

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE PARIS 6

Spécialité

Océanologie biologique

en collaboration avec

L'ECOLE PRATIQUE DES HAUTES ETUDES

Présentée par

Marc TAQUET

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR de l'UNIVERSITE PARIS 6

Sujet de la thèse :

Le comportement agrégatif de la dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*) autour des objets flottants.

Thèse dirigée par le Professeur René GALZIN

Soutenue publiquement le 17 décembre 2004

Devant le jury composé de :

Dr. Laurent DAGORN	Examineur	IRD
Dr. Jean-Claude GAERTNER	Examineur	Université de Marseille
Pr. René GALZIN	Directeur de Thèse	EPHE
Dr. Philippe GROS	Rapporteur	IFREMER
Pr. Kim HOLLAND	Rapporteur	Université d'Hawaii
Pr. Paul NIVAL	Examineur	Université Paris 6

Thèse préparée dans le laboratoire Ressources Halieutiques de l'Ifremer de La Réunion dans le cadre du projet de recherche « DORADE » co-financé par l'Ifremer, l'Union Européenne (Fonds FEDER), l'Etat, le Conseil Régional et le Conseil Général de La Réunion.



« Les pêcheurs rassemblent des roseaux et en font des fagots qu'ils jettent dans les vagues et au-dessous ils attachent une lourde pierre pour servir de lest. Ils laissent tout ceci flotter doucement au gré des flots et immédiatement, l'ombre attire des groupes de dorades coryphènes qui se rassemblent en bancs et s'attardent autour béatement en frottant leur dos contre les roseaux. Puis les pêcheurs rament vers elles pour trouver une proie disponible, appâtent leurs hameçons et les jettent à l'eau, les poissons s'en saisissent précipitant ainsi leur propre destruction ».

C'est ainsi que le poète romain d'origine sicilienne Oppian, décrit, 200 ans avant Jésus Christ, dans son ouvrage « Halieutica » la pêche des dorades coryphènes sous les premiers dispositifs de concentration de poissons (Oppian, traduit du grec par J. Jones 1722).

Cette thèse doit être citée comme suit :

Taquet M., 2004 – Le comportement agrégatif de la dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*) autour des objets flottants. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6, Océanologie biologique, 168 p.

A Dominique, Coralie et Alizée

A mes parents

A Kathy

A Jacques et Arlette

Remerciements

En tout premier lieu, je tiens à remercier vivement le Professeur René Galzin qui a bien voulu diriger ma formation doctorale, depuis son origine à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes jusqu'à son terme, en collaboration avec l'Université Pierre et Marie Curie. Sa rigueur scientifique, sa confiance et sa gentillesse m'ont permis de mener à bien ce projet dans un contexte de travail très agréable.

Je tiens à remercier tout particulièrement le Professeur Paul Nival qui a bien voulu soutenir mon projet de thèse à l'Université Pierre et Marie Curie et m'accueillir à Villefranche sur Mer pour les cours doctoraux.

Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans Jean-Claude Gaertner et Laurent Dagorn qui les premiers, m'ont fait comprendre tout l'intérêt de retourner à l'Université pour entreprendre un travail de recherche dans un contexte d'évaluation et de collaboration. Un très grand merci pour avoir bien voulu consacrer tout ce temps à la co-direction de cette thèse et pour les passionnantes discussions scientifiques qui ont largement fait progresser ma vision de l'écologie halieutique et du comportement agrégatif des poissons.

Le Dr. Kim Holland est l'un des plus grands experts internationaux du comportement agrégatif des poissons pélagiques, ses travaux constituent des références majeures qui m'ont donné envie de m'engager plus encore dans cette voie de recherche passionnante. C'est donc un très grand honneur pour moi qu'il ait accepté d'être rapporteur de cette thèse.

Le Dr. Philippe Gros est Directeur des Ressources Vivantes de l'Ifremer mais il est avant tout (sans jeu de mots) un modèle scientifique pour tous les chercheurs de l'Institut. Son esprit de synthèse et sa pédagogie contribuent à rendre accessible à tous, à travers ses écrits, les théories les plus difficiles. Je le remercie vivement d'avoir soutenu ma formation doctorale et d'avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse.

Directeur du Département Ressources Halieutiques de l'Ifremer, Loïc Antoine est, à ce titre, mon responsable hiérarchique direct. Il m'a apporté un soutien sans réserve et décisif dès le début de ce projet de thèse. Plus encore, il a su me conseiller et m'épauler pour que je puisse concilier ce travail scientifique personnel et ma charge de Chef du laboratoire Ressources Halieutiques de La Réunion. Un très grand merci à Loïc pour sa disponibilité à mon égard, pour ses conseils halieutiques éclairés et pour son soutien professionnel et amical.

Toute ma gratitude et toute mon amitié vont au Professeur Jean-Yves Le Gall pour l'aide qu'il m'a apportée dans ces 20 dernières années et en particulier pour l'aventure réussie ensemble du Colloque DCP en 1999.

Je souhaite adresser un remerciement tout particulier à plusieurs collègues de l'Ifremer qui depuis bien longtemps ont soutenu et accompagné mes efforts de formation et auprès desquels j'ai pu apprendre ce formidable métier de chercheur. Un grand merci à Nicole Lacroix, Michelle L'Excellent, Annick Radenac, André Forest, Alain Maucorps, Jacques Bertrand, Gérard Biais, Jean-Pierre Minet et Lionel Reynal.

Un grand merci à toute l'équipe du Département Ressources Halieutiques et en particulier à Christian Dintheer, Annie Laviaille, Christine Vénéreau et Yvette Cassou.

L'équipe du laboratoire Ifremer de La Réunion s'est engagée à mes côtés dans le projet DORADE qui est à la base de ce travail de thèse. Je souhaite adresser mes plus sincères remerciements à chacun des membres de l'équipe pour l'aide qu'ils m'ont apportée tant lors des campagnes en mer que pour les travaux en laboratoire. Merci aux plongeurs, Dominique Miossec et David Roos d'avoir bien voulu partager les risques et les émotions intenses des plongées sous DCP dérivants. Merci à Didier Le Roy, Jérôme Bourjea, Julien Barde pour l'aide apportée au traitement des échantillons en mer et au laboratoire. Merci à Jean Da Cunha pour son aide logistique et technique efficace. Merci à Annie Perrine pour ses relectures attentives et la bonne tenue des comptes. Enfin, un grand merci à Philippe Lemercier pour l'aide apportée lors de l'élaboration des dossiers de financements et pour son rôle actif auprès des partenaires institutionnels et scientifiques.

Un très grand merci à mes amis et collègues australiens le Dr. Tim Dempster et le Dr. Julian Pepperell pour leur collaboration efficace et amicale sur ces sujets d'intérêt commun, l'agrégation des grands poissons pélagiques et la dorade coryphène.

Au cours de son « Odyssée du Vent », formidable traversée du Pacifique en planche à voile, mon amie Raphaëla Le Gouvello a consciencieusement noté le comportement des dorades coryphènes autour de sa planche pour participer à mes recherches. Un très grand merci à Raphaëla pour ses observations toutes aussi exceptionnelles que son exploit sportif.

Mes sincères remerciements vont également à plusieurs collègues de l'IRD et de l'Université de La Réunion avec lesquels j'ai pu avoir des échanges scientifiques très enrichissants et en premier lieu au Dr. Patrice Cayré, Directeur des Ressources Vivantes de l'IRD, spécialiste du comportement agrégatif des thons, à Alain Fonteneau, Jean-Pierre Hallier, Daniel Gaertner, Pascal Bach, Erwan Josse, Marc Soria, Michel Potier et Matthieu Le Corre. Un grand merci également à toute l'équipe du projet FADIO.

Sans les efforts du Professeur Chantal Conand de l'Université de La Réunion qui a piloté très efficacement le programme « Espaces marins et côtiers » du contrat de plan (CPER 2000-2006), nous n'aurions pu obtenir les équipements électroniques

coûteux nécessaires pour nos marquages expérimentaux. Je tiens à lui adresser mes plus sincères et chaleureux remerciements.

Par sa gentillesse et son efficacité, Alain Nirga a largement facilité mes contacts et mes démarches administratives avec l'Université Pierre et Marie Curie, grâce à lui la distance entre Paris et La Réunion n'a jamais posé le moindre problème, je souhaite l'en remercier vivement.

Pendant les trois années de collecte des données, nous avons pu réaliser l'intégralité des campagnes en mer prévues initialement, sans le moindre report ou retard et quelles que soient les conditions météorologiques, parfois très difficiles. Cette réussite du projet DORADE et de la thèse associée repose donc très largement sur l'aide que nous ont apporté les pêcheurs professionnels qui ont mis leurs navires à notre disposition pour les campagnes. Un grand merci à Louis et Philippe Berthier et à leur fidèle « *Portus Veneris* ». Un grand merci à Alain Gaudin, Remy Lannuzel de l'Armement Technipêche et à tous les équipages du « Cap Morgan » et du « Cap Diane ». Un grand merci à Philippe Camus et Raymond Pitou de Quizas. Merci également aux centres de pêche aux gros du Port de Saint-Gilles pour leur accueil chaleureux et leur aide à la collecte des données biologiques sur la dorade coryphène.

Pierre Bosc, Directeur de l'Association Réunionnaise de Développement de l'Aquaculture (ARDA) de La Réunion a bien voulu mettre à notre disposition ses structures aquacoles en mer et à terre pour les expériences sur les dorades coryphènes en captivité, je le remercie vivement pour cette contribution et pour l'aide apportée par son équipe lors de ces expériences.

Un grand merci aux fidèles amis Alain Diringer et Jean-Philippe Brébant qui m'ont apporté leur aide bénévole en de multiples occasions et notamment lors des plongées à risques sous les DCP. Un grand merci à Alain de m'avoir en plus fait bénéficier de ses incomparables dons artistiques et de ses compétences ichtyologiques et à Jean-Philippe de m'avoir réconcilié avec les équations différentielles.

La Marine Nationale nous a apporté son concours en plusieurs occasions pour le mouillage et le suivi de nos DCP dérivants expérimentaux. Je tiens à exprimer tous mes remerciements au Commandant de la Marine Nationale à La Réunion, aux marins de la base navale du Port, au commandant et à l'équipage de « La Rieuse ».

Le projet de recherche DORADE sur lequel repose ce travail de thèse a été cofinancé par l'Ifremer, la Région, le Conseil Général de La Réunion, l'Etat et l'Union Européenne. Je remercie sincèrement les responsables et agents des services des collectivités qui ont bien voulu faciliter la réalisation de ce travail. Mes plus sincères remerciements vont en particulier à André Jatob, Bernard Salva, Raymond Lebon, Patrick Hervé, Eric De Chavanes, Xavier Nicolas et Gilles Serventon.

Table des matières

Préambule.....	13
Introduction.....	17
Chapitre 1: Les Dispositifs de Concentration de Poissons, l'agrégation des poissons pélagiques et la dorade coryphène.....	21
A. Introduction	23
B. Les DCP et leur exploitation.....	23
1. Historique	23
2. Aspects technologiques des DCP ancrés et dérivants	25
3. Exploitation des DCP	26
C. Le comportement d'association au DCP	28
1. Hypothèses sur les origines de ce comportement associatif	28
2. Facteurs pouvant affecter l'association avec les DCP	30
3. Processus sensoriels impliqués dans l'agrégation	32
D. La dorade coryphène commune (<i>Coryphaena hippurus</i> Linné , 1758)	35
1. Biologie et distribution.....	35
2. Pêcheries et captures mondiales.....	36
Chapitre 2 : Le comportement agrégatif de la dorade coryphène	39
A. Introduction	41
B. Les divers types de DCP étudiés	41
1. Les DCP dérivants	41
2. Les DCP ancrés.....	44
3. Les épaves naturelles flottantes.	45
C. Composition spécifique des agrégations sous DCP	47
1. Matériel et méthodes	47
2. Processus de colonisation.....	50
3. Comparaison des assemblages sous les DCP	54
D. Etude du comportement agrégatif de la dorade coryphène	58

1. Matériel et méthodes	58
2. Comportement vertical	63
3. Temps de résidence	66
4. Dynamiques agrégatives : séjours et excursions	68
E. Discussion	76
1. Assemblages sous DCP dérivants	76
2. Processus de colonisation d'un DCP dérivant.....	77
3. Le marquage acoustique	77
4. Comportement vertical	79
5. Temps de résidence	79
6. Dynamiques agrégatives.....	80
Chapitre 3 : Le comportement trophique de la dorade coryphène.....	83
A. Introduction	85
B. Matériel et Méthodes	86
1. Analyse des contenus stomacaux	88
2. Inventaires faunistiques sous objets flottants	88
3. Analyse des données	88
C. Résultats	89
1. Le régime alimentaire de la dorade coryphène	91
2. Le Régime alimentaire en fonction du type d'agrégation.....	96
D. Discussion.....	99
1. Principales caractéristiques du régime alimentaire de la dorade coryphène.	102
2. Les coryphènes se nourrissent-elles de proies agrégées ?	104
3. Différence de régime alimentaire en fonction des types d'agrégation.....	105
Chapitre 4 : Synthèse et perspectives	107
A. Synthèse du comportement agrégatif et trophique de la dorade coryphène ...	109
1. L'hypothèse du "garde manger"	109
2. Ontogénie du comportement agrégatif de la dorade coryphène	113

B. Impact potentiel du comportement agrégatif sur l'exploitation	115
1. Influence sur l'accessibilité	115
2. Influence sur la vulnérabilité	115
3. Abondance et distribution spatiale	116
C. Priorités et perspectives de recherche	117
1. DCP ancrés / DCP dérivants	117
2. Besoin d'études physiologiques.....	118
3. Besoin d'études biologiques	119
4. Besoin d'études génétiques.....	119
5. Deux axes prioritaires déjà engagés.....	120
Conclusion Générale	121
Bibliographie.....	125
Listes des illustrations.....	139
Annexes	145
Résumé étendu	165
Long abstract.....	167

Préambule

Ce travail de thèse arrive à l'issue d'une période d'une quinzaine d'années consacrées en grande partie à l'étude et au développement de DCP ancrés au large des côtes des îles du sud-ouest de l'océan Indien et de la Caraïbe. Dans ces régions, l'implantation de DCP ancrés répond à une nécessité : le maintien d'une activité de petite pêche artisanale en dehors des eaux récifales et côtières où les ressources sont déjà fortement surexploitées. Cette stratégie de gestion correspond à une volonté de report de la pression de pêche de la côte vers le large en ouvrant aux petites flottilles tropicales de proximité, un accès aux ressources en grands poissons pélagiques. A cette échelle d'exploitation locale, le DCP ancré peut être considéré comme un excellent outil de développement de la petite pêche sans réel danger pour le devenir des stocks de poissons pélagiques compte tenu des faibles captures en regard des populations concernées, à large répartition océanique. Parallèlement, les DCP dérivants sont abondamment utilisés pour l'exploitation intensive des thons par les flottilles thonières industrielles à la senne. Cette activité a débuté il y a une vingtaine d'années pour devenir aujourd'hui une pratique majeure pour toutes les flottilles de thoniers senneurs de la planète.

Dès 1998, il nous est apparu qu'il existait un déséquilibre important entre l'ampleur du développement des pêcheries mondiales sous les objets flottants et les moyens de recherche engagés pour tenter de mieux comprendre et de mieux évaluer les impacts halieutiques et écologiques de ce phénomène encore méconnu. C'est dans ce contexte que nous avons proposé de coordonner un colloque international « Pêche Thonière et Dispositifs de Concentration de Poissons » en Martinique en octobre 1999 (Le Gall *et al.* 2000). Ce colloque co-organisé par l'Ifremer, l'Ensar et l'IRD a permis d'une part, de faire le bilan de l'usage des DCP ancrés et dérivants à l'échelle mondiale et d'autre part, d'identifier des priorités de recherche dans ce domaine.

Le choix du sujet traité dans cette thèse s'appuie donc sur les nombreuses discussions qui ont eu lieu avant, pendant et après le colloque DCP de Martinique. Il a été également construit dans un souci de complémentarité avec les travaux des équipes de l'IRD (ex-ORSTOM) qui ont développé depuis près de cinquante ans, une expertise internationale dans le domaine de la pêche des thons tropicaux. Cette expertise s'est d'abord développée en Atlantique Ouest (Postel 1949, Le Guen *et al.* 1965, Fonteneau 1973, Pianet 1973), puis dans l'océan Indien (Stéquert & Marsac 1986, Dagorn 1994, Hallier 1994, Roger 1994) et enfin en Atlantique Est (Gaertner *et al.* 1996). En parallèle, les chercheurs de l'Ifremer (ex-ISTPM et ex-CNEXO) se concentraient plus particulièrement sur les thons des zones tempérées comme le germon (*Thunnus alalunga* : Aloncle & Delaporte 1973, Le Gall 1973, Bard 1981, Antoine & Garces 1983) et sur le thon rouge de Méditerranée (*Thunnus thunnus* : Farrugio 1981, Liorzou & Bigot 1995, Fromentin *et al.* 2000).

Ce souci de complémentarité est à l'origine du choix de l'espèce étudiée : la dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*). Son agrégation aux objets flottants la rend vulnérable et la situe parmi les espèces accessoires et les rejets les plus courants de la pêche thonière industrielle à la senne. En orientant nos travaux sur une espèce accessoire plutôt que sur une espèce cible, nous tentons d'aborder la recherche halieutique sous un angle nouveau, celui du maintien de la biodiversité, de la restauration des habitats naturels et des écosystèmes. Cette étude marque donc une volonté d'engagement vers une approche plus écosystémique de la gestion des pêches des grands poissons pélagiques tropicaux.

