulididae (jeunes Engraulididae, *Encrasicholina heteroloba*) et les Clupeidae (*Spratelloides gracilis* et *S. delicatulus*). La famille des Pomacentridae (Perciformes) fait également partie des taxons dominants dans cette baie. Dans la baie de Sainte Marie, parmi les 63 taxons identifiés, les Clupéiformes constituent les cinq taxons majeurs, avec la famille des Clupeidae (*S. gracilis* et *S. delicatulus*) et des Engraulididae (jeunes Engraulididae, *E. heteroloba* et *E. devisi*). Dans la baie de Dumbéa, 50 taxons ont été recensés, et les Clupéiformes y apparaissent aussi comme largement majoritaires avec la famille des Engraulididae (jeunes Engraulididae, *E. heteroloba* et *E. devisi*) et des Clupeidae (*S. gracilis* et *S. delicatulus*).

Ainsi, les assemblages obtenus dans les trois baies d'étude sont dominés par les mêmes taxons même si leur ordre d'importance varie d'une baie à l'autre. Dans les trois cas, ce sont les familles des Clupeidae et Engraulididae qui dominent dans les assemblages de jeunes poissons capturés. Seule la Grande Rade se distingue par la présence des Pomacentridae parmi les taxons majeurs.

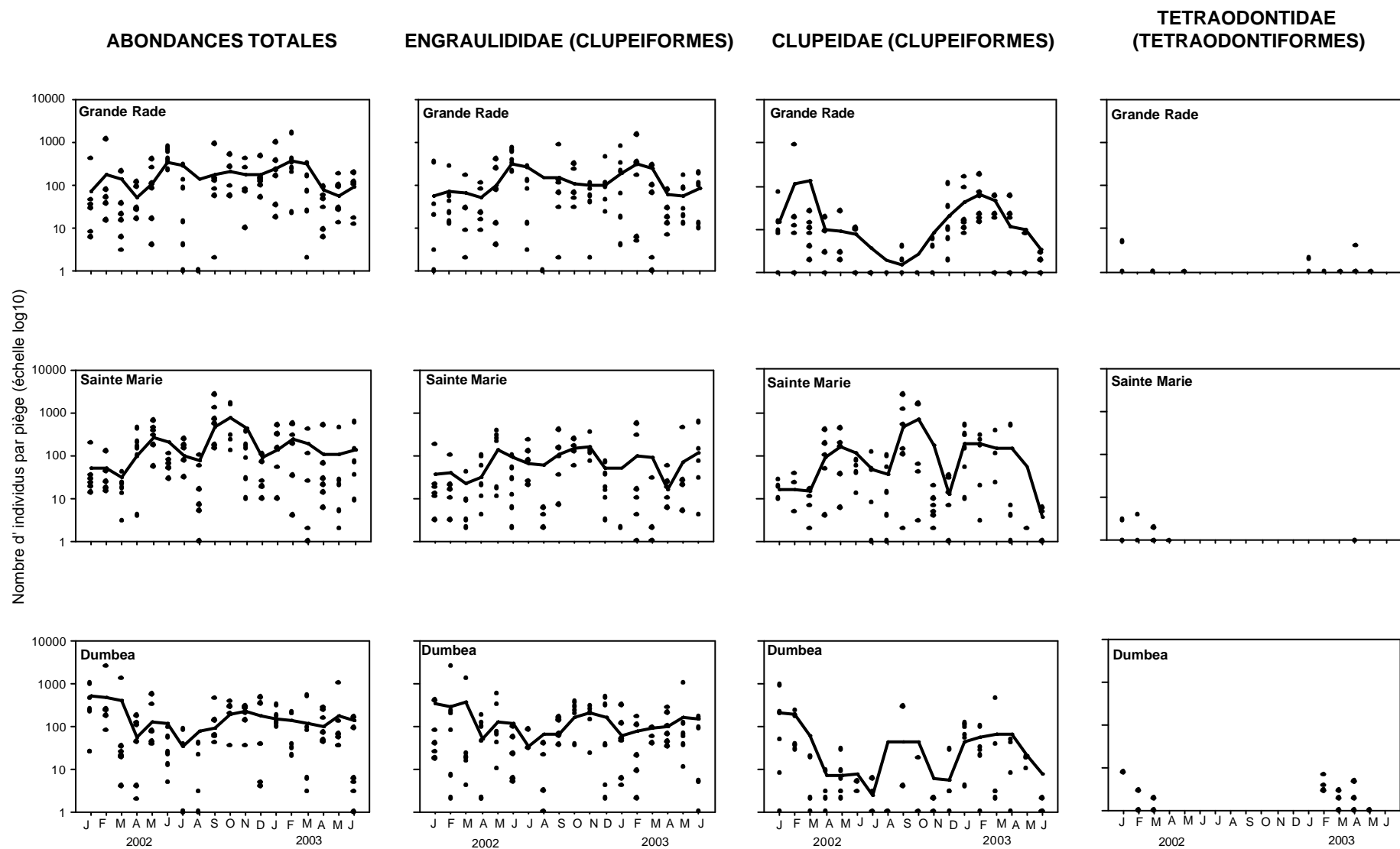


Figure 14a : Nombre d'individus par piège pour chaque mois de campagne dans les trois baies au total, chez les Clupéiformes et les Tetraodontiformes. Les courbes de tendance correspondantes (moyenne mobile) ont été tracées dès que les effectifs étaient suffisants. Les ordonnées sont représentées en échelle logarithmique de base 10.

3.3.3. Patrons temporels d'abondance.

Les variations temporelles des abondances totales par famille présentent une allure similaire dans les trois baies, avec une forte variabilité du nombre d'individus récoltés par piège (figure 14a). Les abondances maximales tous taxons confondus sont observées en juin-juillet 2002 et février-mars 2003 dans la Grande Rade ; en septembre-octobre-novembre 2002 dans la baie de Sainte Marie et en janvier-février-mars 2003 dans la baie de Dumbéa. Les abondances minimales sont observées en avril 2002 et mai 2003 dans la Grande Rade, en mars 2002 dans la baie de Sainte Marie et en juillet 2002 dans la baie de Dumbéa.