Introduction

Des agrégations de nombreuses espèces marines sont fréquemment observées autour d'épaves naturelles dérivantes comme les troncs d'arbres (Greenblatt 1979), les méduses (Brodner 1998), ou les algues dérivantes (Iida *et al.* 1967, Safran & Omori 1990, Kingsford 1992, 1995). Elles se forment également autour de déchets flottants de toutes natures (Riera *et al.* 1999). Les installations offshore comme les plates-formes pétrolières (Franks 2000), les bouées océanographiques (McPhaden *et al.* 2000) et les cages de fermes aquacoles (Dempster *et al.* 2002) peuvent aussi générer de grandes agrégations de poissons pélagiques. Pour les naufragés, volontaires ou non, l'agrégation de poissons autour de leur radeau représente un espoir de survie (Heyerdahl 1950). Dès les temps anciens (Dunn & Goadby 2000, Peperell 2002), les hommes ont mis à profit ce comportement spécifique des poissons pélagiques en ancrant en mer des dispositifs de concentration de poissons (DCP) pour favoriser la pêche (Higashi 1994).

Nous avons choisi de concentrer nos travaux sur les DCP dérivants plutôt que sur les DCP ancrés et ceci pour la raison suivante. L'impact potentiel des DCP dérivants au niveau mondial est beaucoup plus important que celui des DCP ancrés. En effet, quel que soit le niveau de développement des réseaux de DCP ancrés, ils restent encore aujourd'hui limités à des zones géographiques restreintes à quelques milles des côtes. Si les DCP ancrés affectent les ressources hauturières, cela ne peut donc être que sur une très faible portion de leur immense aire de répartition. Au contraire, les DCP dérivants couvrent de très vastes étendues océaniques et leur développement massif dans les récentes années nécessite que les risques potentiels induits par ce nouvel outil « dangereusement efficace » soient mieux évalués. Comme il est difficile de transférer directement les résultats obtenus sur le comportement de poissons agrégés autour de DCP ancrés, il est indispensable de développer des recherches spécifiques sur les DCP dérivants. Beaucoup de facteurs comme les processus sensoriels impliqués dans la détection des objets flottants, les rythmes d'associations, les temps de résidence, peuvent différer d'un type de DCP à l'autre.

La dorade coryphène est l'une des espèces de grands poissons pélagiques les plus recherchées par les flottilles tropicales de proximité mais elle constitue parallèlement une espèce accessoire, souvent rejetée par les grands thoniers senneurs océanique. Compte tenu du comportement agrégatif de la dorade coryphène, le développement de la pêche sous DCP dans les dernières décennies, a probablement conduit à une augmentation importante des captures. Malheureusement, cette espèce ne fait l'objet d'aucun suivi scientifique, elle n'est pas prise en compte par les grandes commissions internationales thonières. Ses potentialités halieutiques restent encore mal connues. Ses caractéristiques biologiques (croissance très rapide, durée de vie courte, reproduction précoce - Palko *et al.* 1982) la désignent naturellement comme un excellent candidat pour une exploitation durable, mais son comportement d'association aux objets flottants constitue un risque majeur pour l'espèce qui devient particulièrement accessible et vulnérable lorsqu'elle est agrégée. Mieux connaître le comportement agrégatif de la dorade coryphène, présente donc un intérêt évident pour la gestion de cette ressource présente dans les trois océans mondiaux et en Méditerranée.

Pour toutes ces raisons, les travaux scientifiques présentés dans cette thèse se focalisent principalement sur le comportement agrégatif de la dorade coryphène autour de DCP dérivants dans le sud-ouest de l'océan Indien. Le mémoire est organisé en quatre chapitres. A travers une analyse approfondie de la bibliographie, le premier chapitre présente un bilan des connaissances actuelles sur les DCP, l'agrégation des poissons pélagiques et la dorade coryphène. Le second chapitre traite plus spécifiquement du comportement agrégatif de la dorade coryphène. Il a été abordé à l'aide de marquages électroniques réalisés au cours de campagnes hauturières autour de DCP dérivants. Le comportement trophique de la dorade coryphène fait l'objet du troisième chapitre. Il est abordé par l'utilisation conjointe de deux méthodes d'investigation : l'analyse des contenus stomacaux de dorades coryphènes agrégées sous divers types d'objets flottants et la réalisation d'inventaires faunistiques sous-marins autour de ces objets flottants. Enfin, le quatrième et dernier chapitre synthétise l'ensemble des résultats obtenus, propose une théorie du comportement agrégatif de la dorade coryphène et tente d'évaluer les conséquences possibles de ce comportement sur la distribution et l'abondance de l'espèce à grande échelle.

Alors que le sigle DCP est habituellement utilisé pour désigner des objets flottants mis en œuvre par l'homme pour faciliter la pêche, dans le présent mémoire, nous généraliserons cette définition à toute structure, naturelle ou artificielle, susceptible de générer une agrégation de poissons.

Chapitre 1 : Les Dispositifs de Concentration de Poissons, l'agrégation des poissons pélagiques et la dorade coryphène.

A. Introduction

Avant de synthétiser les connaissances sur les DCP, les agrégations de poissons pélagiques et la dorade coryphène, il est utile de caractériser l'effort de recherche qui a été conduit sur ces différents domaines.

Une base de données bibliographiques dénommée «FADbase » (FAD pour *Fish Aggregating Device*), regroupant la littérature sur les DCP et l'agrégation des poissons pélagiques, a été constituée. Cette recherche a permis de référencer 407 papiers pour la période allant de 1960 à 2003. FADbase est téléchargeable sur le site Internet de l'Ifremer à l'adresse suivante : www.ifremer.fr/dcp.

Sur l'ensemble de la période d'étude, les publications sur les DCP dans des revues sans comité de lecture sont plus nombreuses (n = 249) que les articles scientifiques arbitrés (n = 158). Deux grands thèmes principaux peuvent être distingués : d'une part, l'usage des DCP (n = 330) regroupant les études sur la technologie des DCP, les pêcheries, les aspects juridiques et économiques et, d'autre part, la biologie, l'écologie et l'éthologie des espèces associées (n = 77). Les études ont été conduites sur tous les océans, Pacifique (n = 138), Atlantique (n = 102), Indien (n = 98) et en Méditerranée (n = 26). Au sein de l'océan Atlantique, les Caraïbes (n = 67) ont fait l'objet d'un effort de publication particulier. Les publications qui traitent de DCP ancrés (n = 278) sont beaucoup plus nombreuses que celles qui traitent de DCP dérivants (n = 83). Le faible nombre d'études conduites sur les objets dérivants peut être lié à la difficulté de travailler sur des objets qui se trouvent souvent en dehors du rayon d'action des navires de recherche de petite taille utilisés généralement pour ces études. Les thonidés ont été les espèces majoritairement ciblées dans les papiers relatifs aux DCP, ils représentent 60 % (n = 164) de tout l'effort de recherche (n = 275 papiers) pour lesquels des espèces sont précisées. La dorade coryphène fait l'objet de 17 publications enregistrées dans FADbase.

Ce bilan chiffré des publications permet déjà de dresser le contexte scientifique de ce domaine de recherche. Les sections suivantes synthétisent les connaissances issues de ces différents travaux, à propos des 3 thèmes abordés dans cette étude : les DCP et leur usage, l'association des poissons avec ces DCP, et enfin la dorade coryphène, espèce cible de cette thèse.

B. Les DCP et leur exploitation

1. Historique

Comme indiqué en avant propos de cette thèse, la première référence à l'usage de DCP remonte à 200 ans avant Jésus Christ. Elle provient du poète romain Oppian qui décrit, dans son recueil « Halieutica », l'usage de DCP ancrés pour la capture de dorades coryphènes (*Coryphaena hippurus*) en Méditerranée (cité dans Dunn & Goadby 2000 et dans Pepperell 2001). Au Japon, Nakamae (1991) relate l'usage de DCP similaires, nommés « Tsukegi », dans le milieu du 17^{ème} siècle pour capturer des dorades coryphènes et des sérioles (*Seriola quinqueradiata*). En Indonésie, en Malaisie et aux Philippines, des radeaux traditionnels ancrés en zone côtière,

appelés respectivement « Rumpon », « Unjang » et « Payao » (Bergstrom, 1983), sont utilisés depuis le début du 20^{ème} siècle pour agréger puis exploiter les petits poissons pélagiques (Anderson & Gates 1997). Aux Philippines, la pêche thonière débute dans les années 30, mais son essor commence en 1974 avec l'arrivée de deux premiers thoniers senneurs expérimentaux dans le cadre d'un projet de la FAO. C'est à cette période que les pêcheurs des Philippines découvrent l'efficacité des « Payaos », jusque là utilisés en zone côtière, pour concentrer les thons (Marcille & Bour 1981, Dickson & Natividad 2000). Différentes premières expériences ont vu le jour dans tous les océans avec des DCP fabriqués à l'aide de matériaux naturels (bambous principalement).

Les premiers DCP modernes (à base de produits manufacturés), ancrés sur des grands fonds et destinés à cibler principalement des thons, ont été implantés à Hawaii en 1977. Cette première expérience a été suivie par des implantations de DCP dans tout le Pacifique Sud (premiers DCP en Polynésie Française en 1981), dans l'océan Atlantique (Martinique, 1982) et dans l'océan Indien (Maldives 1980, Ile Maurice 1982). L'annexe I présente, sous forme de tableaux, un historique des principales expériences d'implantation de DCP ancrés dans les divers océans et régions du monde.

A la fin des années 50, la flottille américaine de thoniers senneurs commence son activité dans le Pacifique Est en remplaçant progressivement la flottille de canneurs qui pêchait le thon dans cette région depuis plusieurs décennies (Hall 1998). Dès lors, les senneurs ont commencé à exploiter occasionnellement les thons associés aux épaves naturelles. La mise en œuvre de DCP dérivants artificiels (mouillés volontairement pour les besoins de la pêche) commence dans cette région à la fin des années 80. Entre 1987 et 1990, 10% des coups de senne sous objets flottants sont réalisés sous épaves dérivantes artificielles. Cette proportion atteint 30% en 1992 puis 80% en 1998 (Lennert-Cody & Hall 2000). Dans l'Atlantique Est, la pêche thonière tropicale débute à partir de Dakar avec des canneurs basques et bretons en 1954 (Fonteneau 1973). Les thoniers senneurs arriveront en 1964 (Pianet 1973) mais leur activité sur les objets flottants (épaves naturelles ou artificielles) restera relativement marginale jusqu'à la fin des années 80. C'est à partir de cette époque que l'usage de DCP dérivants artificiels équipés de dispositifs de localisation se développe en Atlantique comme dans tous les autres océans (Fonteneau *et al.* 2000a). Dans l'océan Indien, les premiers essais de pêche à la senne sont réalisés au début des années 80 et le développement de la flottille de thoniers senneurs commence réellement en 1984 (Stéquert & Marsac 1991). Depuis cette époque, l'usage des DCP dérivants artificiels s'est très largement développé.

Fonteneau *et al.* (2000a) estiment que le nombre de DCP dérivants déployés par les flottilles industrielles de thoniers senneurs sur l'ensemble de la planète se compte en dizaines de milliers. Les DCP ancrés sont également très utilisés par les flottilles artisanales de proximité, dans l'océan Pacifique (Desurmont & Chapman 2000, Holland *et al.* 2000, Kakuma 2000a), dans l'océan Indien (Tessier *et al.* 2000), dans l'océan Atlantique (Reynal *et al.* 2000) et en Méditerranée (Morales-Nin *et al.* 2000). Dans la plupart de ces régions, les DCP ancrés sont également fréquentés par les navires de pêche sportive et par les pêcheurs plaisanciers.

2. Aspects technologiques des DCP ancrés et dérivants

Les DCP ancrés sont utilisés dans 28 pays autour de la planète (Fréon & Dagorn 2000). Leur conception varie énormément (Le Gall *et al.* 2000), allant du petit DCP léger, peu coûteux (300 €) implanté par les pêcheurs guadeloupéens aux Antilles Françaises (Reynal & Taquet, 2002), au DCP géant (flotteur métallique de surface de 7 m de hauteur par 16 m de largeur), coûteux (1 million €), prévu pour 10 années de service dans une zone cyclonique à Okinawa au Japon (Kakuma 2000a). Entre ces deux extrêmes, il existe beaucoup de modèles différents que l'on peut classer en 3 catégories : DCP légers, semi-lourds et lourds. Même si les DCP légers utilisés en Asie et en Méditerranée apparaissent conceptuellement comme les ancêtres des DCP ancrés modernes, le développement des DCP lourds et semi-lourds ne résulte pas d'une simple évolution technologique car les DCP légers restent actuellement très utilisés. Il apparaît plutôt que le choix du type de DCP (léger, semi-lourd ou lourd) correspond à un compromis entre le coût et la longévité espérée, sans aucun lien direct avec l'efficacité sur le plan agrégatif.

La conception et les composants des DCP légers sont extrêmement variables. Les pêcheurs les construisent souvent eux mêmes à l'aide de bouées de récupération et de matériel peu onéreux. Le bambou et les frondes de cocotiers sont des matières premières souvent utilisées pour la construction des DCP légers au Japon, en Indonésie, en Malaisie et aux Philippines (Murdy 1980, Bergstrom 1983, Kaneda, 1986, Taquet 2000). En Méditerranée, les DCP légers construits à l'aide de plaques de liège et de frondes de palmiers sont très nombreux. Appelés «Kannizzati » à Malte (Galea 1961), « Capcer » à Majorque et « Cannizzi » en Sicile, ils sont exploités de façon saisonnière pour la capture de jeunes dorades coryphènes (Morales-Nin *et al.* 2000).

Les DCP semi-lourds ont été initialement développés dans l'océan Indien autour de l'île Maurice (Roullot *et al.* 1988), La Réunion (Biais & Taquet 1990b), et Mayotte (Minet & Taquet 1991). La partie flottante du DCP (la tête) est constituée de plusieurs petits flotteurs résistant à la pression qui peuvent s'immerger progressivement sous l'action du courant sur la ligne de mouillage et qui sont capables de revenir en surface après de longues périodes d'immersion. Comme ce type de DCP a démontré une durée de vie particulièrement longue, il a été adopté aussi bien en Caraïbes (Guillou *et al.* 1995; Taquet 1998) que dans les îles du Pacifique Sud (Désurmont 2000).

Les DCP lourds possèdent généralement un unique flotteur, métallique comme ceux utilisés à Hawaii (Holland *et al.* 2000), à Guam (Torres 2000) au Japon (Kakuma 2000a), ou de PVC, comme ceux de Curaçao (van Buurt 2000). Dans certains pays, comme en Polynésie Française, les flotteurs métalliques ont été progressivement remplacés par des Bouées en PVC (Leproux 2000). D'autres types de flotteurs fabriqués à partir de pneus, de fûts (métalliques ou plastiques), de bouées en fibre de polyester, injectés de mousse polyuréthane, ont également été testés dans les deux dernières décennies (Biais & Taquet 1990a; Wendling & Le Calvé, 2000). Ils sont généralement ancrés à l'aide d'une ligne de mouillage constituée de différentes portions : de la chaîne ou du câble métallique près de la surface, du cordage de

Nylon (flottabilité négative) dans la partie suivante puis du cordage polypropylène (flottant) dans la dernière partie du mouillage jusqu'au dispositif d'ancrage sur le fond.

Malgré un usage intensif des DCP dérivants en Atlantique, dans le Pacifique et dans l'océan Indien (Fonteneau *et al.* 2000a), toutes les études ayant pour thème principal la conception et la technologie des DCP (n = 24) traitent des dispositifs ancrés. Le peu d'information disponible sur les DCP dérivants provient de synthèses ou de papiers généraux relatifs aux pêcheries de thoniers senneurs.

Toutes les flottilles de thoniers senneurs océaniques utilisent des radeaux de bambou d'environ 3 x 2 m (Fonteneau *et al.* 2000a). Ils sont équipés d'une bouée de localisation radio HF ou satellite parfois complétée d'un système de détection du poisson agrégé. Certaines flottilles de thoniers senneurs (espagnols en particulier) utilisent les services de navires de soutien « *Supply Vessels* » pour fabriquer et gérer leurs DCP dérivants ce qui constitue une augmentation sensible de la capacité de pêche de ces flottilles.

3. Exploitation des DCP

3.1. Les modes d'exploitation

A une échelle mondiale, beaucoup de pêcheries thonières reposent désormais sur l'exploitation d'agrégations de poissons autour d'objets flottants. Depuis le début des années 1980, le DCP dérivant est devenu un outil incontournable pour l'exploitation industrielle du thon à la senne. Les DCP dérivants réduisent la proportion de coups nuls, limitent le temps de recherche du poisson et augmentent la flexibilité des opérations de pêche. Ces modifications qui interviennent dans les modes d'exploitation, impliquent une révision de la notion d'effort de pêche pour la gestion des stocks de grands pélagiques. La pêche sous DCP a également modifié la structure de tailles des thons exploités avec un plus grand nombre de petits poissons capturés autour des DCP comparé aux bancs libres, ce qui peut conduire à des situations de surexploitation de certains stocks (Fonteneau *et al.* 2000a). L'augmentation importante du nombre de dispositifs (dérivants et ancrés) dans les trois océans constitue une modification sensible de l'habitat pélagique qui pourrait induire des bouleversements écologiques. De plus, certaines pêcheries comme celle de la dorade coryphène sous DCP, peuvent avoir un effet sur le sex-ratio, avec proportionnellement plus de femelles capturées sous DCP qu'en eau libre (Oxenford 1999).

Les pêches sous DCP ancrés représentent une part importante de la stratégie de développement de la pêche artisanale dans beaucoup de régions. La plupart de ces projets ont été initiés pour orienter la pêche artisanale vers les grands poissons pélagiques en réponse à un déclin des pêcheries démersales (Taquet 1998). Dans certaines régions, les retombées bénéfiques sur certains stocks de poissons démersaux ont pu être mises en évidence (Plante 1997, Kakuma 2000a). A Okinawa, (Japon) la capture des espèces démersales a connu une diminution importante après l'instauration d'un vaste projet de DCP ancrés, mais il est difficile de dire si cette

diminution a réellement été provoquée par un report de l'effort de pêche vers les poissons pélagiques grâce aux DCP, ou si elle résulte d'une surexploitation préalable des ressources démersales (Kakuma 2000a).