Trois patrons temporels d'abondances peuvent être distingués (figure 14a et b). Le premier type concerne les familles dont les représentants sont présents toute l'année dans les captures, avec des abondances variables au cours de l'année. Il s'agit des Engraulididae et Clupeidae (figure 14a) avec une variabilité des abondances plus importante au cours du temps pour ces derniers.

Pour d'autres familles, les captures s'observent exclusivement en début d'année. C'est le cas des Tetraodontidae (figure 14a), qui apparaissent du mois de janvier au mois de mai en 2002 et en 2003, et des Chaetodontidae (figure 14b) dont les jeunes ont été récoltés surtout entre les mois de janvier et mai 2002 et en début d'année 2003 dans la baie de Sainte Marie.

Enfin, certaines familles ne sont capturées qu'en fin d'année (septembre à novembre) : c'est le cas des Pomacentridae, des Lethrinidae et des Blenniidae (figure 14b). Les Apogonidae sont surtout présents dans la baie de Sainte Marie, où ils sont capturés de juillet à décembre.

3.3.4. Structure spatio-temporelle des données biologiques.

Le tableau de contingence stations-espèces comprend 303 échantillons, les échantillons avec aucun poisson ayant été éliminés, et 97 taxons. Les données sont des données d'abondance par taxon pour chaque échantillon, lesquels sont regroupés en catégories de baies (N=3), stations (N=18) et campagnes (N=18).

PERCIFORMES

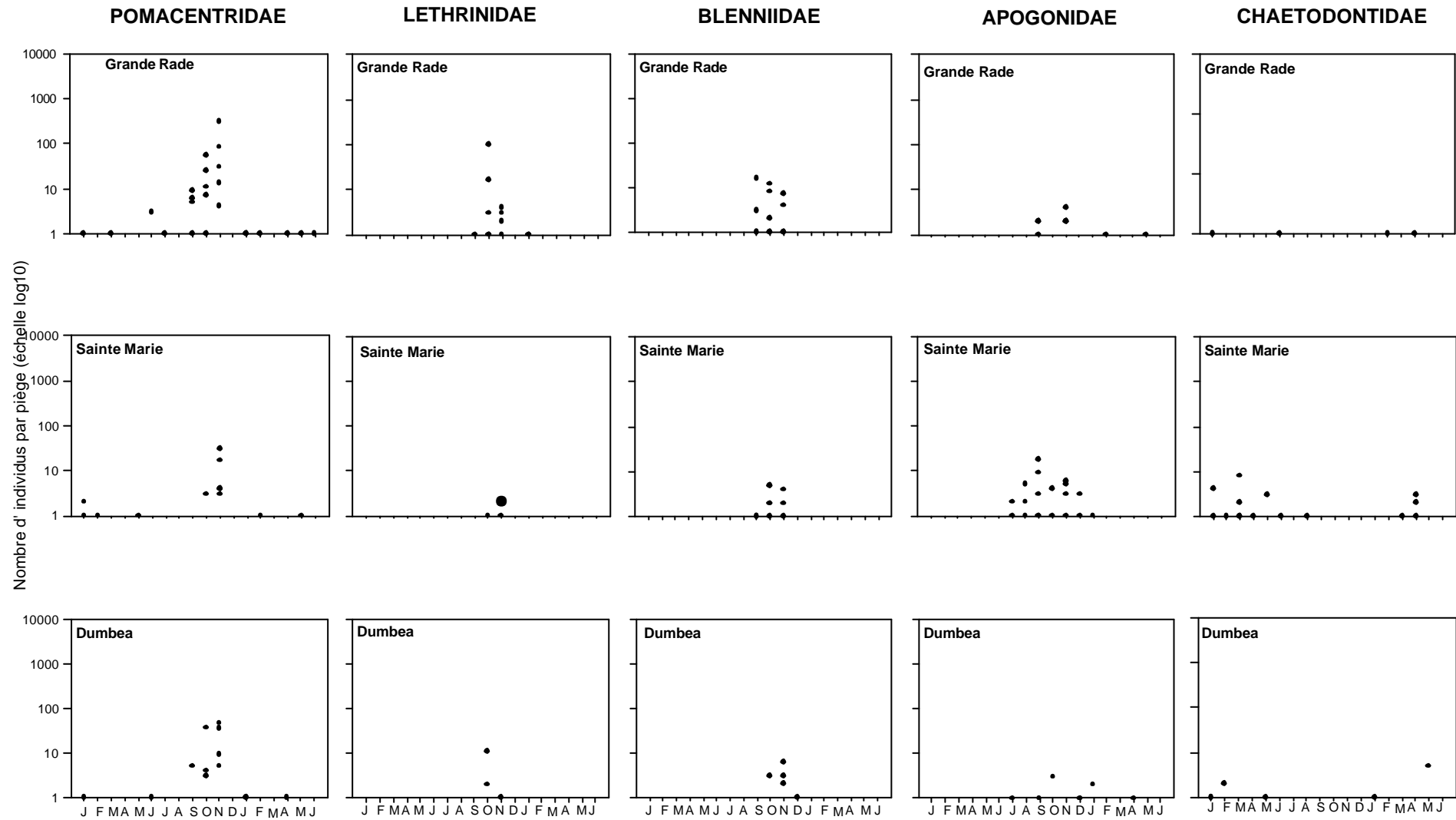


Figure 14b : Nombre d'individus par piège pour chaque mois de campagne dans les trois baies chez les Perciformes. Les ordonnées sont représentées en échelle logarithmique de base 10.

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) qui permet d'expliquer le plus de variance dans les données est celle qui se base sur le groupement des taxons par familles et des échantillons par campagne (92,36% de variance expliquée par trois axes; tableau 6), mais le regroupement des échantillons par campagnes induit une perte d'information quant à la dispersion des données par stations. L'analyse qui présente un pourcentage de variance expliqué de 67,39% avec trois axes a été écartée pour la même raison. C'est l'analyse basée sur les taxons groupés par familles uniquement qui a été retenue. Le pourcentage de variance qu'elle permet d'expliquer est supérieur à 60%, ce qui est suffisant pour faire apparaître une éventuelle structuration des données faunistiques. Les échantillons et les taxons ont été représentés dans l'espace factoriel constitué par les axes 1 et 2 qui permettent d'expliquer plus de 55% de la variance dans les données d'abondance (tableau 4).