(a) Les captures (espèces cibles et accessoires)

Actuellement, les prises annuelles sous épaves dérivantes des trois principales espèces de thons concernées par le phénomène agrégatif, l'albacore (*Thunnus albacares*), le thon obèse (*Thunnus obesus*) et la bonite à ventre rayé (*Katsuwonus pelamis*), représentent 1.2 million de tonnes pour les trois océans (Alain Fonteneau, comm. pers.) ce qui représente globalement près de 1.5% (en masse) des captures mondiales annuelles (FAO 2002). Le volume des captures réalisées autour des DCP ancrés est inconnu, mais il reste probablement largement inférieur aux captures réalisées sous DCP dérivants (Alain Fonteneau, comm. pers.).

L'analyse de FADbase montre qu'en majorité, les travaux de recherche ciblés sur les captures accessoires n'ont été publiés que récemment (après 1998). Les pêcheries à la senne autour des DCP dérivants comptent pour la plus grande part des captures accessoires car les autres techniques (e.g. lignes) autour de DCP dérivants ou ancrés sont beaucoup plus sélectives. Quelques estimations du niveau de captures accessoires réalisées par les thoniers senneurs autour des DCP sont disponibles (estimation globale : > 100 000 tonnes/an ; Fonteneau *et al.* 2000a ; Océan Indien : 27.1 tonnes espèces accessoires pour 1000 tonnes d'espèces cibles ; Romanov 2002 ; Océan Atlantique : < 10% des captures déclarées pour les poissons à rostre ; Gaertner *et al.* 2002). Néanmoins ces estimations portent sur un faible nombre d'observations.

Pour certaines espèces vulnérables (e.g. requins), les captures accessoires peuvent représenter un sérieux danger sur le plan biologique compte tenu de l'échelle d'exploitation des pêcheries hauturières à la senne (Hall 1996). Ces captures accessoires réalisées par les thoniers senneurs océaniques pourraient avoir un impact négatif pour les flottilles artisanales de proximité à travers la réduction d'abondance d'espèces rejetées par les senneurs industriels, alors qu'elles sont indispensables pour la survie des pêcheries artisanales locales.

3.2. Les impacts écologiques

Le développement massif de DCP par les pêcheries commerciales dans tous les océans a vraisemblablement un impact sur l'ensemble de l'écosystème (Fonteneau *et al.* 2000a, Marsac *et al.* 2000, Essington *et al.* 2002). Marsac *et al.* 2000 ont pour la première fois souligné « le piège écologique » que peut représenter le DCP capable de modifier les routes migratrices, d'altérer les régimes alimentaires des poissons pélagiques, en provoquant des changements de proies (Brock 1985) ou en appauvrissant les conditions trophiques (Menard *et al.* 2000). L'augmentation du nombre de DCP peut également conduire à un déséquilibre des relations prédateurs/proies dans l'écosystème pélagique (Essington *et al.* 2002).

L'augmentation du nombre de DCP « accidentels » comme les plates-formes pétrolières ou les fermes aquacoles, installées en mer pour des raisons autres que le développement de la pêche, peut avoir également un impact sur les stocks de poissons pélagiques à une échelle locale. Ces structures peuvent potentiellement modifier les temps de résidence dans une zone donnée, perturber l'écologie alimentaire, les chemins migratoires et la vulnérabilité de certaines espèces (Franks 2000, Dempster *et al.* 2002). Malgré leur abondance dans certaines régions, très peu de connaissance est disponible sur l'impact de ces grandes structures flottantes sur les poissons sauvages qu'elles attirent. Les impacts environnementaux de ces structures, en particulier ceux des fermes aquacoles, sont souvent appréhendés en terme d'effet sur le voisinage immédiat de la structure en focalisant principalement sur les perturbations engendrées sur le benthos. Lorsque le nombre de structures dans une région donnée est très important (e.g. golfe du Mexique : 4000 plates-formes pétrolières, Franks 2000 ; Méditerranée : plus de 500 cages de fermes aquacoles, Theodorou 1999, Sanchez-Mata & Mora 2000) l'impact potentiel devient conséquent. Dans le cas de fermes aquacoles, ces effets peuvent être soit positifs, si les poissons sauvages font l'objet de mesures de protections efficaces (dans le temps et l'espace) du fait de leur présence dans une concession aquacole non accessible à la pêche, ou au contraire négatifs, si leur proximité avec les poissons d'élevage augmente le risque de contracter des maladies ou des parasites.

C. Le comportement d'association au DCP

Bien que l'association avec des objets flottants ait été jusqu'à présent mise en évidence chez 333 espèces de poissons appartenant à 96 familles (Castro *et al.* 2002), les espèces qui présentent une forte propension à l'agrégation sont beaucoup moins nombreuses (Kingsford 1993). Ce phénomène agrégatif concerne la plupart des stades ontogéniques des poissons (Parin & Fedoryako 1999), allant de la post-larve (Hunter & Mitchell 1967, Kingsford 1992) à l'adulte (Kojima 1956, Greenblatt 1979).

Parin & Fedoryako (1999) distinguent les « intranatants », « extranatants » et « circumnatants » pour caractériser les différentes espèces agrégées en fonction de leur proximité avec l'objet flottant. Dans cette étude, ces catégories seront utilisées, mais en employant les ordres de grandeur définis par Fréon & Dagorn (2000). Les intranatants restent étroitement associés au DCP, ils sont le plus souvent cachés dans la structure, ne s'en écartant pas au delà de 2 mètres. Les extranatants, conservent un contact direct avec le DCP, ils limitent leurs excursions à des distances allant de 10 à 50 mètres du DCP selon les espèces alors que les circumnatants vont régulièrement bien au delà.

1. Hypothèses sur les origines de ce comportement associatif

Comme ce comportement est très répandu dans tous les océans, il est probable qu'il procure aux poissons concernés un avantage significatif, mais les mécanismes de l'évolution qui ont conduit à ce comportement agrégatif diffèrent probablement suivant les espèces, les stades de développement et les types d'objets flottants (Fréon & Dagorn 2000, Castro *et al.* 2002).

Les nombreuses hypothèses proposées pour tenter de comprendre les mécanismes à la base du comportement agrégatif des poissons autour des structures flottantes ont été analysées de manière exhaustive par Fréon & Dagorn (2000) et Castro *et al.* (2002). Fréon et Dagorn (2000) considèrent les hypothèses « *indicator-log* » et « *meeting-point* » comme les plus crédibles, soulignant qu'elles ne sont pas antagonistes et qu'elles procureraient toutes deux un avantage adaptatif avéré. L'hypothèse « *indicator-log* » repose sur le mécanisme suivant : les objets flottants seraient des indicateurs de zones riches en proies. En effet, une partie importante des épaves naturelles provient de zones côtières (estuaires et mangroves) elles-mêmes naturellement riches en proies. La découverte d'un objet flottant « renseignerait » ainsi le poisson sur la richesse de la zone. L'hypothèse du « *Meeting-point* » repose sur la supposition selon laquelle les poissons isolés ou en petits groupes utiliseraient les objets flottants pour augmenter la probabilité de trouver d'autres congénères et former ainsi des bancs plus gros. Les avantages en terme d'évolution seraient alors identiques à ceux généralement attribués aux bancs : réduire les risques de prédation et améliorer la recherche et la capture de nourriture (Fréon & Dagorn 2000).

Si ces deux hypothèses apparaissent comme bien adaptées pour certaines espèces de grandes tailles classées parmi les extranatants et les circumnatants, il est probable que d'autres mécanismes interviennent pour l'agrégation des juvéniles intranatants autour des objets dérivants (Castro *et al.* 2002). Pour ces derniers, d'autres hypothèses telles que la protection contre les prédateurs (Mitchell & Hunter 1970), l'augmentation de la densité de proies, la recherche d'habitats transitoires lors de phases de colonisation (Kingsford & Choat 1986) pourraient mieux expliquer le comportement agrégatif.

De nombreuses études ont ainsi montré l'influence des objets flottants sur la réduction du taux de prédation (Gooding & Magnusson 1967, Mitchell & Hunter 1970), ce qui suggère que le DCP conférerait une protection significative contre les prédateurs pour certaines espèces. Bien que peu d'études aient démontré une réelle amélioration des conditions trophiques pour les jeunes poissons à proximité des objets flottants, ces objets sont le plus souvent présents dans les zones de fronts océaniques et dans les panaches estuariens (Kingsford 1995). Or, de telles zones sont bien connues pour fournir des conditions trophiques favorables aux jeunes poissons (Rissik & Suthers 1996). Le rôle joué par les objets flottants dérivants dans le transport de juvéniles vers les zones côtières apparaît très important pour les espèces qui pondent au large et dont les stades juvéniles se développent dans des nurseries côtières, comme cela a été démontré pour le crabe « *megalopa* » (Shanks 1983) et les poissons de récif (Kingsford & Choat 1986) associés aux algues dérivantes.

Beaucoup d'hypothèses qui ont été proposées pour expliquer l'association des poissons aux DCP sont difficiles à tester expérimentalement. Bien que les études décrivant les associations puissent permettre de formuler certaines hypothèses et que la modélisation puisse donner un aperçu de leur validité (e.g. Dagorn & Fréon 1999), il est difficile de conduire des expérimentations à l'échelle de temps adaptée aux mécanismes de la sélection naturelle. Presque toutes les études sont conduites

à une échelle de temps écologique qui correspond bien aux données suffisantes pour la gestion des stocks mais qui reste de peu d'utilité pour investiguer les processus de sélection naturelle. Or, le comportement agrégatif d'une espèce peut être le résultat d'un long processus adaptatif. Il pourrait donc être intéressant d'aborder cette question sous l'angle de la biologie de l'évolution à l'aide d'analyses génétiques.

2. Facteurs pouvant affecter l'association avec les DCP

L'association des poissons avec les DCP peut être influencée tant, par des facteurs biologiques et écologiques qui peuvent intervenir à différents stades de la vie des espèces concernées, que par les conditions océanographiques rencontrées dans la zone périphérique du DCP.

2.1. Les Influences biologiques et écologiques

Les assemblages de poissons pélagiques agrégés sous les DCP sont influencés par de nombreux facteurs biologiques qui agissent à différentes échelles de temps et d'espace. Parmi les influences à long terme, on compte les variations saisonnières dues au rythme biologique des poissons associés aux DCP. La saisonnalité de l'agrégation a été mise en évidence chez certaines espèces, tant pour des juvéniles que pour des adultes (Hunter & Mitchell 1967, Deudero *et al.* 1999, Rountree 1990, Castro *et al.* 1999). La majorité des juvéniles de poissons ne s'agrège que lors d'une partie seulement de leur cycle de vie (Parin & Fedoryako 1999). De fait, les périodes de ponte régulent la présence de ces espèces autour des DCP (Kingsford 1992, Deudero *et al.* 1999). Les adultes de certaines espèces, comme la dorade coryphène, apparaissent dans certaines régions de façon saisonnière sous les DCP du fait de parcours migratoires liés à la reproduction (Oxenford 1999).

Contrairement aux influences biologiques à long terme, les facteurs biologiques à courts termes qui pourraient modifier le comportement agrégatif des poissons sur des périodes allant de quelques heures à quelques semaines ont été peu étudiés. Une grande variabilité du nombre de poissons agrégés autour des DCP ancrés a souvent été observée lors de prospections réalisées sur des périodes allant de quelques jours à quelques semaines (Rountree 1990, Cillauren 1994, Josse *et al.* 2000). Cette variabilité reste encore largement inexplicée. Quant à la variabilité des assemblages de poissons associés aux DCP dérivants, elle a rarement été étudiée (mise à part les observations *in situ* de Gooding & Magnusson 1967). Cette variabilité peut être liée à des temps de résidence autour de DCP différents suivant les espèces, ce temps pouvant lui-même dépendre de la composition spécifique de l'agrégation à travers des relations du type prédateur/proies (Deudero 2001). Des temps de résidence minimum ont été déterminés pour certaines espèces de poissons à l'aide d'observations visuelles directes (DCP dérivants: Hunter & Mitchell 1967), de marquages conventionnels (DCP dérivants : Takahashi *et al.* 1988, Hampton & Bailey 1999; DCP ancrés : Itano & Holland 2000), de marquages conventionnels associés à des recaptures visuelles (DCP ancrés : Dempster 2003), et enfin par l'utilisation de marquages ultrasoniques (Cayré & Chabanne 1986, Holland *et al.* 1990, Cayré 1991, Cayré & Marsac 1993, Marsac & Cayré 1998, Brill *et al.* 1999, Klimley & Holloway 1999, Dagorn *et al.* 2000, Ohta *et al.* 2001). Ces temps de résidence semblent varier considérablement suivant les espèces. De

plus, une même espèce peut montrer des temps de résidence très variables. L'albacore peut, par exemple, montrer différents schémas temporels d'association : il peut rester agrégé autour d'un même DCP pendant plusieurs jours (Holland *et al.* 1990), ou s'associer au DCP le jour et le quitter durant la nuit (Holland *et al.* 1990, Cayré 1991), ou bien encore effectuer des visites répétées du même DCP pendant plusieurs semaines (Klimley & Holloway 1999, Ohta *et al.* 2001).

Peu d'informations directes existent malgré tout, sur la manière dont ces temps de résidence varient pour chaque espèce ou pour chaque individu en fonction de l'état de « l'écosystème agrégatif » (e.g. disponibilité de nourriture, composition spécifique des assemblages, relations prédateurs/proies, etc.). Pour certaines espèces pélagiques agrégées en grand nombre sous les DCP comme les thons, le volume de proies disponible dans la zone autour du DCP (et pas nécessairement agrégées), peut être un facteur limitant. Les études comparant les régimes alimentaires des poissons agrégés ou non au DCP montrent que les conditions trophiques sont soit plus pauvres (Ménard *et al.* 2000), soit modifiées dans le voisinage des DCP (Brock 1985, Buckley & Miller 1994). Dagorn *et al.* (2000b) ont modélisé l'agrégation de thons autour d'un DCP et montré que les agrégations pourraient être plus longues quand les proies appropriées sont présentes dans la zone d'influence du DCP.

2.2. Les influences physiques

Les variations des conditions océanographiques ont rarement été prises en compte pour tenter d'expliquer la variabilité des assemblages de poissons sous les DCP (Kingsford 1999). Les conditions océanographiques peuvent avoir une influence plus grande en zone côtière car elles sont généralement moins stables qu'en haute mer. De plus, la variabilité des conditions physiques est plus grande autour des DCP ancrés car ils sont implantés dans les eaux côtières plus variables alors que les DCP dérivants restent associés pendant de longues périodes à la masse d'eau qui les entoure. Les variations de températures induites par des événements climatiques ou océanographiques peuvent affecter la présence de certaines espèces dans une région et par conséquent modifier la composition spécifique des assemblages de poissons autour des DCP dans cette région. La température ne jouerait pas directement sur le comportement agrégatif, mais sur la disponibilité des espèces pour s'agréger. (e.g. 19-20°C pour *Coryphaena hippurus* : Californie, Norton 1999; côte Est de l'Australie, Dempster 2004).

Trois autres facteurs physiques peuvent également modifier les associations. Les vents forts et la hauteur des vagues peuvent modifier les associations, en réduisant la capacité des petits intranatants et extranatants à rester agrégés avec l'objet flottant lorsque la surface de la mer est très agitée ou bien lorsque la vitesse de dérive (dans le cas d'un objet dérivant) devient trop grande sous l'action du vent. Une mer agitée peut également réduire la capacité des circumnatants à percevoir la présence du DCP si les sens impliqués dans la détection du DCP (ouïe, vision, autres) sont altérés par de telles conditions, ce qui peut conduire à une rupture de l'agrégation. A ce jour, l'influence de l'état de la mer sur l'agrégation autour des DCP n'a pas encore été réellement étudiée. Les courants autour des DCP ancrés ont vraisemblablement une influence sur les assemblages d'espèces dans la mesure où les intranatants n'auraient pas les moyens physiques suffisants pour rester associés

aux DCP lors de longues périodes de courants forts. Aucune étude ne comporte de mesures de courant qui permettraient d'évaluer l'impact de ce facteur sur les intranatants autour de DCP ancrés. La vitesse du courant peut également influencer le comportement agrégatif des grands poissons pélagiques (extranatants). Dempster et Kingsford (2003) ont observé de grandes agrégations de juvéniles de dorades coryphènes (de 30 à 50 cm de longueur à la fourche) par comptages visuels autour de DCP ancrés au large de la côte est de l'Australie, lors de journées de fort courant ($> 0.5 \text{ ms}^{-1}$). Ils ont attribué ce phénomène à un changement de comportement agrégatif qui conduirait les coryphènes à évoluer plus près du dispositif lorsque le courant est fort plutôt qu'à une réelle augmentation de l'abondance dans le voisinage des DCP. Au contraire, Kakuma (2000b) enregistre de meilleures captures d'albacore lorsque le courant est faible ($< 0.2 \text{ ms}^{-1}$) indiquant, soit de plus grandes agrégations de l'espèce, soit une meilleure efficacité de la senne. Dans chaque étude, l'effet réel du courant peut être masqué par un biais dû à la technique d'échantillonnage. Pour tester l'influence réelle du courant sur l'agrégation, il faut pouvoir disposer d'une technique d'échantillonnage indépendante de la force du courant. Il faut notamment qu'un éventuel changement de comportement du poisson sous l'action du courant n'affecte pas l'échantillonnage. Plusieurs études ont montré par ailleurs une influence de la direction du courant sur la position relative des poissons par rapport au DCP ancré (e.g. Klima & Wickham 1971, Rountree 1990, Roos *et al.* 2000).