Tableau 4 : Variance expliquée par les trois premiers axes dans les différentes analyses (AFC) sur les données biologiques. L'analyse retenue est celle effectuée sur les abondances brutes des taxons regroupés par familles (caractères gras).

<i>Observations</i>	<i>Taxons</i>	<i>Transformation des abondances</i>	<i>% Variance expliquée</i>			
			Axe1	Axe2	Axe3	Somme
Tous les échantillons	Tous	Aucune	11,80	9,71	9,05	30,55
Tous les échantillons	Sans les espèces rares*	Aucune	16,33	13,42	9,78	39,54
Tous les échantillons	Tous	Log (x+1)	6,36	5,42	9,89	15,67
Tous les échantillons	Sans les espèces rares*	Log (x+1)	10,37	7,49	6,01	23,86
Tous les échantillons	Regroupement par familles	Aucune	34,75	20,51	7,88	63,14
Echantillons groupés par campagne	Tous les taxons	Aucune	28,72	21,67	17,00	67,39
Echantillons groupés par campagne	Regroupement par familles	Aucune	49,67	33,47	9,22	92,36

*Espèce rare = espèce avec une abondance < 0,001% des abondances totales.

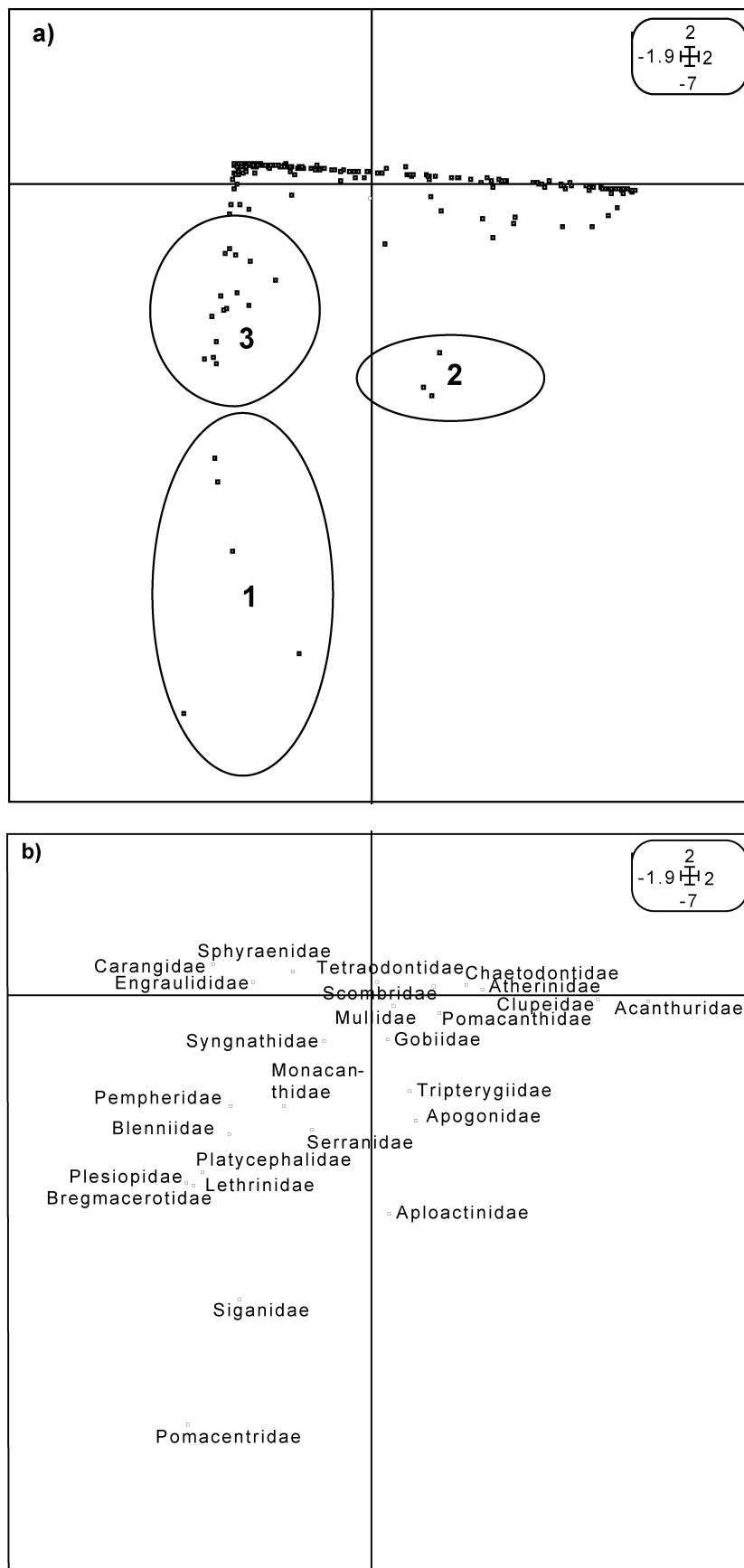


Figure 15 : Projection des échantillons (a) et des familles (b) dans l'espace factoriel de l'AFC : axes 1 (abscisse : 34,75% de la variance) et 2 (ordonnée, 20,51%).

La majorité des échantillons projetés dans l'espace factoriel 1-2 de l'AFC est regroupée dans un nuage central le long de l'axe 1 (figure 15a). Cependant, trois groupes d'échantillons provenant principalement des campagnes de fin d'année 2002 se distinguent nettement (tableau 5).

La majorité des familles se regroupent le long de l'axe 1 et ne présentent que peu d'affinités pour une baie ou une campagne donnée (figure 15b). Les Engraulididae et Clupeidae se distinguent peu de ce groupe et ne présentent donc pas d'affinité marquée pour une baie ou une campagne donnée. Certaines familles semblent au contraire caractéristiques de certaines campagnes ou baies (tableau 5).

Tableau 5 : Associations familles-campagnes-baies issues de l'interprétation de la répartition des échantillons et des familles dans l'espace factoriel 1-2 de l'AFC réalisée sur les données biologiques. Les groupes d'échantillons sont ceux mis en évidence sur la figure 15.

<i>Groupe d'échantillons</i>	<i>Baie d'origine</i>	<i>Campagne</i>	<i>Familles associées</i>
1	Grande Rade	novembre 2002	Siganidae Pomacentridae + Lethrinidae Bregmacerotidae Plesiopidae Platycephalidae
2	Sainte Marie Dumbéa	juillet, août et novembre 2002	Tripterygidae Apogonidae Aploactinidae
3	Grande Rade Dumbéa	septembre à décembre 2002	Monacanthidae Serranidae Pempheridae Blenniidae

Tableau 6 : Effets de différents types de transformations et regroupements des données faunistiques sur les résultats de l'analyse de co-inertie, destinée à dégager une éventuelle structure commune aux deux tableaux environnemental et faunistique.

		Tableau environnemental	Tableau faunistique	% variance expliqué	Commentaire
Analyse de co-inertie 1	Type de données	Données brutes	Données brutes, taxons regroupés par familles	Axe 1 : 74,07% Axe 2 : 25,46% Total sur 2 axes : 99,53%	Résultats masqués par le poids des familles de Clupéiformes (abondances très fortes)
	Type de traitement	ACP normée	ACP centrée		
Analyse de co-inertie 2	Type de données	Données brutes	Données Log(x+1), tous les taxons	Axe 1 : 56,49% Axe 2 : 26,40% Total sur 2 axes : 82,89%	Comme dans l'analyse 1
	Type de traitement	ACP normée	ACP centrée		
Analyse de co-inertie 3	Type de données	Données brutes	Données Log(x+1), taxons regroupés par familles	Axe 1 : 66,15% Axe 2 : 21,63% Total sur 2 axes : 87,78%	Analyse retenue.
	Type de traitement	ACP normée	ACP centrée		

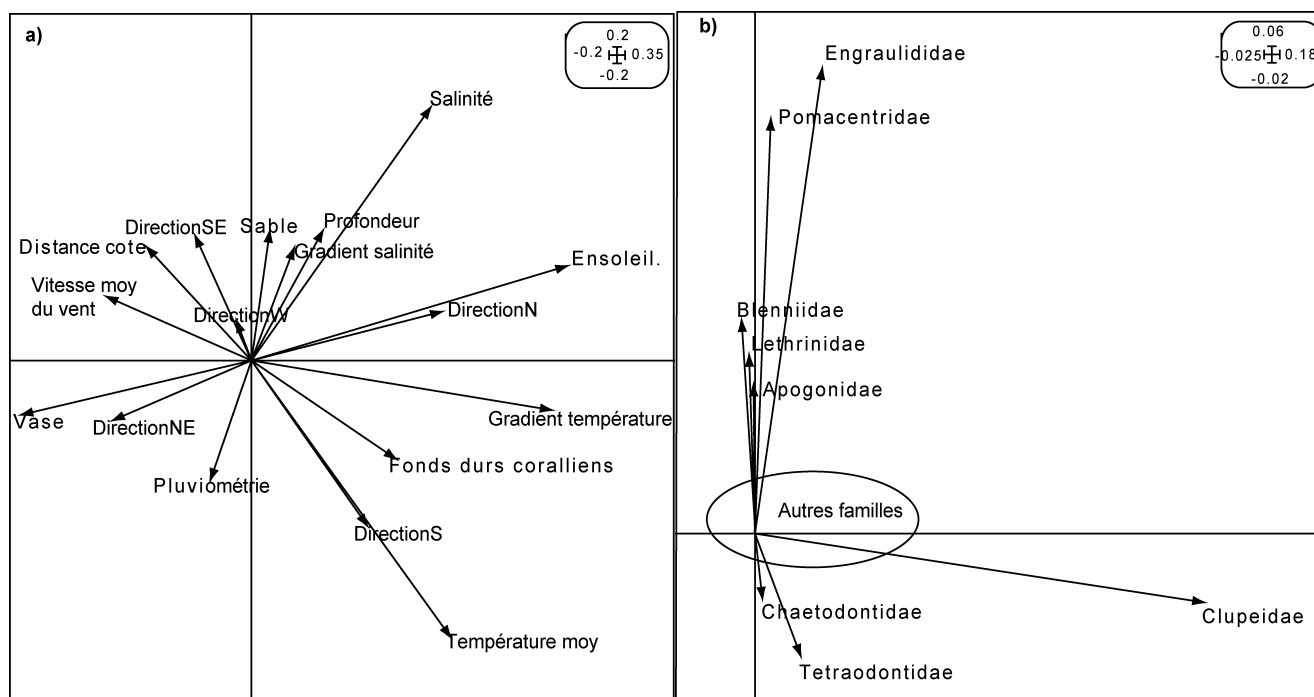


Figure 16 : Cartes factorielles des variables environnementales (a) et des familles (b) fournies par l'analyse de co-inertie (Axe 1: 66,15% de la variance : axe 2: 21,63%). Autres familles : Acanthuridae, Aploactinidae, Atherinidae, Bregmacerotidae, Carangidae, Gobiidae, Tripterygidae, Siganidae, Monacanthidae, Mullidae, Pempheridae, Platycephalidae, Plesiopidae, Pomacanthidae, Scombridae, Serranidae, Sphyraenidae, Syngnathidae ; regroupées en un groupe compact, non discernables les unes des autres.

3.4. Couplage des données environnementales et biologiques.

Plusieurs types de transformations et regroupements des données faunistiques ont été tentées avant d'effectuer l'analyse de co-inertie (tableau 6). Les abondances très élevées des Clupéiformes ont tendance à masquer les informations portant sur les autres taxons. Une transformation $\log(x+1)$ a donc été choisie de façon à limiter l'importance des valeurs fortes d'abondance et d'amplifier celle des valeurs faibles. Le regroupement par familles a été choisi dans un souci de cohérence globale de cette étude.

Les axes 1 et 2 permettent d'expliquer 87,78% de la variance (tableau 6). Le couplage des deux tableaux permet de bien expliquer la structure existant dans l'ensemble des données, ce qui a été vérifié par un test de permutation (D-fixed Monte-Carlo test ; $P=0,03$).

Sur l'axe 1, les variables qui restituent le plus d'information sont, par ordre décroissant des contributions absolues (tableau 7), l'ensoleillement, la différence de température entre la couche de surface (0-50 cm) et celle de fond (50 derniers cm), la température et la salinité moyenne dans la couche 0-5 m et la vitesse moyenne du vent le jour de l'échantillonnage (figure 16a). Sur l'axe 2, il s'agit de la température et de la salinité moyenne entre 0 et 5 m, de la profondeur de la station d'échantillonnage, de la pluviométrie le jour de l'échantillonnage et de la distance à la côte des stations (tableau 7, figure 16a).