3. Processus sensoriels impliqués dans l'agrégation

Différents processus sensoriels et de mécanismes d'orientation peuvent intervenir pour qu'un poisson soit capable de trouver ou retrouver un objet flottant (après une excursion). La vue, l'odorat, l'ouïe ou la perception de vibrations et la magnéto-réception peuvent jouer des rôles complémentaires dans la détection des DCP par les poissons, à différentes échelles spatiales. Les processus mis en œuvre peuvent être différents en fonction de la taille des poissons (de la post-larve au grand poisson pélagique adulte) et du type de DCP (ancré ou dérivant). L'attraction aux DCP peut résulter de divers facteurs liés aux processus sensoriels potentiellement utilisés par les poissons : la production de signaux (odeurs, bruits ou ondes, etc.) par le DCP lui-même ou par des organismes fixés (fouling) au DCP ou par des organismes agrégés au DCP (proies, congénères, compétiteurs, prédateurs). Hélas, peu d'études expérimentales ont été conduites pour tester l'importance d'un sens bien spécifique (Dempster & Kingsford 2003).

3.1. La vision

La vision intervient probablement dans le processus d'agrégation au DCP pour la plupart des espèces mais la distance de perception du dispositif est probablement variable en fonction des espèces et de leur stade de développement. Des translocations réalisées sur des juvéniles capturés autour de DCP dérivants ont montré que ces poissons étaient capables de retourner au DCP quand ils sont relâchés à distance visuelle du DCP mais pas lorsqu'ils sont relâchés au-delà ($D = 30 \text{ m}$, pour *Canthidermis maculatus*: Hunter & Mitchell 1967). Des marquages acoustiques et archives (Holland *et al.* 1990 ; Schaefer & Fuller 2002) tendent à montrer que le thon obèse resterait plus près de la surface le jour lorsqu'il est associé à un DCP, alors qu'il nage en profondeur lorsqu'il n'est pas associé à un DCP. Ce comportement pourrait indiquer que ce maintien proche de la surface

permettrait au thon obèse de garder un contact visuel avec le DCP. Néanmoins, en l'absence de mesures précises des distances horizontales qui séparent les thons du DCP dans ces observations, il n'est pas possible de prouver le rôle de la vision dans ces mécanismes. Dagorn *et al.* (2001) ont montré que des albacores qui s'étaient associés au navire lors de suivis acoustiques, se rapprochaient du bateau (vers la surface) lorsque le navire augmentait sa vitesse. Il est possible que ce comportement soit lié à la nécessité pour le poisson de garder un contact visuel avec le bateau afin de ne pas rompre l'association. Toutefois, réduire la distance entre le poisson et le DCP peut favoriser d'autres sens que la vision (l'ouïe, la perception des vibrations du moteur).

D'autres études montrent justement que d'autres sens que la vision doivent intervenir. Ibrahim *et al.* (1990) montrent que plusieurs espèces pélagiques côtières ont été capables de se ré-associer avec le DCP près duquel elles avaient été capturées après un déplacement de 150 à 180 mètres, donc au-delà des capacités visuelles supposées des poissons. De manière identique, Dempster & Kingsford (2003) démontrent également que la coryphène et la sérieole (*Seriola lalandi*) sont capables de se ré-associer à un DCP ancré après un déplacement de 275 m. Enfin, Girard *et al.* (2004), analysant précisément les trajectoires de thons suivis à l'aide de marques ultrasoniques (Cayré & Chabanne 1986, Holland *et al.* 1990, Cayré 1991, Cayré & Marsac 1993, Marsac & Cayré 1998, Brill *et al.* 1999, Dagorn *et al.* 2000), montrent que les thons seraient capables de s'orienter vers des DCP ancrés à des distances pouvant être supérieures à 10 km. Ces différentes études montrent ainsi que même si la vision intervient vraisemblablement dans la phase ultime d'attraction, d'autres sens interviennent nécessairement.

3.2. L'odorat et l'ouïe

Les expériences menées pour démontrer le rôle de l'odorat ou de l'ouïe dans l'attraction des poissons pélagiques aux DCP ont été peu concluantes. Plusieurs études ont montré que la colonisation du DCP peut être rapide, quelles que soient les espèces : intranatants arrivant quelques heures après le déploiement d'un DCP (Kingsford 1992, Druce & Kingsford 1995), extranatants et circumnatants arrivant quelques jours après le mouillage d'un DCP (Klima & Wickham 1971, Bard *et al.* 1985, Yu 1992, Deudero *et al.* 1999). Ces résultats tendent à prouver que l'attraction des poissons ne viendrait pas de signaux (odeurs, bruits) générés par les organismes du fouling, dans la mesure où les DCP « jeunes » ne sont pas encore colonisés par ces organismes. Jusqu'à présent, aucune étude expérimentale n'a permis de tester le rôle de l'odorat dans l'agrégation des grands extranatants ou des petits intranatants aux DCP dérivants.

Dempster et Kingsford (2003) ont testé le rôle de l'olfaction dans la ré-association à des DCP ancrés de coryphènes et de sérieoles en déplaçant une partie des poissons en aval du DCP (par rapport au courant) et une autre partie en travers du DCP (par rapport au lit du courant). Les poissons de chacune des deux espèces retournèrent au DCP dans des proportions identiques qu'ils aient été relâchés en aval ou perpendiculairement au courant. Ceci indique clairement que l'olfaction n'a joué aucun rôle dans la ré-association pour les distances considérées (de 20 à 275 mètres du DCP).

La perception des sons et des vibrations constitue des atouts supplémentaires qui peuvent permettre aux poissons de localiser les DCP. Dans l'eau, le son se propage dans toutes les directions à partir de sa source et peut être détecté sur des échelles spatiales allant de quelques mètres à plusieurs kilomètres (Kingsford *et al.* 2002). Les poissons peuvent percevoir les sons et sont capables de discriminer grossièrement la direction d'où ils proviennent, cependant, il n'est pas certain qu'ils puissent localiser précisément une source sonore avec une précision telle qu'elle leur permette de produire une navigation orientée (*cf.* synthèse de Popper *et al.* 2002). Les poissons grégaires ont également une excellente capacité de détection des vibrations par leur ligne latérale (Blaxter & Batty 1985) qui peut être utilisée pour détecter des proies se trouvant au-delà de leur champ visuel (Partridge 1982). Cette capacité pourrait également servir pour la détection à distance des DCP. L'action des vagues en surface, ainsi que les poissons agrégés aux DCP, peuvent produire des sons et des vibrations aussi bien autour des dispositifs ancrés que dérivants. Les DCP ancrés peuvent, de plus, produire des sons à partir de leur chaîne d'ancrage et de la vibration de leur ligne de mouillage dans le flux du courant. Selon Marsac et Cayré (1998) la détection de ces sons basses fréquences pourraient permettre aux poissons d'orienter leur navigation. Néanmoins, il n'existe actuellement aucune donnée publiée sur l'environnement sonore et les vibrations autour des DCP ancrés ou dérivants.

En général, les poissons sont sensibles à des gammes de fréquence relativement restreintes comparées aux vertébrés terrestres, en particulier les mammifères et les oiseaux. Les poissons «spécialistes» de l'audition peuvent détecter des niveaux sonores à partir de 50 à 75 dB et dans une gamme de fréquence comprise entre 100 et 2000 Hz (Popper *et al.* 2002). Ils sont en général insensibles aux fréquences au-delà de 2-3 kHz (sauf exception, *cf.* clupéidés Mann 1997), alors que l'Homme a des capacités auditives au-delà de 15 kHz et que certains mammifères, dont des formes aquatiques, peuvent détecter des fréquences au delà de 100 kHz. Il reste des incertitudes quant aux fréquences les plus basses que les poissons peuvent entendre. Actuellement, les connaissances sur les capacités physiologiques auditives des grands poissons pélagiques restent limitées (Iversen 1969 pour les thons).

3.3. La magnéto-réception

La Magnéto-réception est un processus sensoriel de navigation bien connu pour les mammifères terrestres et marins (Papi 1992). Certains auteurs (Holland *et al.* 1990) émettent l'hypothèse qu'elle pourrait être utilisée par les thons pour retrouver des DCP ancrés. L'albacore (*Thunnus albacares*) possède un organe magnéto-sensible (magnétite crânienne ; Walker *et al.* 1984) et sa capacité à discriminer des champs magnétiques de différentes intensités a été démontrée par des expérimentations en bassins (Walker 1984). Néanmoins, la capacité d'utilisation de ce processus sensoriel pour la navigation sur de longues distances reste inconnue (Walker *et al.* 1997, Døving & Stabell 2002). L'hypothèse selon laquelle les thons utiliseraient la magnéto-réception comme mode de navigation à longue distance ou pour revenir à un DCP déjà fréquenté par le passé est assez séduisante. Il a été montré par des marquages acoustiques que les thons étaient capables de retrouver des DCP, que

ce soit après une excursion de quelques heures (Holland *et al.* 1990, Cayré 1991, Brill *et al.* 1999, Dagorn *et al.* 2000, Ohta *et al.* 2001), ou après des absences de plusieurs mois (Klimley & Holloway 1999). Les DCP ancrés sont relativement stables dans le temps et dans l'espace comparés aux DCP dérivants, les thons pourraient ainsi mémoriser leurs coordonnées magnétiques pour les localiser. Cependant, certains DCP ancrés étant distants de quelques milles, il est peu probable que les coordonnées magnétiques d'un DCP soient suffisamment précises pour permettre à un thon de retrouver un DCP précis. Mais cela pourrait peut-être permettre de retrouver des zones de concentration de DCP ancrés.

Que la magnéto-réception soit ou non impliquée dans la détection de DCP ancrés, il est très peu probable que ce processus sensoriel joue un rôle pour la détection de DCP dérivants car la position et l'environnement magnétique de ce type de DCP varient continuellement. De plus, la signature magnétique du fond des océans, au large, là où les DCP dérivants se situent le plus souvent, est nettement moins variable qu'auprès des côtes ou autour des îles (e.g. La Réunion, Hawaii) où sont généralement mouillés les DCP ancrés.

D. La dorade coryphène commune (*Coryphaena hippurus* Linné, 1758)

1. Biologie et distribution

La dorade coryphène appartient à la famille des Coryphaenidés qui ne compte qu'une seule autre espèce *Coryphaena equiselis*, de plus petite taille et moins répandue. Présente dans les régions tropicales et subtropicales de tous les océans, la dorade coryphène commune fréquente également la Méditerranée de façon saisonnière. C'est un poisson épipélagique océanique, c'est-à-dire qu'il vit dans les eaux superficielles des océans, le plus souvent au large, à l'âge adulte. Dès l'âge de six mois, il devient possible de différencier les mâles des femelles en observant le profil de la tête qui est marqué par une crête osseuse proéminente chez le mâle. Ses spectaculaires changements de coloration, qui traduisent divers états de stress ou d'excitation, sont à l'origine du surnom de « Caméléon » que lui donnent certains pêcheurs. La livrée bleu argenté correspond à une phase de calme, alors que le stress, au moment de sa capture par exemple, se traduit par une livrée verte à reflets dorés. Quelques instants avant l'attaque d'une proie, la dorade se pare d'une robe tigrée bien spécifique qui révèle son intention agressive.

Le plus gros spécimen connu est un mâle de 46 kg capturé en 1979 à Puerto Rico. La longévité de la dorade ne semble pas dépasser quatre ans (Beardsley, 1967 ; Rose et Hassler 1968) et la plupart des dorades pêchées ont moins de deux ans. En raison d'un intérêt potentiel pour l'aquaculture, sa croissance a été étudiée sur des animaux captifs, en revanche, les études sur les animaux sauvages sont plus rares et montrent des résultats variables suivant les régions. Le taux de croissance de la coryphène sauvage est très élevé, aux Antilles, il atteint 0,2 cm/jour au cours de sa première année de vie (Taquet 2000). Il figure parmi les plus importants avec ceux de certains grands poissons pélagiques comme les marlins (famille des Istiophoridés). En captivité, ce taux de croissance peut atteindre 0,59 cm/jour (Hassler & Hogarth 1977) voire 0.96 cm/jour (Schekter 1983).

Le régime alimentaire de la dorade coryphène se compose principalement de poissons, plus de 95% dans la plupart des régions (Oxenford et Hunte 1999). Les proies appartiennent à de nombreuses espèces, mais les principales familles concernées sont les grondins volants (Dactylopteridés), les poissons volants (Exocoetidés), les maquereaux et les bonites (Scombridés), les carangues et les chinchards (Carangidés), les balistes (Balistidés et Monacanthidés) et les dorades coryphènes de taille inférieure. Le cannibalisme est en effet une caractéristique démontrée autant chez les poissons d'élevage que sauvages. Calmars et petits crustacés peuvent compléter son régime alimentaire. Des groupes importants de jeunes individus ont été observés en association avec des concentrations de sargasses abritant de nombreuses petites proies (larves, juvéniles).

La maturité sexuelle est atteinte dès l'âge de 6 mois (longueur à la fourche d'environ 60 cm). La dorade coryphène fait partie des espèces qui émettent leurs œufs par lots successifs au cours d'une saison de ponte (« Batch Fecundity » en anglais). Les quantités d'œufs produites par acte de ponte varient de 58 000 à 1.5 million d'œufs, elles sont fortement liées à la taille des individus (Oxenford 1999). En captivité, les femelles sont capables de pondre tous les deux jours tout au long de l'année. Les pontes sont beaucoup moins fréquentes en milieu naturel. On observe un ou deux recrutements de jeunes coryphènes par an suivant les régions. En Méditerranée, l'unique période de ponte s'étend de juin à septembre (Potoschi *et al.* 1999). Les adultes reproducteurs migrent de l'Atlantique vers la Méditerranée juste avant la ponte. Les jeunes coryphènes s'y développent en été et en automne et sont particulièrement abondantes au stade juvénile, près des îles comme Malte, la Sicile et les Baléares. Dans certaines régions tropicales (Hawaii, La Réunion), deux recrutements annuels sont observés (Kraul 1999). Ils peuvent être liés, soit à deux périodes de ponte par an, soit à une période de ponte très étalée tout au long de l'année associée à deux fenêtres environnementales correspondant à des conditions favorables pour la survie des larves.

2. Pêcheries et captures mondiales

Selon la FAO les captures mondiales annuelles déclarées ont culminé à 44 000 tonnes en 1998 et sont actuellement proches de 30 000 tonnes. Les captures réelles pourraient être bien supérieures car la dorade coryphène fait souvent partie des rejets de la pêche industrielle à la senne. En dehors des captures accessoires réalisées par les senneurs et les palangriers océaniques, la dorade coryphène est surtout pêchée par les petites flottilles insulaires tropicales et en Méditerranée. En effet, sa répartition en petits groupes de quelques dizaines d'individus seulement, rend difficile toute exploitation industrielle ciblée. Les techniques de pêche (lignes de traîne, lignes en dérive, foënes) faciles à mettre en œuvre sur des petites unités et l'excellente qualité de la chair constituent des atouts importants pour le développement de cette pêche à l'échelle artisanale. Compte tenu de sa combativité, c'est également un poisson particulièrement recherché par les pêcheurs sportifs. Il n'y a pas d'élément disponible sur l'importance du ou des stocks de dorade coryphène à l'échelle mondiale. Les caractéristiques biologiques de l'espèce, (croissance très rapide, maturité sexuelle atteinte dès l'âge de six mois, durée de vie courte, rarement supérieure à 4 ans) assurent un renouvellement rapide des stocks

et pourraient laisser penser qu'ils sont peu susceptibles d'être facilement surexploités. Mais la forte propension des individus à s'agrèger sous les objets flottants et leur comportement de prédateur actif favorisent leur vulnérabilité aux engins de pêche.

La dorade coryphène constitue donc un modèle biologique de tout premier ordre pour l'étude du phénomène agrégatif des grands poissons pélagiques que nous allons étudier maintenant.

Chapitre 2 : Le comportement agrégatif de la dorade coryphène

A. Introduction

La gestion des stocks des grands poissons pélagiques est longtemps restée basée sur une approche essentiellement monospécifique avec pour principaux objectifs d'évaluer le niveau d'abondance d'une espèce cible et de prévoir l'évolution probable des stocks concernés. Dans cette approche, les stocks sont la plupart du temps gérés indépendamment les uns des autres, au maximum de leur capacité biologique, sans prise en compte des impacts possibles sur les autres espèces. Au moment où la plupart des ressources halieutiques mondiales ont atteint un niveau d'exploitation maximal, une gestion plus écosystémique de ces ressources est devenue nécessaire, tant pour en assurer une exploitation durable que pour maintenir la biodiversité des écosystèmes marins. Cette nouvelle approche écosystémique nécessite une connaissance plus approfondie du comportement des animaux marins qui pourra conduire à une meilleure évaluation des effets de la pêche sur les écosystèmes. Dans ce contexte, l'étude du comportement agrégatif des grands poissons pélagiques autour des DCP constitue une priorité de recherche (Dempster & Taquet *sous presse*), confortée par le développement massif récent de cette technique de pêche au niveau mondial (Fonteneau *et al.* 2000) et par le niveau préoccupant des captures accessoires et accidentelles qu'elle induit (Hall 1996). Compte tenu de sa large répartition océanique et de sa forte propension à l'agrégation (Palko *et al.* 1982), la dorade coryphène est l'une des espèces les plus directement concernées par les effets collatéraux du développement massif de l'usage de DCP par les flottilles industrielles tropicales à la senne. Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus, à partir d'observations sous-marines et de marquages électroniques, sur le comportement agrégatif de la dorade coryphène autour de DCP. Le processus de colonisation, la distribution bathymétrique autour du DCP, le temps de résidence et les liens sociaux entre individus sont les principaux paramètres étudiés. Les résultats obtenus permettent de discuter de l'influence du comportement agrégatif de la dorade coryphène sur sa « disponibilité » (Laurec & Le Guen 1981) et plus précisément sur ses deux composantes : « l'accessibilité » et la « vulnérabilité » (Gascuel 1995).