Tableau 7 : Contributions absolues des variables environnementales sur les axes 1 et 2 de l'espace factoriel de l'analyse de co-inertie.

<i>Variable</i>	<i>AXE 1</i>	<i>AXE 2</i>
Température moyenne dans la couche 0-5 m	1186	3413
Salinité moyenne dans la couche 0-5 m	946	2799
Différence de température entre la couche de surface (0-50 cm) et celle de fond (50 cm les plus profonds)	2662	113
Différence de salinité entre la couche de surface (0-50 cm) et celle de fond (50 cm les plus profonds)	50	508
Profondeur	142	685
Distance à la côte de la station d'échantillonnage	306	523
Vase	505	42
Sable	2	221
Fonds durs coralliens	194	134
Pluviométrie	44	584
Ensoleillement	2964	384
Vitesse moyenne di vent le jour de l'échantillonnage	584	167
Vent de direction Nord-Est	105	30
Vent de direction Sud-Est	17	127
Vent de direction Sud	77	233
Vent de direction Ouest	0	8
Vent de direction Nord	207	19

Les Clupeidae sont abondants dans les pièges surtout lorsque l'ensoleillement est important, dans les eaux chaudes, salées et stratifiées thermiquement et lorsque les vitesses moyennes de vent sont faibles (figure 16). A l'inverse, les Engraulididae sont surtout présents lorsque la température de l'eau est faible, que sa salinité est élevée et que la pluviométrie est faible. Les poissons de cette famille sont surtout présents aux stations éloignées des côtes, présentant des profondeurs importantes. Les Pomacentridae sont bien représentés lorsque les conditions environnementales sont proches de celles décrites pour les Engraulididae mais l'influence de la distance à la côte et de la profondeur est plus limitée pour cette famille. Les Blenniidae, Lethrinidae et Apogonidae sont influencés par les mêmes variables que les Pomacentridae et Engraulididae mais de façon moins marquée. Les Chaetodontidae et Tetraodontidae sont présents dans les eaux chaudes et peu salées, les jours où une pluviométrie forte est observée, à de faibles profondeurs, près des côtes. Les autres familles de Perciformes sont concentrées en un nuage central, ce qui indique que leurs abondances dans les échantillons sont peu liées aux variables utilisées.

4. DISCUSSION

Les dix-huit campagnes d'échantillonnage réalisées ont permis d'obtenir 26 familles de poissons récifo-lagonaires qui se trouvent dans les trois baies étudiées aux stades jeunes. Ces 26 familles représentent 22% des familles présentes dans le lagon et 36% de celles connues pour peupler les fonds de baies dans cette zone (M. Kulbicki, IRD Nouméa, comm.pers.). Sur ces 26 familles, 20 sont connues pour être présentes en fonds de baies aux stades jeunes comme à l'âge adulte (M. Kulbicki, IRD Nouméa, comm.pers.). Seuls les Bregmacerotidae, Aploactinidae, Pempheridae, Tripterygiidae et Monacanthidae semblent passer des zones côtières lorsqu'ils sont jeunes au milieu lagunaire proprement dit à l'âge adulte (M. Kulbicki, IRD Nouméa, comm.pers.).

Avec 26 familles identifiées, les assemblages de jeunes poissons dans les trois baies étudiées sont proches de ceux observés dans d'autres endroits du monde avec la même technique d'échantillonnage. Dennis *et al.* (1991) recensent 24 familles dans les zones côtières de Puerto Rico, Sponaugle et Cowen (1996) en récoltent 31 sur les côtes de La Barbade (Antilles), Meekan *et al.* (2001) en ont identifié 31 au Nord-Ouest de l'Australie et Milicich (1988) en recense 24 à Lizard Island, sur la Grande Barrière de Corail.

Parmi ces 26 familles, les Clupeidae et Engraulididae sont les taxons majeurs en terme d'abondance dans les trois baies et pendant toute la période d'échantillonnage. Les Tetraodontidae sont également bien représentés. Chez les Perciformes, les Pomacentridae, Lethrinidae, Blenniidae et Apogonidae dominent largement. Les échantillonnages réalisés avec la même technique sur la Grande Barrière Australienne (Doherty, 1987 ; Milicich, 1988, 1994 ; Choat *et al.*, 1991 ; Milicich et Doherty, 1994 ; Meekan *et al.*, 2001), à La Barbade (Sponaugle et Cowen, 1996) et à Puerto Rico

CARASSOU-Rapport scientifique

(Dennis *et al.*, 1991) présentent des résultats sensiblement différents de ceux obtenus pour les trois baies d'étude de Nouvelle-Calédonie. En effet, Sponaugle et Cowen (1996) observent une majorité de Perciformes dans les zones côtières près de La Barbade, où dominent les Atherinidae, les Blenniidae, les Pomacentridae et les Scaridae. Les Engraulidae sont très peu représentés dans leurs échantillons. Meekan *et al.* (2001) ont récolté une majorité de Pomacentridae, Lethrinidae, Blenniidae et Mullidae et très peu d'Engraulidae. De même, Milicich (1988 et 1994) observe une nette dominance des Pomacentridae et la présence de Lethrinidae, Apogonidae, Blenniidae et Mullidae, les abondances d'Engraulidae étant relativement mineures. Les Clupeidae dominent par contre les assemblages récoltés dans la Mer des Caraïbes (Dennis *et al.*, 1991) ainsi que sur les côtes d'Afrique du Sud (Beckley et Naidoo, 2003).

Les Apogonidae, Atherinidae, Blenniidae, Clupeidae, Gobiidae et Pomacentridae, dont des jeunes ont été récoltés dans les baies d'étude sont connus pour rester dans les lagons d'atolls de Polynésie aux stades larvaires (Leis, 1991, Leis *et al.*, 2003), tout en étant aussi capables de passer cette phase en milieu océanique (Leis, 1991). A l'inverse, les jeunes Carangidae, Labridae, Acanthuridae, Chaetodontidae, Serranidae et Blenniidae qui ont été capturés dans le cadre de cette étude sont connus pour être présents exclusivement dans les zones océaniques en Polynésie (Leis, 1991).