Avant d'aborder plus spécifiquement l'étude du comportement agrégatif de la dorade coryphène, nous décrivons les types de DCP étudiés ainsi que la composition spécifique des assemblages observés autour des DCP afin de dresser le contexte environnemental biologique des agrégations dans lesquelles se trouvent les dorades coryphènes étudiées.

B. Les divers types de DCP étudiés

Compte tenu des objectifs et des enjeux, l'étude du comportement agrégatif a été principalement réalisée sur des DCP dérivants expérimentaux. Toutefois, à des fins de comparaisons, deux autres types d'objets flottants ont été étudiés à travers l'analyse comparée des compositions spécifiques : les DCP ancrés et les objets naturels flottants.

1. Les DCP dérivants

Il existe peu d'information disponible dans la bibliographie sur la conception des DCP dérivants utilisés par les flottilles de pêche industrielle à la senne (Fonteneau *et al.*

2000). Il était néanmoins souhaitable, à des fins de comparaisons ultérieures, de réaliser cette étude autour de dispositifs comparables à ceux utilisés par les thoniers senneurs océaniques dans l'océan Indien. Les DCP expérimentaux fabriqués et mis en œuvre par nos soins ont donc été réalisés sur la base d'informations techniques transmises par des pêcheurs professionnels français basés aux Seychelles (figure 2-1). Néanmoins, pour des questions de sécurité ou d'impact sur le milieu, quelques modifications ont dues être apportées au modèle de base utilisé par la majorité des thoniers senneurs. Les DCP utilisés par les thoniers senneurs doivent être le plus furtif possible afin d'éviter qu'ils soient repérés par d'autres navires de pêche. Ils ne comportent donc aucun dispositif de signalisation. Leur repérage en mer se fait grâce à une balise électronique émettrice (bouée radio HF). Sur recommandation de la Marine Nationale française, les DCP expérimentaux utilisés dans le cadre de ce projet ont été équipés d'un petit mât supplémentaire muni d'un réflecteur radar (figure 2-2). La bouée émettrice HF utilisée par les thoniers senneurs a été remplacée par une bouée Argos (SERPE SC40G) qui permet la transmission, par le réseau de satellites Argos, d'un point GPS précis toute les heures, sans limite de portée. Enfin, la longue nappe de filet (figure 2-3) qui constitue le matériel attractif sous-marin et qui freine la dérive au vent des DCP opérationnels a été remplacée par un « sac de riz » en polypropylène (figure 2-4) qui fonctionne comme une ancre flottante, tout en évitant les captures accidentelles de requins ou de tortues marines.

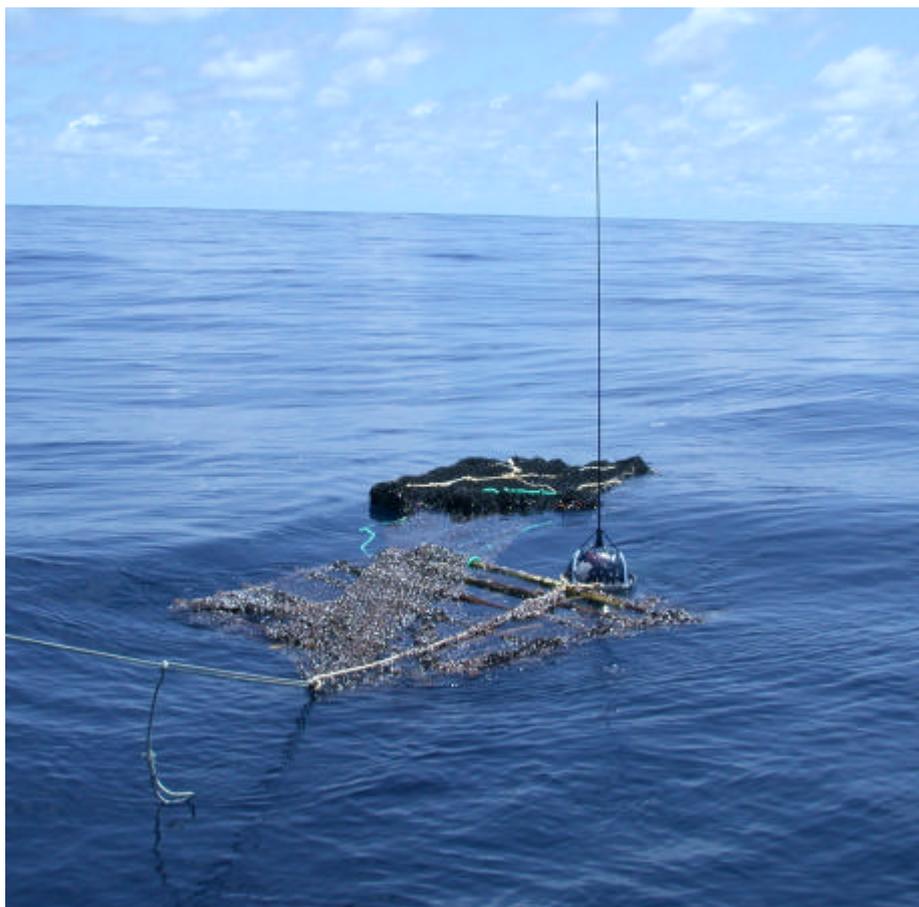


Figure 2-1 : DCP opérationnel utilisé par les thoniers senneurs européens dans l'océan Indien.

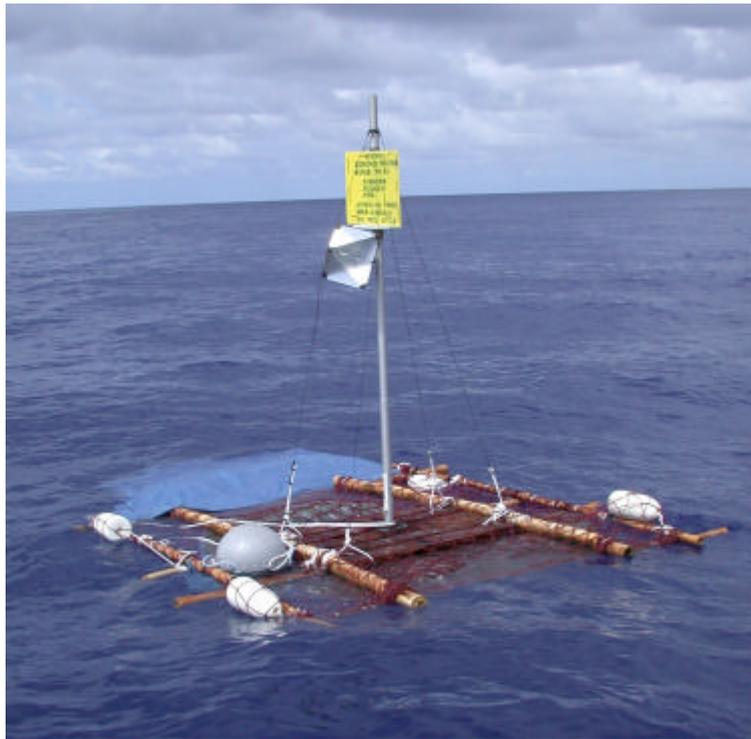


Figure 2-2 : DCP expérimental utilisé par l'Ifremer dans le cadre de cette étude.



Figure 2-3 : Nappe de filet faisant office d'ancre flottante et de matériel attractif opérationnel sous un DCP opérationnel utilisé par les thoniers senneurs européens dans l'océan Indien.

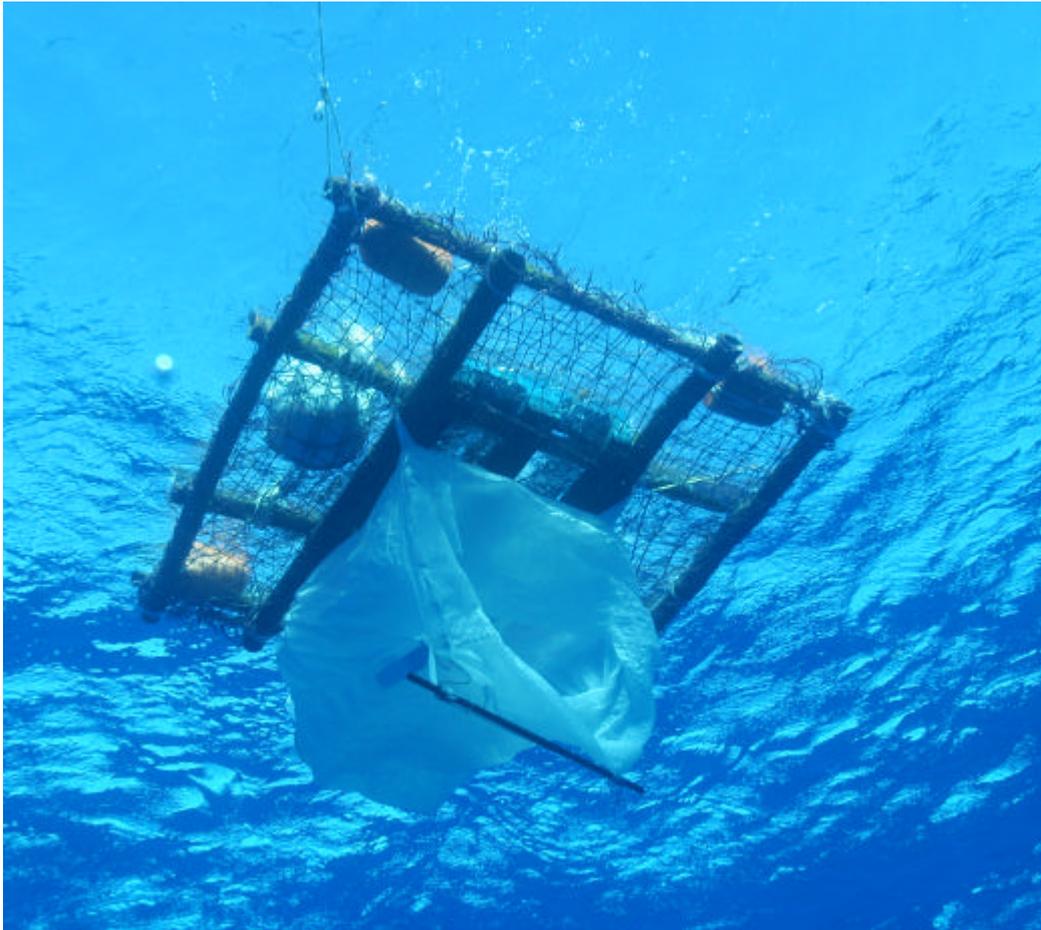


Figure 2-4 : Sac de riz faisant office d'ancre flottante et de matériel attractif sous un DCP expérimental utilisé par l'Ifremer dans le cadre de cette étude.

2. Les DCP ancrés

L'île de La Réunion possède depuis quinze ans un réseau d'une trentaine de DCP, ancrés dans une zone qui s'étend de 4 à 12 milles de la côte. Leur profondeur d'implantation varie entre 700 et 2 000 mètres. Bien qu'ils aient subi quelques modifications techniques depuis leur origine (Biais & Taquet 1990, Detolle 1996), les DCP ancrés en usage actuellement sont toujours fabriqués sur la base du modèle initial (figure 2-5), à l'aide notamment d'une série de flotteurs résistant à l'immersion. Le matériel attractif est constitué d'un rideau de feuillards en polypropylène qui s'étend de 5 à 25 mètres de profondeur. La ligne de mouillage est composée dans sa partie supérieure de cordage en Nylon (\varnothing 14 à 18 mm) et de cordage polypropylène (flottant) de diamètre équivalent dans la partie profonde. La longueur du mouillage est généralement égale à 1,35 fois la profondeur. L'ancrage est assuré par 2 lests en béton reliés par une chaîne. Le réseau de DCP ancrés de La Réunion est entretenu de façon autonome par les pêcheurs du Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CRPMEM) avec l'aide de subventions des collectivités locales. Les DCP ancrés autour de La Réunion ont été utilisés pour l'étude des assemblages d'espèces agrégées uniquement et non pour l'étude du comportement agrégatif des dorades coryphènes.

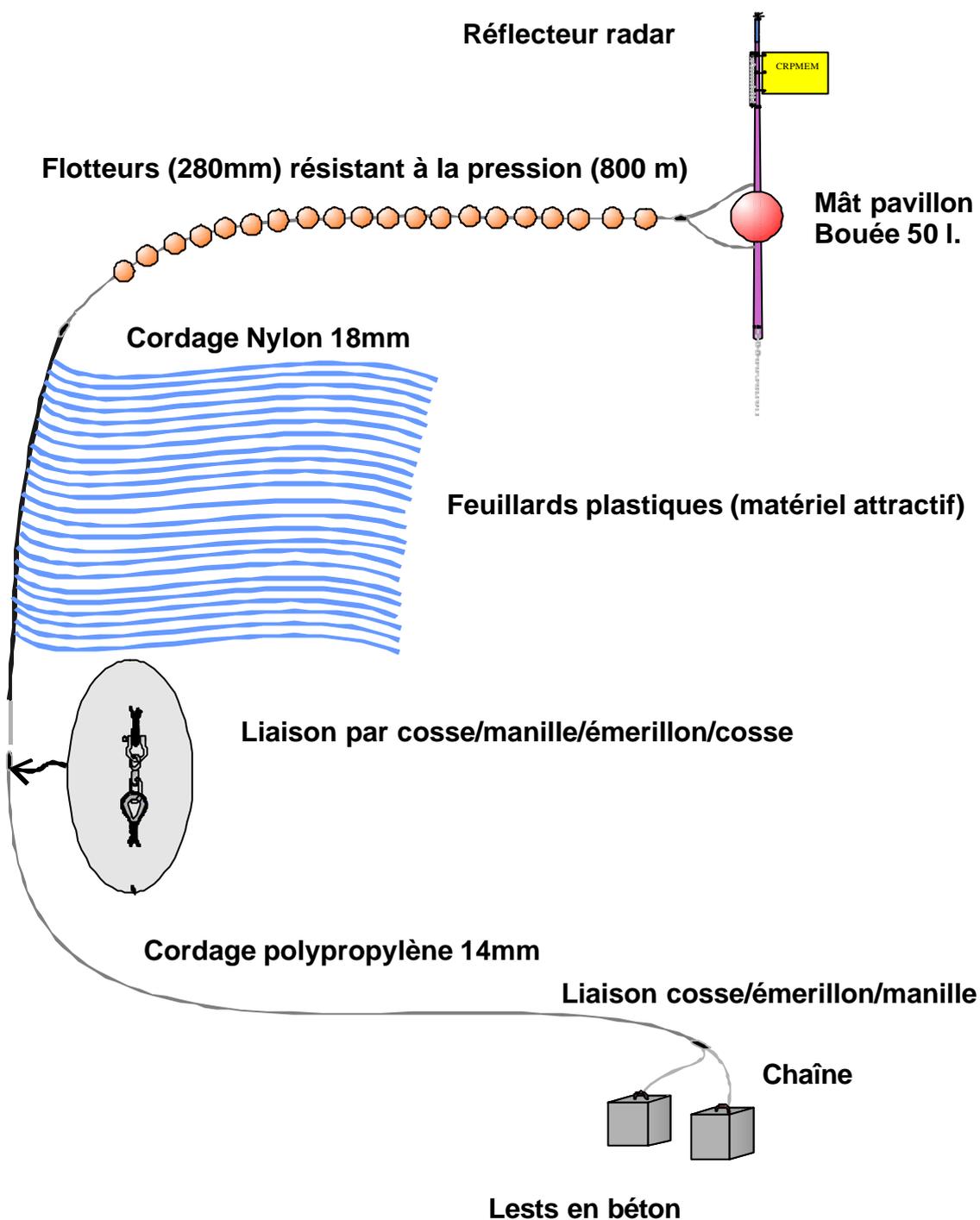


Figure 2-5 : Schéma et principales caractéristiques des DCP ancrés implantés actuellement par les pêcheurs autour de l'île de La Réunion

3. Les épaves naturelles flottantes.

A notre connaissance, la densité et la répartition des objets flottants d'origine naturelle ou artificielle n'ont pas été étudiées dans la zone sud-ouest de l'océan Indien. Néanmoins, les accidents climatiques comme les cyclones qui affectent régulièrement les îles de l'Archipel des Mascareignes, sont à l'origine de nombreux débris et objets flottants dans la région. A la latitude de l'île de La Réunion, les cartes de courants de surface disponibles prévoient une circulation générale d'est en ouest. Une partie des objets flottants observés aux abords de La Réunion provient

probablement des îles Maurice et Rodrigues. Divers objets comme des cordages (figure 2-6), des fûts en plastique ou des casiers à bouteilles proviennent de bateaux marchands de passage ou de navires de pêche en activité dans la zone sud-ouest de l'océan Indien. Il existe donc dans la région d'étude, une grande variété d'épaves naturelles (branchages, troncs d'arbres, Jacinthe d'eau) ou artificielles susceptibles de générer des agrégations de poissons pélagiques.

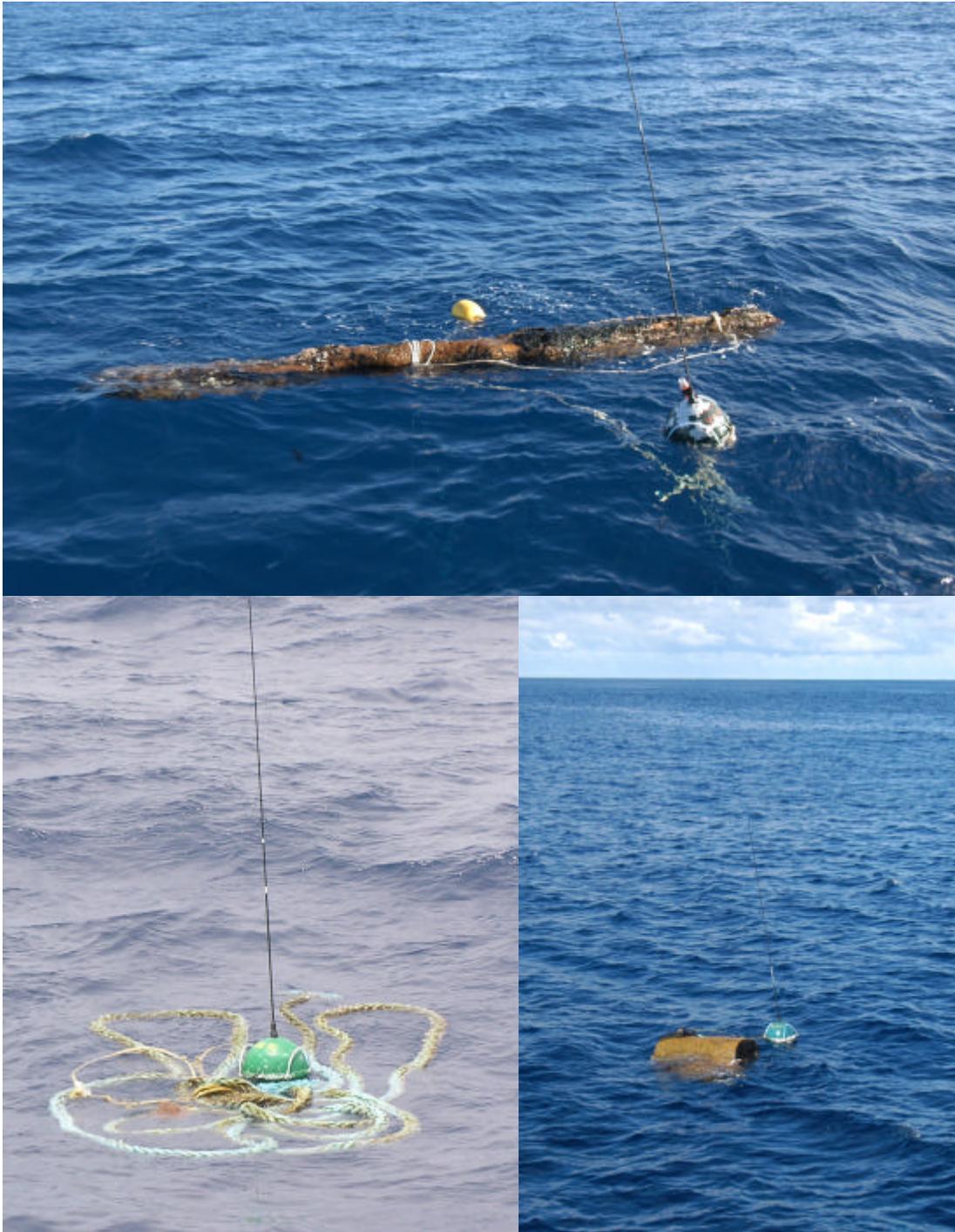


Figure 2-6 : Quelques exemples d'objets flottants permettant l'agrégation de grands poissons pélagiques.

C. Composition spécifique des agrégations sous DCP

L'étude du comportement agrégatif de la dorade coryphène ne peut pas être abordée de façon isolée, sans tenir compte des autres espèces présentes autour du même DCP. En effet, il existe très vraisemblablement des interactions, directes ou indirectes, entre espèces. Qu'il s'agisse de relations trophiques comme celles étudiées plus en détail au chapitre 3 ou d'autres formes de relations de type agonistique¹ ou symbiotique, les interactions entre les différentes composantes des assemblages peuvent influencer certains paramètres majeurs de l'agrégation d'une espèce donnée, comme la distribution spatiale (dans la dimension verticale notamment) et le temps de résidence autour de l'objet. La composition spécifique des agrégations a été abordée à l'aide d'observations sous-marines.

1. Matériel et méthodes

Les observations sous-marines ont été effectuées dans le cadre de plusieurs campagnes en mer. Les campagnes autour des DCP ancrés dans la zone côtière de La Réunion ont été réalisées grâce à l'affrètement d'un navire de pêche de 9,50 mètres « Portus Veneris » (figure 2-7). Les campagnes hauturières du projet DORADE ont été réalisées grâce à l'affrètement d'un Catamaran de pêche de 25 mètres « Le Cap Morgan » (figure 2-8) autour de DCP dérivants expérimentaux déployés pour les besoins du projet. L'une de ces campagnes hauturières a été consacrée plus particulièrement à l'étude du processus de colonisation des DCP dérivants. Deux autres campagnes hauturières ont été réalisées dans le cadre du projet européen FADIO (<http://www.fadio.ird.fr>) à bord d'un navire de recherche de 30 mètres, l'Indian Ocean Explorer (figure 2-9). Les deux campagnes FADIO ont été réalisés au départ des Seychelles, dans la zone centre-ouest de l'océan Indien, autour des DCP dérivants des thoniers senneurs français et espagnols. Outre l'étude du comportement spécifique des dorades coryphènes agrégées (répartition spatiale et bathymétrie, comportement trophique, relations sociales), l'objectif principal de ces observations sous-marines était la réalisation d'inventaires faunistiques complets de toutes les espèces de poissons, mollusques et crustacés agrégés autour du DCP.

1.1. Inventaire faunistique par observations directes

L'équipe d'observation était constituée de 3 plongeurs, deux scientifiques spécialistes de l'identification (ayant une longue expérience de la reconnaissance des espèces en plongée) et un plongeur de sécurité. Un des deux scientifiques était équipé d'une caméra vidéo sous-marine. La zone couverte par les observations correspond approximativement à une calotte sphérique de 50 mètres de rayon et de 30 mètres de profondeur centrée sur le DCP. La durée minimum d'observation était de 30 minutes, mais dans certaines situations de forte abondance d'espèces, cette durée a été portée à une heure afin de prendre en compte dans la mesure du possible, les excursions des circumnavigants au delà du rayon visuel des plongeurs. Il faut noter que seuls les prédateurs apicaux (thons, dorades coryphènes, marlins et requins) s'éloignent de façon significative du DCP (Parin & Fedoryako 1999).

¹ Comportement qui concerne la lutte entre individus, comportement agressif.



Figure 2-7 : Le «Portus Veneris» (9,50 mètres) navire support des campagnes côtières DORADE de l'Ifremer autour des DCP ancrés à La Réunion.



Figure 2-8 : Le palangrier « Cap Morgane » (25 mètres) navire support des campagnes hauturières DORADE de l'Ifremer.



Figure 2-9 : Le navire de recherche « Indian Ocean Explorer », basé aux Seychelles.

Les inventaires couvrent donc, en particulier, l'ensemble des proies potentielles agrégées des dorades coryphènes (intranatants, extranatants). Nous considérons comme une proie potentielle, tout poisson, mollusque ou crustacé dont la taille estimée est inférieure ou égale à celle de la plus grosse proie observée dans les contenus stomacaux des dorades coryphènes étudiés (chapitre 3), soit d'un poids ≤ 270 g et d'une taille ≤ 38 cm. D'un point de vue méthodologique, les inventaires ont été réalisés en trois phases. Pendant la première phase d'observation, les espèces présentes étaient pointées indépendamment par chaque scientifique à partir d'une liste préétablie sur leur planchette sous-marine. Lorsque la liste était complète, les deux plongeurs observateurs effectuaient un comptage précis de chaque espèce présente. Pour les petits poissons pélagiques en bancs, trop nombreux pour un dénombrement à l'unité, un système de cotations d'abondances a été adopté. La troisième phase de l'inventaire était réalisée à bord. Les données collectées par chaque plongeur étaient comparées et les images vidéo numériques étaient visionnées et analysées avec le logiciel Adobe Première® afin de vérifier la liste d'espèce et les comptages. Dans certains cas, il a été nécessaire d'effectuer des prélèvements à l'aide d'une époussette ou d'une arbalète sous-marine afin de confirmer ou de préciser l'identification en laboratoire.

1.2. Analyses statistiques

L'étude des compositions spécifiques des assemblages d'espèces agrégées autour des DCP peut être abordée par une simple comparaison des abondances spécifiques relevées lors des inventaires. Néanmoins, pour tester statistiquement l'influence de certains facteurs, nous avons mis en œuvre une technique d'analyse factorielle inter-classe couplant un tableau de données et une partition (Dolédec & Chessel 1989). La partition est une variable qualitative dont les modalités (ou classes) correspondent aux différents états du facteur que l'on souhaite tester. L'analyse inter-classe se focalise ainsi sur l'analyse d'un effet particulier (effet zone,

effet type d'agrégation, etc.) qui traduit des différences entre classes. Le principe de l'analyse inter-classe consiste à diagonaliser le tableau des effectifs totaux par classe et par variable. Un test de permutation (Romesburg 1985, Manly 1991) est ensuite mis en œuvre afin d'évaluer la «significativité» des variations observées entre les classes. L'analyse inter-classe fonctionne sur une logique voisine de celle sous-jacente de l'analyse discriminante, plus connue des écologues (Gaertner 1997). Les deux méthodes diffèrent essentiellement par la métrique utilisée (euclidienne dans le cas de l'inter-classe et Mahalanobis dans celui de l'analyse discriminante). En dépit de son intérêt, cette technique est encore peu utilisée dans le milieu marin. Elle a cependant trouvée plusieurs applications récentes en écologie marine (Gaertner *et al.* 1998, Blanc *et al.* 2001).

2. Processus de colonisation

Comment un DCP vierge est-il colonisé par des poissons pélagiques ? Pour répondre à cette question fondamentale, des inventaires ont été effectués sur des DCP d'âges connus :

- a. Depuis la 1^{ère} heure jusqu'au 11^{ème} jour (Campagne DORADE de mai 2003),
- b. Sur des DCP ayant entre 8 et 36 jours d'existence qui permettent des comparaisons précises entre DCP d'âges différents et connus (autres campagnes hauturières du projet DORADE).

Le processus de colonisation a été étudié principalement à l'aide de 3 DCP dérivants mouillés au cours d'une campagne qui s'est déroulée du 14 au 25 mai 2003 (approche a.). L'un d'entre eux, le DCP n°11, a fait l'objet d'un suivi précis par inventaires sous-marins, heure par heure le premier jour, puis avec deux inventaires quotidiens les jours suivants. Le dernier inventaire sur ce DCP n°11 a été réalisé en fin de campagne, à l'issue d'une période de 10 jours de dérive. Le DCP n°10 a été mis à l'eau à 3 milles du précédent DCP, le même jour (annexe 2). Enfin le DCP n°12, est un dispositif de conception équivalente aux deux autres DCP mais de taille plus réduite (1.30 x 1.30 mètres). Ce dernier DCP a été mis à l'eau le 18 mai 2003 (4 jours après les DCP n°10 et 11), sur une petite agrégation qui s'était formée dans la nuit autour du bateau de recherche. Il a été laissé en dérive jusqu'au 23 mai, puis relevé après un inventaire complet.

L'examen précis des inventaires réalisés sur le DCP n°11 (tableau 2-I) montre que des juvéniles de poissons s'agrègent au DCP dans les premières minutes après la mise à l'eau. Pour ces petits poissons, l'effet protecteur du dispositif apparaît évident. Ils cherchent immédiatement à se cacher dans le sac de riz ou entre les bambous dès que les plongeurs approchent. Au cours de la première journée, des petits individus de tailles diverses de la même espèce (*Psenes sp.*) ou d'autres espèces viendront s'agréger au dispositif. Un banc de petits Carangidés (*Decapterus sp.*) observé entre 16 et 17 heures (donc 6 h 20 mn après le mouillage du DCP) disparaîtra par la suite, son agrégation ayant été de courte durée. A l'issue de cette première journée d'observations, la biomasse de proies potentielles est extrêmement faible, une quinzaine de petits poissons représentant quelques dizaines de grammes. Le premier passage de dorades coryphènes est enregistré vers 13 heures, soit 4 heures seulement après le mouillage du DCP. Il s'agit dans un premier temps d'un couple d'environ 100 cm de longueur à la fourche, suivi 2 heures plus tard de 3

autres individus de taille peu différente, très farouches. Ces dorades effectuent quelques passages à proximité du DCP mais ne s'y agrègent pas de façon perceptible. A 17 heures (8 h après le mouillage du DCP), une seule dorade coryphène est aperçue de temps à autre dans le périmètre d'observation autour du DCP.

Tableau 2-1 : Inventaires sous-marins réalisés sous le DCP n°11 (taille en cm).

Mouillage du DCP n°11 le 14/05/2003 à 9:40												
Date	14/05/2003											
Heure	10:00			11:00			12:00			13:00		
Nb.	Espèce	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	
2	<i>Psenes sp.</i>	5	1	<i>Psenes sp.</i>	1	2	<i>Psenes sp.</i>	1 à 2	4	<i>Psenes sp.</i>	1 à 4	
			6	<i>Psenes sp.</i>	5	6	<i>Psenes sp.</i>	5				
									2	<i>Coryphaena hippurus</i>	100	

Date	14/05/2003									Obs. du bord le 14/05/03		
Heure	14:00			15:00			de 16:00 à 17:00			23:00		
Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	
3	<i>Psenes sp.</i>	1 à 4	3	<i>Psenes sp.</i>	1 à 4	3	<i>Psenes sp.</i>	1 à 4				
8	<i>Psenes sp.</i>	1 à 6	8	<i>Psenes sp.</i>	1 à 6	9	<i>Psenes sp.</i>	1 à 6				
2	<i>Coryphaena hippurus</i>	100	5	<i>Coryphaena hippurus</i>	90 à 100	1	<i>Coryphaena hippurus</i>	100	3	<i>Coryphaena hippurus</i>	60 à 70	
						1	<i>Acanthocybium solandri</i>	110				
						3	<i>Elagatis bipinnulata</i>	6 à 7				
						100	<i>Decapterus sp.</i>	1 à 2				

Date	15/05/2003											
Heure	09:00			11:00			15:00			17:00		
Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	
9	<i>Psenes sp.</i>	1 à 8	9	<i>Psenes sp.</i>	1 à 8	9	<i>Psenes sp.</i>	1 à 8	9	<i>Psenes sp.</i>	1 à 8	
10	<i>Psenes sp.</i>	1 à 6	10	<i>Psenes sp.</i>	1 à 6	15	<i>Psenes sp.</i>	2 à 8	15	<i>Psenes sp.</i>	2 à 8	
4	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7	4	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7	4	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7				
2	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12										
10	<i>Kyphosus sp.</i>	0,5	10	<i>Kyphosus sp.</i>	0,5	10	<i>Kyphosus sp.</i>	0,5	10	<i>Kyphosus sp.</i>	0,5	
									1	<i>Kyphosus sp.</i>	10	
									1	<i>Caranx sexfasciatus</i>	4	

Date	Obs. du bord le 15/05/03						Obs. du bord le 16/05/03					
Heure	19:00			19:20			21:30			05:00		
Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	
2	<i>Coryphaena hippurus</i>	60 à 80	2	<i>Coryphaena hippurus</i>	100	3	<i>Coryphaena hippurus</i>	80 à 100	3	<i>Coryphaena hippurus</i>	80 à 100	

Date	16/05/2003						17/05/2003					
Heure	09:00			16:00			09:00			16:00		
Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	
9	<i>Psenes sp.</i>	1 à 8	9	<i>Psenes sp.</i>	1 à 8	5	<i>Psenes sp.</i>	0,5 à 3	5	<i>Psenes sp.</i>	0,5 à 3	
20	<i>Psenes sp.</i>	2 à 8	20	<i>Psenes sp.</i>	2 à 8	20	<i>Psenes sp.</i>	3 à 8	20	<i>Psenes sp.</i>	3 à 8	
3	<i>Coryphaena hippurus</i>	80 à 100	3	<i>Coryphaena hippurus</i>	80 à 100	4	<i>Coryphaena hippurus</i>	80 à 100	4	<i>Coryphaena hippurus</i>	80 à 100	
						5	<i>Acanthocybium solandri</i>	80 à 110				
4	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7	4	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7	3	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7	3	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7	
17	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12	17	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12	20	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12	20	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12	
20	<i>Kyphosus sp.</i>	0,5	20	<i>Kyphosus sp.</i>	0,5							
5	<i>Kyphosus sp.</i>	20 à 30	4	<i>Kyphosus sp.</i>	20 à 30							
20	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 5	20	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 5	2	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 5	2	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 5	
						1	<i>Canthidermis maculatus</i>	10 à 15	2	<i>Canthidermis maculatus</i>	10 à 15	

Date	18/05/2003			Obs. du bord le 18/05/03			19/05/2003			24/05/2003		
Heure	17:00			20:45			09:00			09:00		
Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille	
5	<i>Psenes sp.</i>	0,5 à 3				5	<i>Psenes sp.</i>	0,5 à 3				
20	<i>Psenes sp.</i>	3 à 8				25	<i>Psenes sp.</i>	3 à 8	22	<i>Psenes sp.</i>	3 à 8	
			2	<i>Coryphaena hippurus</i>	20 à 30							
3	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7				5	<i>Acanthocybium solandri</i>	80 à 110	16	<i>Acanthocybium solandri</i>	80 à 110	
3	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12				3	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 7	5	<i>Elagatis bipinnulata</i>	3 à 12	
						2	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12	22	<i>Decapterus sp.</i>	7 à 12	
						2	<i>Kyphosus sp.</i>	30 à 40	2	<i>Kyphosus sp.</i>	30 à 40	
									5	<i>Kyphosus sp.</i>	0,5 à 1	
2	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 5				2	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 5	2	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 5	
2	<i>Canthidermis maculatus</i>	10 à 15				2	<i>Canthidermis maculatus</i>	10 à 15	2	<i>Canthidermis maculatus</i>	10 à 15	
4	<i>Urapis urapis</i>	20 à 30										
									2	<i>Lobotes surinamensis</i>	35 à 45	
									2	<i>Abudufduf sp.</i>	0,5 à 1	

Au cours des jours suivants, l'agrégation va se constituer progressivement par l'arrivée de juvéniles de poissons de différentes tailles mais avec une diversité spécifique très faible. A l'issue des 10 jours de dérive, 80 poissons appartenant à seulement 7 espèces différentes pour les proies potentielles et 2 espèces pour les prédateurs, sont enregistrés lors du dernier inventaire. Au total, en comptabilisant les espèces qui se sont associées, qu'elles aient ou non quitté le DCP avant le dernier jour d'observation, le bilan est de 8 espèces de proies potentielles et 3 espèces de prédateurs (*Coryphaena hippurus*, *Acanthocybium solandri*, *Lobotes surinamensis*). La dynamique d'agrégation des dorades coryphènes autour de ce DCP mérite d'être examinée en détail. Après les premiers passages de dorades coryphènes au cours de la première journée qui ne conduiront pas à une agrégation, on observe d'autres passages, notamment de nuit, de dorades de tailles très différentes qui ne peuvent donc pas être confondues avec les précédentes. Dans la nuit du 15 au 16 mai (donc la 2^{ème} nuit de dérive du DCP), un groupe de 3 individus s'agrège de façon formelle autour du DCP pour rester la majeure partie du temps à proximité du DCP et ce jusqu'au 17 mai (soit le 4^{ème} jour). Quelques signes particuliers (position des parasites et cicatrices) repérés sur les films vidéo tournés pendant les inventaires sous-marins permettent de confirmer qu'il s'agit bien des mêmes individus. Deux très petits individus (entre 20 et 30 cm) sont observés du bord vers 20 h 45 dans la nuit du 18 au 19 mai, puis un autre individu d'environ 85 cm a été également aperçu vers 23 h 50. Ces trois dorades coryphènes qui sont passées à plusieurs reprises entre le bateau et le DCP (à quelques mètres seulement du DCP) ne se sont finalement pas agrégées au DCP.