Une saisonnalité est observée dans cette étude chez les jeunes de plusieurs taxons. Certaines familles apparaissent plutôt de janvier à avril : Tetraodontidae et Chaetodontidae. Peu d'informations sont disponibles dans la littérature concernant les patrons temporels d'abondance des ces deux familles car ils sont souvent récoltés en trop faibles quantités pour pouvoir établir une dynamique temporelle d'occurrence claire. D'autres familles sont capturées de septembre à novembre : Pomacentridae, Lethrinidae, Blenniidae et Apogonidae. Milicich (1988) observe des abondances maximales de Pomacentridae et Lethrinidae en décembre à Lizard Island. Milicich et Doherty (1994) y observent des pics d'abondance de la plupart des familles de Perciformes aux mois de novembre-décembre. McIlwain (2003) observe des Blenniidae en abondance aux mois de décembre-janvier, et des Apogonidae en décembre à Ningaloo Reef (Australie). Les patrons temporels d'abondance de ces quatre familles : Pomacentridae, Lethrinidae, Blenniidae et Apogonidae, semblent donc peu variables géographiquement. La similitude des patrons d'abondance des jeunes poissons de différents taxons a été montrée par Milicich et Doherty (1994), malgré une variabilité inter-annuelle élevée. Cette similarité des patrons temporels d'apparition des jeunes poissons dans les échantillons suggère que des facteurs environnementaux communs influencent la dynamique des assemblages de jeunes poissons (Sponaugle et Cowen, 1996). La similitude entre les périodes d'apparition des jeunes observées dans cette étude et ceux de la littérature peut s'expliquer par le fait que les pics d'apparition des jeunes sont liés à la biologie de

reproduction des adultes (Leis et McCormick, 2002), conditionnée pour chaque taxon par des facteurs abiotiques identiques quelle que soit la localisation géographique.

La particularité des campagnes de fin d'année dans la Grande Rade et la baie de Dumbéa, caractérisées par des abondances très importantes de jeunes poissons, est le résultat le plus marquant dans cette étude en termes de variabilité spatiale et temporelle des assemblages. Cette spécificité peut s'expliquer par des différences en termes de rétention des eaux dans les trois baies. La Grande Rade, de par son orientation, est abritée des vents dominants de Sud-Est. L'influence limitée des vents provoque un hydrodynamisme faible dans cette baie, et le temps de renouvellement des eaux, ou « flushing time », y est maximal (A. Jouon, IRD Nouméa, comm.pers). Ceci pourrait influencer les assemblages de jeunes poissons par une action physique en les concentrant dans la baie. De plus, un temps de résidence plus long et un hydrodynamisme faible favorisent une structuration verticale de la colonne d'eau, permettant le maintien de la couche photique en surface. Ainsi, la production primaire pourrait être favorisée, et être à l'origine d'une forte production zooplanctonique qui constitue la source de nourriture principale des jeunes poissons. La baie de Dumbéa est plus ouverte sur le lagon et plus exposée aux vents. Les eaux y entrent par le fond vers le bord sud de la baie pour s'évacuer ensuite en surface vers le bord nord sous la poussée des vents. La courantologie générale dans cette baie crée ainsi une gyre sud-nord du fond vers la surface (Douillet, 2001). Le temps de renouvellement des eaux dans cette baie, bien que moins élevé que celui calculé pour la Grande rade, reste important. Comme dans la Grande Rade, ce temps de renouvellement élevé dans la baie de Dumbéa peut avoir à la fois un effet « concentrateur » physique sur les jeunes poissons et un effet biologique favorable en stimulant la production planctonique. La baie de Sainte Marie est la plus exposée aux vents dominants et le temps de renouvellement des eaux y est minimal (A. Jouon, IRD Nouméa, comm.pers). Aucun effet « concentrateur » pour les jeunes poissons ne pourrait donc s'y produire. Le fait que les abondances totales de poissons y soient supérieures à ce que l'on observe dans les autres baies provient du fait que les Clupéiformes y sont abondants toute l'année. L'influence des courants locaux liés aux vents sur la distribution des assemblages de jeunes poissons a également été observée à One Tree Island, sur la Grande Barrière de Corail australienne par Kingsford et Finn (1997), où les courants circulaires locaux liés à la morphologie du récif ont tendance à concentrer les larves de poissons près des zones récifales.

Tableau 8 : Tailles observées (mm) des jeunes de sept familles de poissons récifo-lagonaires capturés en Polynésie (Leis et al., 2003), en Australie (Kigsford et Finn, 1997) et en Nouvelle-Calédonie.

Famille	Taille (mm) observées en Nouvelle-Calédonie	Tailles (mm) observées à One Tree Island en Australie	Tailles (mm) observées en Polynésie
Clupeidae	13,7 – 114,5		2,4 – 6,3
Apogonidae	5,0 – 42,8	3,0 – 29,0	1,2 – 4,2
Lethrinidae	8,0 – 21,2		1,6 – 6,5
Chaetodontidae	8,1 – 11,0		1,3 – 2,7
Pomacentridae	5,4 – 36,5	3,0 – 14,2	1,3 – 4,8
Blenniidae	8,5 – 17,0	3,0 – 42,0	1,2 – 1,9
Gobiidae	9,3 – 10,8	2,0 – 43,0	1,5 – 10,1

Pour huit familles dominantes de cette étude, les tailles observées en milieu océanique (Leis *et al.* 2003) et pour des individus en phase de pré-installation (Kingsford et Finn, 1997) sont plus faibles que celles observées dans les captures sur les zones côtières en Nouvelle-Calédonie (tableau 8). Comme aucun individu aussi petit que ceux récoltés par Leis *et al.* (2003) et Kingsford et Finn (1997) n'a été observé, il est possible de supposer que plusieurs stades sont représentés dans les échantillons, incluant les stades de pré-installation. Les grandes tailles de certains individus permettent de supposer qu'ils sont plus âgés. Comme ils ont été échantillonnés dans la colonne d'eau, ceci pourrait signifier que leur phase de pré-installation dure plus longtemps que dans d'autres milieux ou que les poissons s'installent à un stade de développement et donc à une taille différent de celui observé en Polynésie ou en Australie. Seules des déterminations de l'âge des poissons à partir de leurs otolithes permettraient de résoudre cette question.