La comparaison avec les autres DCP (n°10 et 12) pendant la même période et la même zone apporte des éléments complémentaires (tableau 2-II et 2-III). Tant au niveau des prédateurs que des proies potentielles, on retrouve une grande stabilité des espèces agrégées qui sont communes aux trois DCP. Les dorades coryphènes, qui ne sont pas restées sous le DCP n°11 à l'issue du 4^{ème} jour de dérive, sont par contre présentes sous les deux autres dispositifs (respectivement 14 et 18 individus lors des derniers inventaires). La présence des plongeurs ou du bateau ne peut être responsable de cette différence dans ce cas puisqu'il n'y a eu aucune observation sur le DCP n°11 pendant les 4 jours précédant le dernier inventaire. Par ailleurs, beaucoup d'autres inventaires sous-marins ont été réalisés tout au long des 3 années d'études sous des DCP dérivants sans perturbation notable des agrégations qui ont compté parfois plus de 100 dorades coryphènes.

Tableau 2-II : Inventaires sous-marins réalisés sous le DCP n°10 (taille en cm) .

Mouillage du DCP n°10 le 14/05/03 à 8:00												
Date	16/05/2003			17/05/2003			19/05/2003			22/05/2003		
Heure	12:00			12:30			09:00			09:00		
	Nb	Espèces	Taille	Nb	Espèces	Taille	Nb	Espèces	Taille	Nb	Espèces	Taille
	10	<i>Psenes sp.</i>	1 à 5	18	<i>Psenes sp.</i>	1 à 8	6	<i>Psenes sp.</i>	2 à 6	5	<i>Psenes sp.</i>	3 à 6
	1	<i>Kyphosus sp.</i>	0,3	-	-	-	-	-	-	10	<i>Kyphosus sp.</i>	0,2 à 0,3
	3	<i>Caranx sexfasciatus</i>	0,3 à 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 3	3	<i>Caranx sexfasciatus</i>	2 à 5	2	<i>Caranx sexfasciatus</i>	3 à 5	2	<i>Caranx sexfasciatus</i>	3 à 5
	1	<i>Aluterus scriptus</i>	40	1	<i>Aluterus scriptus</i>	40	1	<i>Aluterus scriptus</i>	40	1	<i>Aluterus scriptus</i>	40
				20	<i>Decapterus sp.</i>	3 à 4	-	-	-	-	-	-
				3	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12	22	<i>Decapterus sp.</i>	10 à 12	-	-	-
							1	<i>Seriola rivoliana</i>	20	1	<i>Seriola rivoliana</i>	20
							1	<i>Coryphaena hippurus</i>	100	14	<i>Coryphaena hippurus</i>	80 à 105
							4	<i>Acanthocybium solandri</i>	100 à 110	10	<i>Acanthocybium solandri</i>	100 à 115
										1	<i>Urapsis urapsis</i>	35
										3	<i>Abudefduf sp.</i>	2 à 3
										1	<i>Lobotes surinamensis</i>	50

Tableau 2-III : Inventaires sous-marins réalisés sous le DCP n°12 (taille en cm).

Mouillage du DCPD n°12 le 18/05/03 à 12:00						
Date	18/05/2003			23/05/2003		
Heure	14:00			09:00		
	Nb.	Espèces	Taille	Nb.	Espèces	Taille
	1	Canthidermis maculatus	30	80	Canthidermis maculatus	35
	4	Acanthocybium solandri	100 à 110	10	Acanthocybium solandri	100 à 110
	3	Coryphaena hippurus	75 à 90	18	Coryphaena hippurus	80 à 110
				30	Kyphosus sp.	25 à 30
				3	Elagatis bipinnulata	10 à 12
				1	Elagatis bipinnulata	60
				4	Urapsis urapsis	30 à 40
				1	Seriola rivoliana	25
				1	Abudefduf sp.	0,5
				1	Lobotes surinamensis	15

Pour compléter l'étude du processus de colonisation et afin de pouvoir observer des agrégations sur des DCP dérivants d'âges différents et connus, nous avons procédé avant chaque campagne, au mouillage de DCP dérivants expérimentaux (annexe 2) avec un délai différent d'une campagne à l'autre (tableau 2-IV). Quel que soit le délai observé (≥ 8 jours), tous les DCP expérimentaux ont donné lieu à des agrégations de dorades coryphènes (tableau 2-IV). Leur nombre n'est pas directement proportionnel à l'âge du DCP. L'effectif de dorades coryphènes agrégées entre la première et la dernière observation sous-marine n'est pas non plus toujours en augmentation. Cela montre que l'agrégation de cette espèce ne se résume pas à un simple processus cumulatif. Des individus arrivent et repartent du DCP selon un rythme variable. Pour les autres espèces, le délai d'agrégation est également rapide, la moyenne comprise entre 8 et 9 espèces agrégées est souvent atteinte pour des DCP âgés seulement de 8 jours. Le nombre plus important d'espèces agrégées (16) répertoriées sous le DCP dérivant n°3 pourrait être dû aux caractéristiques particulières de la zone dans laquelle ce DCP a été étudié à l'issue de sa dérive. Il est en effet arrivé dans le sud de Madagascar, après avoir traversé une zone d'upwelling bien connue (annexe 2).

Tableau 2-IV : Nombre de dorades coryphènes et nombre d'espèces inventoriées sous les DCP dérivants classés par ordre croissant d'âges du dispositif au moment de la première observation. Les DCP n°7, 8 et 9 (en grisé) constituent à l'origine un seul ensemble agrégatif, séparé par la suite en 3 DCP dérivants distincts.

N° DCP	Date de mouillage	Première Observation sous-marine			Dernière observation sous-marine			Période totale d'observation Inventaires et marquages
		Age du DCP en jours	Nombre de coryphènes agrégées	Nombre d'espèces autres que dorades coryphènes	Age du DCP en jours	Nombre de coryphènes agrégées	Nombre d'espèces autres que dorades coryphènes	
10	14/05/2003	0	0	0	8	14	10	Du 14/05 au 22/05/2003
11	14/05/2003	0	0	0	10	0	9	Du 14/05 au 24/05/2003
12	18/05/2003	0	4	2	5	18	9	Du 18/05 au 23/05/2003
14	02/10/2003	8	6	5	13	14	5	Du 10/10 au 15/10/2003
6	29/04/2002	9	4	11	12	4	9	Du 8/05 au 11/05/2002
13	29/09/2003	9	25	8	15	20	6	Du 8/10 au 31/10/2003
5	29/04/2002	12	15	10	14	13	10	Du 11/05 au 13/05/2002
7	16/10/2002	15	27	10	21	20	9	Du 31/10 au 6/11/2002
8	16/10/2002	15	27	10	20	100	7	Du 31/10 au 5/11/2002
9	16/10/2002	15	27	10	20	5	7	Du 31/10 au 5/11/2002
1	21/11/2001	20	13	6	26	6	8	Du 11/12 au 17/12/2001
3	15/02/2002	36	4	16	37	4	16	Du 23/03 au 24/03/2002

3. Comparaison des assemblages sous les DCP

La méthode d'inventaire faunistique (décrite au paragraphe C.1.1.) a été appliquée systématiquement à tous les DCP mouillés spécifiquement ou rencontrés fortuitement pendant la durée de l'étude. Cette méthode d'observation directe a été étendue aux campagnes hauturières réalisées dans le cadre du projet européen FADIO qui repose sur l'étude de DCP dérivants opérationnels exploités par les thoniers senneurs européens dans la zone de l'océan Indien Centre Ouest. Les inventaires étudiés proviennent donc d'observations effectuées dans toute la zone ouest de l'océan Indien, autour de trois types d'objets flottants : DCP dérivants (expérimentaux et opérationnels), sous DCP ancrés (autour de l'île de La Réunion) et sous épaves naturelles. Seules les espèces agrégées sont prises en compte, les individus qui ont seulement effectué un passage dans la zone d'agrégation observée n'ont pas été comptabilisés.

Le premier résultat important fourni par ces inventaires est la faible diversité spécifique des assemblages agrégés (tableau 2-V). Elle se limite à une trentaine d'espèces de poissons pour les deux zones géographiques réunies, 28 et 24 espèces pour les zones DORADE et FADIO respectivement. Aucun mollusque ni crustacé n'a été observé en situation d'agrégation pendant les inventaires. La composition spécifique de ces listes est d'une surprenante similitude. En retirant toutes les espèces observées une seule fois, ces listes comportent 21 espèces communes et ne diffèrent plus que par une seule espèce *Selar crumenophthalmus*. Ce résultat est particulièrement intéressant car il prouve la très forte stabilité du phénomène agrégatif pourtant observé dans deux régions de l'océan Indien aux caractéristiques océanographiques très différentes. Du point de vue de l'abondance, la zone FADIO moins oligotrophe que la zone DORADE présente des nombres moyens d'individus observés beaucoup plus élevés pour certaines espèces (*Canthidermis maculatus*, *Decapterus sp.*, *Kyphosus sp.*, *Elagatis bipinnulata*, *Coryphaena hippurus*, *Acanthocybium solandri*).

Les espèces observées sous les DCP peuvent être classées dans divers compartiments écologiques. Par ordre de proximité par rapport à l'objet flottant, on trouve tout d'abord, en faible quantité, des individus juvéniles d'espèces récifales comme *Abudefduf sp.*, *Aulostomus chinensis*, *Labroides dimidiatus*, *Pervagor melanocephalus* et *Diodon sp.* qui utilisent l'objet flottant comme un habitat, à la manière de leurs congénères qui ont pu retrouver leur milieu récifal après la phase de dérive larvaire. L'objet flottant constitue pour ces espèces un habitat de substitution qui leur apporte notamment la protection indispensable contre leurs prédateurs. D'un point de vue comportemental, ces espèces récifales agrégées font partie des intranatants qui ne s'écartent jamais de l'objet flottant. Viennent ensuite deux espèces de Monacanthidés (*Aluterus scripta* et *Aluterus monoceros*) que l'on peut trouver à tous les stades de développement, de la post-larve à l'adulte. Très souvent en contact direct avec l'objet flottant, ces espèces capables de se nourrir d'organismes fixés sur l'objet peuvent toutefois s'en écarter de quelques dizaines de mètres à la recherche de proies pélagiques (salpes ou autres invertébrés pélagiques). Une partie importante de la biomasse agrégée est constituée par des bancs de poissons très caractéristiques des agrégations en milieu pélagique tropical que sont *Canthidermis maculatus* (Balistidés), *Kyphosus spp.* (Kyphosidés), et *Psenes cyanophrys* (Noméidés). Evoluant dans un rayon de quelques dizaines de mètres autour de l'objet flottant, ces poissons sont classés dans la catégorie des extranatants. On les retrouve dans les agrégations observées dans toute la ceinture

intertropicale. En dehors des agrégations pélagiques hauturières, les *Canthidermis maculatus* et les *Kyphosus spp.* fréquentent les zones côtières récifales. Par contre, les *Psenes cyanophrys* (Noméidés) sont des petits poissons pélagiques bien connus pour leur agrégation avec les sargasses et les méduses. *Lobotes surinamensis* appartient à la famille de Lobotidés, espèce proche de la famille des Serranidés. Ce poisson est un spécialiste de l'agrégation, il vit en permanence associé aux objets flottants situés en milieu océanique. Il s'écarte rarement de l'objet auquel il est associé (extranatant) sauf pour le quitter définitivement à l'arrivée d'un gros prédateur potentiel.

Tableau 2-V : Comparaison des listes des poissons observés en situation d'agrégation lors des campagnes DORADE (au large de La Réunion) et des campagnes FADIO (au large des Seychelles).

Espèces observées	Abondance Moyenne	
	DORADE	FADIO
<i>Abudefduf sp.</i>	3	11
<i>Acanthocybium solandri</i>	15	36
<i>Aluterus monoceros</i>	3	5
<i>Aluterus scripta</i>	7	15
<i>Antennariidae</i>	1	-
<i>Aulostomus chinensis</i>	1	-
<i>Canthidermis maculatus</i>	23	1760
<i>Carangoides orthogrammus</i>	8	12
<i>Caranx sexfasciatus</i>	12	56
<i>Carcharhinus falciformis</i>	2	5
<i>Carcharhinus longimanus</i>	-	1
<i>Coryphaena hippurus</i>	9	59
<i>Decapterus sp.</i>	71	1236
<i>Diodon sp.</i>	1	-
<i>Echeneis naucrates</i>	1	-
<i>Elagatis bipinnulata</i>	3	592
<i>Katsuwonus pelamis</i>	1000	125
<i>Kyphosus sp.</i>	33	556
<i>Labroides dimidiatus</i>	2	-
<i>Lobotes surinamensis</i>	1	3
<i>Naso sp.</i>	1	-
<i>Naucrates ductor</i>	4	12
<i>Pervagor melanocephalus</i>	6	4
<i>Platax teira</i>	-	1
<i>Psenes cyanophrys</i>	14	42
<i>Seriola lalandi</i>	-	1
<i>Seriola rivoliana</i>	2	22
<i>Sphyraena barracuda</i>	1	22
<i>Selar crumenophthalmus</i>	567	-
<i>Thunnus albacares</i>	1	445
<i>Urapsis urapsis</i>	3	18

La famille des Carangidés compte également plusieurs fidèles représentants dans les agrégations autour des DCP. Certaines espèces de Carangidés comme *Seriola rivoliana* ou *Naucrates ductor* sont fréquemment présentes sous les DCP mais leur nombre est généralement limité à quelques individus par agrégation. Au contraire, *Elagatis bipinnulata* (Carangidés) forme des agrégations de plusieurs milliers d'individus. C'est une espèce pélagique que l'on trouve également en zone côtière.

Elle est présente sous les DCP à tous les stades de développement. Des bancs de juvéniles de *Caranx sexfasciatus* (Carangidés) sont également fréquemment rencontrés sous les DCP, les adultes y sont beaucoup plus rares. Les *Decapterus spp.* et les *Selar crumenophthalmus* (Carangidés) sont des petits pélagiques côtiers très abondants autour des îles du sud-ouest de l'océan Indien que l'on retrouve également en bancs autour des DCP. Ces petits pélagiques font partie des proies potentielles qui intéressent les grands prédateurs apicaux pélagiques agrégés comme *Acanthocybium solandri*, *Coryphaena hippurus*, *Sphyraena barracuda*, *Thunnus albacares*, *Katsuwonus pelamis* qui constituent l'essentiel des circumnata observés. Le requin le plus couramment rencontré autour des DCP au cours de cette étude est *Carcharhinus falciformis*. C'est aussi le seul qui reste agrégé sur de longues périodes (plusieurs jours). Le *Carcharhinus longimanus* qui était très abondant autour des DCP dans le sud-ouest de l'océan Indien jusqu'à la fin des années 80 est devenu très rare.

La comparaison des inventaires des poissons agrégés sous les trois catégories d'objets flottants étudiés (tableau 2-VI), toutes zones géographiques confondues, montre également une grande similitude de composition spécifique entre les DCP dérivants et les épaves naturelles avec des abondances moyennes du même ordre de grandeur (à l'exception de *Selar crumenophthalmus*).

Tableau 2-VI : Comparaison des inventaires faunistiques issus de trois types d'agrégation : DCP dérivants, DCP ancrés et épaves naturelles.