L'hypothèse d'une histoire de vie à deux phases avec l'une benthique en milieu récifo-lagonaire et l'autre pélagique en milieu océanique, avancée en Polynésie par Johanès (1978), puis Leis *et al.* (2003) et Lecchini et Galzin (2003) pour les travaux les plus récents, ne peut donc être confirmée pour l'instant pour les poissons récifo-lagonaires du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. En effet, l'occupation de la zone côtière par de très jeunes poissons, c'est-à-dire les plus petits individus récoltés permet de s'interroger sur les intérêts adaptatifs d'une phase océanique pour les stades suivants étant donné la taille du lagon. Il est donc plus probable que ces petits individus restent dans le lagon. Pour réellement aborder ce problème, estimer l'âge des jeunes poissons capturés s'avère indispensable. La microchimie de leurs otolithes permettrait également de déterminer le type de milieu dans lequel ils ont effectué leur croissance, et si certains ont vraiment une phase pélagique océanique. De plus, plusieurs stratégies peuvent exister au sein d'une même famille et les niveaux d'identification atteints dans cette étude ne permettent pas de mettre en évidence les éventuelles différences de distribution d'une espèce à l'autre. L'identification des stades jeunes pourrait bénéficier de l'emploi d'outils moléculaires, ce qui permettrait de distinguer les espèces dans les analyses de dominance et de patrons temporels d'abondance. D'éventuelles différences de traits de vie au sein d'une même famille pourraient ainsi être décelées.

Même si de nombreuses questions restent en suspens, cette étude a fait apparaître l'importance de certaines zones côtières de Nouvelle-Calédonie pour les assemblages de jeunes poissons. Un grand nombre de taxons récifaux exploités y sont observés : Lethrinidae, Serranidae, Siganidae, Acanthuridae, Sphyraenidae, Carangidae, mais aussi la présence permanente de jeunes Clupéiformes, petits pélagiques consommés par de nombreux prédateurs. Qu'elles soient peuplées en continu par les jeunes de certaines familles de poissons, ou de façon transitoire par d'autres, ces zones constituent donc des milieux de grande importance écologique puisque les processus responsables de la survie larvaire et du recrutement s'y déroulent. Bien que restant encore à explorer dans le détail, l'importance écologique de certaines de ces zones rend nécessaire leur protection afin que leur fonctionnement soit préservé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Beckley L.E., Naidoo A.K., 2003. Exploratory trials with light-traps to investigate settlement stage fishes in subtropical, coastal waters off South Africa. *Afr. Zool.* 38 : 333-342.
- Buri P., Kanamura G., 1983. The mechanics of mass occurrence and recruitment strategy of milkfish *Chanos chanos* (Forsskal) fry in the Philippines. *Mem. Kagoshima Univ. Res. Cent. South Pac.* 3 : 33-55.
- Chao A., 1984. Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scand. J. Stat.* 11: 265-270.
- Chao A., 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics* 43 : 783-791.
- Chao A., Lee S.M., 1992. Estimating the number of classes via sample coverage. *J. Amer. Stat. Assoc.* 87 : 210-217.
- Chao A., Ma M.C., Yang M.C.K., 1993. Stopping rules and estimation for recapture debugging with unequal failure rates. *Biometrika* 80 : 193-201.
- Chazdon R., Colwell R.K., Denslow J.S., Guarigata M.R., 1998. Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica. In : F. Dallmeier and J.A. Comiskey (eds), *Forest biodiversity research, monitoring and modeling : Conceptual background and Old World case studies*. pp 285-309, Parthenon Publishing, Paris.
- Chessel D., Mercier P., 1993. Couplage de triplets statistiques et liaisons espèces – environnement. In : J.D. Lebreton et B. Asselain (eds.) *Biométrie et Environnement*. pp 15-44, Masson, Paris.
- Choat J.H., Doherty P.J., Kerrigan B.A., Leis J.M., 1991. A comparison of towed nets, purse seines and light aggregation devices for sampling larvae and pelagic juveniles of coral reef fishes. *Fish. Bull.* 91 : 195-209.
- Clarke K.R., Gorley R.N., 2001. *PRIMERv5 : User manual/Tutorial*, Primer-E : Plymouth Marine Laboratory, 91 pp.
- Cocheret de la Morinière E., Pollux B.J.A., Nagelkerken I., van der Velde G., 2002. Post-settlement life cycle migration patterns and habitat preference of coral reef fish that use seagrass and mangrove habitats as nurseries. *Est. Coast. Shelf Sc.* 55: 309-321.
- Cocheret de la Morinière E., Pollux B.J.A., Nagelkerken I., Hemminga M.A., Huiskes A.H.L., van der Velde G., 2003. Ontogenetic dietary changes of coral reef fishes in the mangrove-seagrass-reef continuum : stable isotopes and gut-content analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 246 : 279-289.
- Dandonneau Y., Dugas F., Fourmanoir P., Magnier Y., Rougerie F., Debenay J.P., 1981. Le lagon de la Grande Terre, présentation d'ensemble : sédimentologie et hydrologie du Sud-Ouest. In : G. Sautter (ed.), *Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances*. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, Paris : planche 8.
- Dennis D.D., Goulet D., Rooker J.R., 1991. Ichthyoplankton assemblages sampled by night lighting in nearshore habitats of SouthWestern Puerto Rico. *NOAA Technical Report NMFS* 95 : 89-97.
- Doherty P.J., 1987. Light traps : selective but useful devices for quantifying the distributions and abundances of larval fishes. *Bull. Mar. Sci.* 41 : 423-431.
- Douillet P., 2001. *Atlas hydrodynamique du lagon Sud-Ouest de Nouvelle-Calédonie*. Institut de Recherche pour le Développement et ZONECO, Nouméa, 48 pp.
- Ferrarris P., 2001. *Etude d'un système tropical côtier sous influence anthropique : cas de la Baie de Sainte Marie, Nouméa, Nouvelle-Calédonie*. Rapport de stage ouvrier, Université de Poitiers, 28pp.
- Fisher R., Bellwood D.R., 2002. The influence of swimming speed on sustained swimming performance of late-stage reef fish larvae. *Mar. Biol.* 140 : 801 – 807.

- Gower J.C., 1967. Multivariate analysis and multivariate geometry. *The Statistician* 17 : 13-28.
- Jenkins G.P., Wheatley M.J., 1998. The influence of habitat structure on nearshore fish assemblages in a Southern Australian embayment : Comparison of shallow seagrass, reef-algal and unvegetated sand habitats, with emphasis on their importance to recruitment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 221 : 147-172.
- Johanes R.E., 1978. Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. *Environ. Biol. Fish.* 3 : 65-84.
- Kingsford M., Finn M., 1997. The influence of phase of the moon and physical processes on the input of presettlement fishes to coral reefs. *J. Fish Biol.* 51 : 176-205.
- Laegdsgaard P., Johnson C., 2000. Why do juvenile fish utilise mangrove habitats? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 257 : 229-253.
- Launay J., 1972. La sédimentation en baie de Dumbéa (côte ouest, Nouvelle-Calédonie). *Cah. ORSTOM. Sér. Géol.* 4 : 25-51.
- Lecchini D., 2004. Etude expérimentale sur les capacités sensorielles des larves de poissons coralliens dans la détection de leur lieu d'installation. *C.R. Biol.* 327 : 159 – 171.
- Lecchini D., Galzin R., 2003. Synthèse sur l'influence des processus pélagiques et benthiques, biotiques et abiotiques, stochastiques et déterministes, sur la dynamique de l'autorecrutement des poissons coralliens. *Cybiuim* 2003 27 : 167-184.
- Legendre P., Legendre L., 1998. Numerical Ecology, Elsevier, Amsterdam, 853 pp.
- Leis J.M., 1991. The Pelagic Stage of Reef Fishes : the Larval Biology of Coral Reef Fishes. In : P.F. Sale (ed.) *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*, pp 183-230, Academic Press, San Diego.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M., 1997. Swimming speeds of the late larvae in open-water and near-reef pelagic environments. *Env. Biol. Fish.* 53 : 259-266.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M. (eds.), 2000. *The larvae of Indo-Pacific coastal fishes, an identification guide to marine fish larvae*. Fauna Melanesia Handbooks, Australian Museum, Sydney, 850 pp.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M., 2002. In situ settlement behaviour of damselfish (Pomacentridae) larvae. *J. Fish Biol.* 61 : 325-346.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M., 2003. Orientation of pelagic larvae of coral-reef fishes in the ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 252 : 239-253.
- Leis J.M., McCormick M.I., 2002. The Biology, behavior and ecology of the pelagic, larval stage of coral reef fishes. In : P.F. Sale, 2002 (ed.) : *Coral Reef Fishes, Dynamics and Diversity in a complex ex-cosystem*, pp 171-199, Academic Press, San Diego.
- Leis J.M., Trnski T., 1989. *The larvae of Indo-Pacific shorefishes*. New South Wales University Press, Kensington, 364 pp.
- Leis J.M., Trnski T., Dufour V., Harmelin-Vivien M., Renon J.-P., Galzin R., 2003. Local completion of the pelagic larval stage of coastal fishes in coral-reef lagoons of the Society and Tuamotu Islands. *Coral Reefs* 22 : 271-290.
- Manane A., 1998. *Caractéristiques physicochimiques et distribution de la chlorophylle dans les eaux d'un lagon d'île haute soumis aux influences terrigènes et anthropiques*. Rapport de DEA Environnements et Paléoenvironnements Océaniques, Univ. Bordeaux 1, 42 pp.
- McIlwain J.L., 2003. Fine-scale temporal and spatial patterns of larval supply to a fringing reef in Western Australia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 252 : 207-222.
- Meekan M.G., Wilson S.G., Retzet A., 2001. A comparison of catches of fishes and invertebrates by two light traps designs, in tropical NW Australia. *Mar. Biol.* 139 : 373-381.

- Milicich M.J., 1988. The distribution and abundance of presttlement fish in the nearshore waters of Lizard Island. *Proc. 6th int. Coral Reef Symp.* 2 : 785 – 790.
- Milicich M.J., 1994. Dynamic coupling of reef fish replenishment and oceanographic processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 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. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 110 : 121-134.
- Nagelkerken I., Kleijnen S., Klop T., van den Brand R.A.C.J., Cocheret de la Morinière E., van der Velde G., 2001. Dependence of Caribbean reef fishes on mangroves and seagrass beds as nursery habitats : a comparison of fish faunas between bays with and without mangroves/seagrass beds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 214 : 225 – 235.
- Powles H.P., 1977. Island mass effects on the distribution of larvae of two pelagic fish species off Barbados. *FAO Fish Rep.* 200 : 333-346.
- Randall J.E., 1961. A contribution to the biology of the convict surgeonfish of the Hawaiian Islands, *Acanthurus triostegus sandvicensis*. *Pac. Sci.* 15 : 215-272.
- Sale P.F., 1970. Distribution of larval Acanthuridae off Hawaii. *Copeia* 1970 : 765-766.
- Sale P.F. (ed), 1991. The ecology of coral reef fishes. Academic Press, San Diego, California. 754 pp.
- Sponaugle S., Cowen R.K., 1996. Nearshore patterns of coral reef fish larval supply to Barbados, West Indies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 133 : 13-28.
- Sponaugle S., Fortuna J., Grorud K., Lee T., 2003. Dynamics of larval fish assemblages over a shallow coral reef in the Florida Keys. *Mar. Biol.* 143 : 175-189.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S., Olivier J.M. 1997. ADE-4 : a multivariate analysis graphical display software. *Statistics and Computing* 7 : 75-83,.
- Thorrold S.R., Shenker J.M., Wishinski E., Mojica R., Maddox E.D., 1994a. Larval supply of shorefishes to nursery habitats around Lee Stocking Island, Bahamas. I. Small-scale distribution patterns. *Mar. Biol.* 118 : 555-566.
- Thorrold S.R., Shenker J.M., Maddox E.D., Mojica R., Wishinski E., 1994b. Larval supply of shorefishes to nursery habitats around Lee Stocking Island, Bahamas. II. Lunar and oceanographic influences. *Mar. Biol.* 118 : 567-578.
- Tolimieri N., Jeffs A., Montgomery J.C., 2000. Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 207 : 219-224.
- Tucker L.R., 1958. An inter-battery method of factor analysis. *Psychometrika* 23 : 111-136.