Espèces	DCP ancré	DCP dérivant	Epave naturelle
<i>Abudefduf sp.</i>	-	5	9
<i>Acanthocybium solandri</i>	1	19	29
<i>Aluterus monoceros</i>	1	4	-
<i>Aluterus scripta</i>	40	7	1
Antennariidae	1	-	-
<i>Aspidontus tupeinosoma</i>	-	-	1
<i>Aulostomus chinensis</i>	1	-	-
<i>Balenoptera acutorostrata</i>	-	1	-
<i>Canthidermis maculatus</i>	-	428	179
<i>Carangoides orthogrammus</i>	-	10	10
<i>Caranx sexfasciatus</i>	34	19	21
<i>Carcharhinus falciformis</i>	-	4	6
<i>Carcharhinus longimanus</i>	-	1	-
<i>Coryphaena hippurus</i>	3	18	22
<i>Decapterus sp.</i>	186	304	335
Diodontidae	-	1	-
<i>Echeneis naucrates</i>	1	-	-
<i>Elagatis bipinnulata</i>	1	118	284
<i>Katsuwonus pelamis</i>	1000	125	-
<i>Kyphosus sp.</i>	66	128	31
<i>Labroides dimidiatus</i>	2	2	-
<i>Lobotes surinamensis</i>	-	2	1
<i>Naso sp.</i>	1	-	-
<i>Naucrates ductor</i>	1	8	6
<i>Pervagor melanocephalus</i>	-	6	3
<i>Platax teira</i>	-	1	-
<i>Psenes sp.</i>	46	11	45
<i>Selar crumenophthalmus</i>	1000	2	467
<i>Seriola lalandi</i>	-	1	2
<i>Seriola rivoliana</i>	-	7	3
<i>Sphyraena barracuda</i>	-	7	15
<i>Thunnus albacares</i>	-	563	140
<i>Urapsis urapsis</i>	-	11	20

Il faut noter que les grandes agrégations de *Selar crumenophthalmus* ont toujours été observées sous des DCP ancrés ou sous des épaves naturelles en dérive près des côtes réunionnaises. Cette espèce n'a pas été observée dans la zone océanique FADIO et seulement en très faible concentration dans la zone hauturière DORADE. La diversité spécifique est plus faible sous DCP ancrés (17 espèces) que pour les deux autres types d'agrégation (28 espèces pour les DCP dérivants et 22 espèces pour les épaves naturelles). Les abondances par espèces sont plus complexes à analyser et ont fait l'objet d'un traitement particulier.

Nous avons ainsi effectué une analyse factorielle ACPC inter-classes (Dolédec & Chessel, 1989). Nous avons d'abord testé l'effet de la variable « zone » dont les 2 modalités sont « DORADE » (partie sud-ouest de l'océan Indien) et « FADIO » (partie océan Indien centre-ouest), pour savoir s'il existe des différences d'abondances entre les espèces observées dans ces deux régions distinctes et, dans l'affirmative, pour identifier les espèces responsables de ces différences. Puis, dans le même esprit, nous avons testé la variable type d'agrégation dont les 3 modalités sont (1) le DCP dérivant, (2) le DCP ancré et (3) l'épave naturelle.

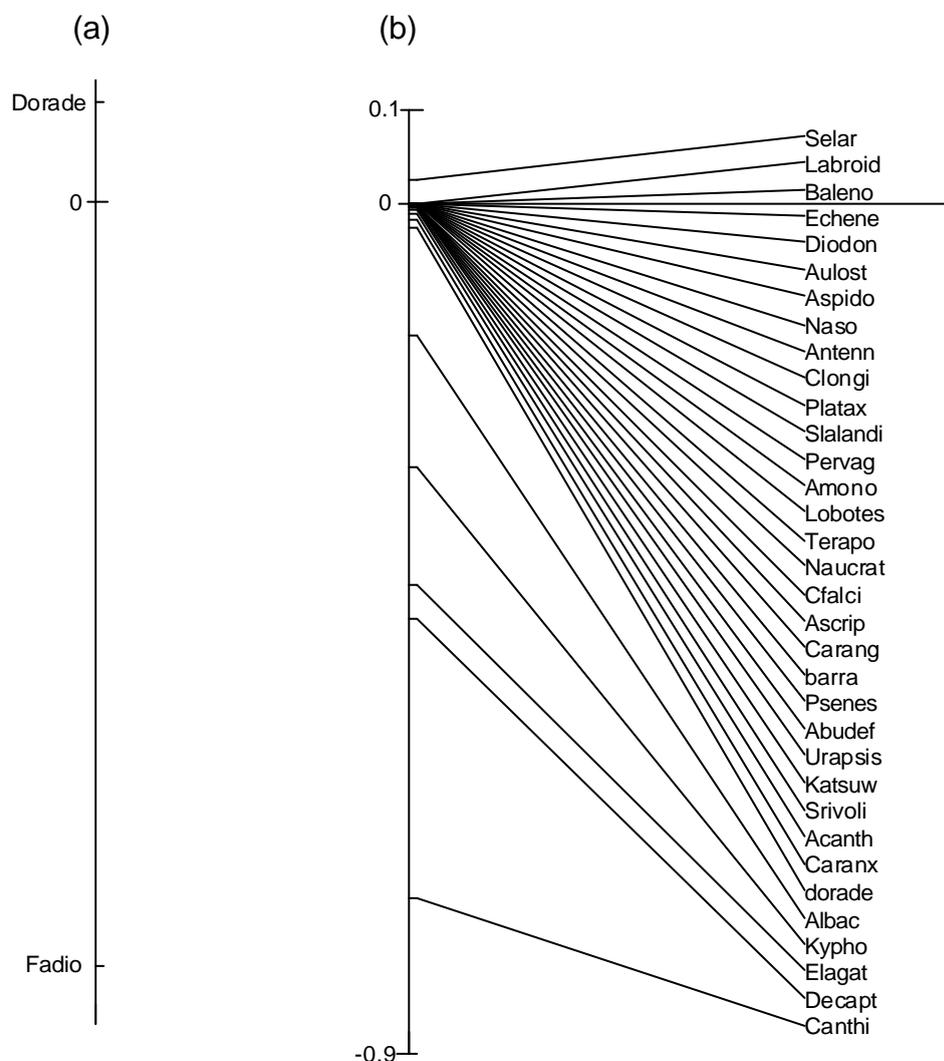


Figure 2-10 : Projections (a) des zones et (b) des espèces sur l'axe de l'ACPC inter-zones.

Le résultat de l'analyse « inter-zones » montre que cette variable est très significative ($P < 0,001$). 39.71% des variations d'abondances inter-spécifiques s'expliquent par des différences de zones, ce qui est considérable. La figure 2-10, montre que cet axe est essentiellement lié aux abondances des 4 espèces suivantes : *Canthidermis maculatus*, *Decapterus sp.*, *Kyphosus sp.* et *Elagatis bipinnulata*.

Le résultat de l'analyse « inter-types d'agrégation » montre que cette variable n'est pas significative ($P = 0,529$). Seulement 1,7% des variations d'abondances inter-spécifiques sont associées à des différences dans le type d'agrégation. On ne peut donc pas conclure à l'existence de différences significatives des niveaux d'abondances spécifiques observées d'un type d'agrégation à l'autre. L'effet saisonnier n'a malheureusement pas pu être testé faute d'un échantillon suffisamment étendu sur plusieurs cycles annuels. Néanmoins, certaines espèces comme *Canthidermis maculatus*, *Kyphosus sp.* et *Elagatis bipinnulata* pourraient être particulièrement abondantes dans la zone FADIO à une certaine période de l'année. D'une manière générale, l'effet zone semble donc jouer un rôle majeur dans l'abondance relative des espèces composant une agrégation, alors que l'effet type de DCP aurait une influence uniquement sur la liste faunistique, pour certaines espèces peu abondantes, présentes seulement en habitat côtier ou au contraire seulement au large.

D. Etude du comportement agrégatif de la dorade coryphène

L'étude du comportement agrégatif a pour principal objectif de mieux décrire la dynamique spatiale et temporelle de la dorade coryphène à une échelle locale autour des objets flottants, afin de mieux évaluer les impacts éventuels de ce comportement sur la distribution de l'espèce à plus large échelle. La question du risque induit par le développement massif et récent de l'usage des DCP dérivants en pêche thonière industrielle nous a conduit à concentrer nos efforts sur ce type de DCP. Le temps de résidence et le pourcentage de temps passé autour du DCP sont des descripteurs majeurs du comportement agrégatif. Une dorade coryphène reste-t-elle fidèlement agrégée à proximité du DCP ? Ou bien est-elle capable de s'en éloigner et d'y retourner plus tard ? La dorade coryphène est toujours décrite comme un poisson épipelagique, toutefois cette caractéristique n'a jamais été vérifiée par des mesures directes du comportement *in situ*. La dorade coryphène est réputée vivre à la surface des océans car elle est toujours observée en surface ou pêchée par des techniques de surface (traîne, senne, poti marara, palangre de surface). Cependant, il n'est pas impossible qu'elle passe une partie de son temps à plus grande profondeur. L'utilisation de la télémétrie acoustique permet de vérifier cette distribution bathymétrique lors des périodes d'agrégation de l'espèce au DCP.

1. Matériel et méthodes

Les données sur le comportement agrégatif de la dorade coryphène sous DCP dérivants ont été collectées par l'utilisation conjointe de marques acoustiques émettrices implantées sur des poissons et de stations d'écoute fixées sous les DCP dérivants. Ces stations permettent d'enregistrer et de stocker les informations transmises par les émetteurs fixés sur les poissons présents à l'intérieur du périmètre de réception.

1.1. Techniques de marquages

Il existe une grande variété d'émetteurs acoustiques en fonction de la taille, de la puissance, du mode d'émission, de la fréquence et de la durée de vie souhaitée. Nous avons retenu deux modèles de la société canadienne Vemco (www.vemco.com) : la marque V8 (petit émetteur cylindrique de 8 mm de diamètre et 30 mm de long) et la marque V16P avec capteur de pression (transmetteur cylindrique de 16 mm de diamètre et 80 mm de long), toutes les deux fonctionnant sur une fréquence de 69 kHz. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour le marquage du poisson.

(a) Marquage à bord du navire

(i) en externe

Les marques V16 peuvent être livrées avec une petite anse dans la partie supérieure qui permet de fixer la marque en externe, sur le dos ou sous le ventre du poisson à l'aide d'un collier. Comme il s'agit d'une espèce extrêmement combative, une civière en toile de PVC (figure 2-11) a été spécialement conçue pour recevoir le poisson, le hisser à bord et le maintenir dans une cuve de marquage à circulation d'eau de mer. Une suroxygénation est assurée par un jet d'eau de mer sous pression dans la cuve. Pendant la fixation de la marque, le poisson est placé sur le dos. Cette position a deux avantages : elle facilite l'accès à la partie postéro-ventrale (première partie de la nageoire anale) où est fixée la marque et a un effet calmant sur la dorade coryphène, comme observé sur les requins (Holland *et al.* 1999). La dorade coryphène étant une espèce particulièrement sensible au stress, nous avons cherché à réduire les manipulations relatives aux marquages. Une des solutions adoptées, consiste à fixer la marque acoustique par l'intermédiaire d'un hameçon au niveau de la nageoire anale. L'implantation dans cette partie du corps répond à la fois à une absence de gêne pour la nage du poisson, à une tenue efficace due notamment à l'absence d'organe sensible et à la présence d'une région osseuse à la base de cette nageoire.



Figure 2.11 : Civière utilisée pour immobiliser, hisser à bord et marquer les dorades coryphènes.

(ii) en interne

Les marques V16 sans fixation externe et les marques V8 peuvent être implantées par intervention chirurgicale dans la cavité intra péritonéale. La dorade coryphène est alors positionnée dans la cuve de marquage dans la même position et suivant le même procédé (civière) que pour un marquage externe. Une incision est pratiquée au dessus et légèrement en arrière de l'orifice anal. Une fois la marque introduite, l'incision est refermée par un point de suture. Pendant toute cette opération, la dorade coryphène est maintenue sur le dos dans la cuve de marquage et reçoit une suroxygénation. Cette méthode de marquage demande plus de temps mais fonctionne bien lorsque l'individu capturé n'a pas été trop stressé lors de sa capture. Des dorades coryphènes ainsi marquées puis relâchées au voisinage d'un DCP, ont été recapturées après plusieurs jours de liberté. La bonne cicatrisation des plaies et l'abondance des proies observées dans les estomacs de ces individus recapturés, montrent que cette méthode de marquage est efficace sur la dorade coryphène. Les marques acoustiques peuvent également être implantées dans l'estomac des poissons. Cette technique est plus rapide et évite l'intervention chirurgicale parfois délicate dans des conditions de mer agitée. L'inconvénient majeur de cette méthode est la possible régurgitation de la marque sous un délai incertain (de quelques jours à plusieurs semaines) et qui dépend de la technique d'ingestion de la marque (Winger & Walsh 2001). L'ingestion volontaire par le poisson conduit à des temps de régurgitation généralement plus long (quelques semaines à plusieurs mois) que l'ingestion forcée sous anesthésie (Winger & Walsh 2001). Ces expériences de mesure de temps de rétention des marques dans l'estomac ne sont malheureusement pas disponibles dans la bibliographie pour la dorade coryphène. En collaboration avec l'Association Réunionnaise de Développement de l'Aquaculture (ARDA), nous avons pu réaliser un test de rétention sur une dorade prélevée autour d'un DCP ancré à La Réunion et acclimatée en bassin aquacole à terre. Après anesthésie, nous avons implanté une marque V8 dans l'estomac du poisson à l'aide d'une baguette souple en plastique. La régurgitation a eu lieu 11 jours après l'implantation. Nous n'avons toutefois pas pu réaliser d'autres expériences de ce type faute de disponibilité de bassin dans les périodes où les dorades coryphènes étaient disponibles autour des DCP réunionnais. Notons également la difficulté rencontrée pour le transport de coryphènes vivantes adultes entre les DCP ancrés et les bassins à terre. Plusieurs sorties se sont soldées par des mortalités d'individus juste à l'arrivée au port. Des tests supplémentaires portant sur un échantillon d'au moins une dizaine d'individus seraient nécessaires afin de pouvoir confirmer l'intérêt de cette méthode de marquage.

(b) Marquage direct dans le milieu

(i) en externe

Pour éviter la mortalité due au stress lorsque les dorades coryphènes sont pêchées puis hissées à bord pour être marquées, nous avons expérimenté une nouvelle technique de marquage dans le milieu naturel. Cette technique nécessite de capturer une dorade coryphène à l'aide d'une canne et d'un moulinet sur une ligne mono filament munie seulement d'un hameçon (pêche à l'appât vivant) ou d'un leurre (pêche à la traîne). Une fois que l'individu a mordu à l'hameçon, la dorade coryphène est ramenée vers le bateau très doucement sans à-coup. Deux plongeurs (sans

scaphandre) se mettent alors à l'eau, l'un d'entre eux suit le fil de la ligne lentement jusqu'au poisson. Après quelques minutes d'approche et une période d'habituance pour éliminer le plus possible le stress du poisson, le plongeur saisit la dorade coryphène par la queue et la retourne immédiatement sur le dos. Cette manœuvre suffit généralement pour calmer immédiatement le poisson. Le deuxième plongeur peut alors poser la marque puis retirer l'hameçon. La dorade coryphène est ensuite retournée en position normale et libérée délicatement. Cette technique qui évite au poisson les souffrances dues à la capture, s'est avérée très efficace tant pour la pose de marques traditionnelles (type spaghetti) que pour la pose de marques électroniques montées sur hameçons. La pose d'une marque archive de type « Pop-up » a d'ailleurs été réalisée pour la première fois avec succès sur une dorade coryphène par notre équipe grâce à cette méthode. Le détachement de la marque s'est effectué à la date prévue, le 30 octobre 2001, après 18 jours et 21 heures de liberté, à 48 milles dans le nord-est du point de marquage.

(ii) en interne

Afin de réduire au mieux les effets stressants du marquage, nous avons également essayé de marquer des individus en leur faisant ingérer de manière passive une marque acoustique. La méthode consiste à faire ingérer une marque acoustique (V8 uniquement) par la dorade coryphène par l'intermédiaire d'un appât vivant dans lequel la marque est implantée. L'appât vivant sélectionné est un petit carangidé (*Selar crumenophthalmus*) conservé à bord du navire dans une cuve portable (1m³). La marque est implantée dans l'estomac de l'appât vivant à l'aide d'une baguette plastique. L'appât vivant est alors muni d'un fil cassant passé dans la cavité orbitale devant les yeux avec une aiguille émoussée en évitant toute piqûre ou toute blessure. Le fil cassant est alors relié à une ligne plus longue en Nylon (mono filament) enroulé sur une bobine. L'appât vivant marqué est ainsi mis à l'eau et tenu à distance par un plongeur (en libre sans scaphandre). Le plongeur peut régler la distance de liberté de l'appât et participer ainsi au choix du prédateur à marquer. Après quelques manœuvres d'approche, une des dorades présentes dans la zone se précipite généralement sur l'appât vivant et l'avale, se trouvant ainsi équipée d'une marque acoustique dans l'estomac. L'opération de marquage se déroule sans aucun stress pour le poisson marqué puisque le fil cassant, très fin, se rompt immédiatement. Cette technique n'entraîne donc ni capture, ni manipulation. Une fois un individu marqué, les marquages suivants sont facilités car les dorades deviennent de moins en moins farouches. La difficulté est alors d'éviter les doubles marquages de poissons ayant déjà ingéré un appât vivant marqué. Le CD-Vidéo fourni en annexe de ce mémoire présente les principales méthodes de marquage décrites dans le présent chapitre.

1.2. Stations d'écoute

Des récepteurs VEMCO type VR2 ont été utilisés comme stations d'écoute. Leur fréquence de réception est de 69 kHz et ils détectent puis enregistrent les données des marques qui se trouvent à proximité. Pour chaque détection correcte d'une marque, ils enregistrent le numéro de code de la marque (ID), la date, l'heure ainsi que la profondeur d'immersion pour les marques V16P (munies d'un capteur de pression). Le récepteur VR2 peut stocker jusqu'à 1 Méga bites de données et garde également en mémoire les caractéristiques de l'étude en cours. Les données sont téléchargées grâce à une interface magnétique (VR2-PC) et un logiciel dédié (VR2PC). Ces stations d'écoute sont positionnées sous le DCP dérivant à 6 mètres

de profondeur à l'aide d'un câble inox (figure 2-12). Pour vérifier la présence de poissons marqués dans la zone d'agrégation, elles peuvent également être positionnées le long du bord lorsque le navire de recherche est à l'arrêt en dérive.

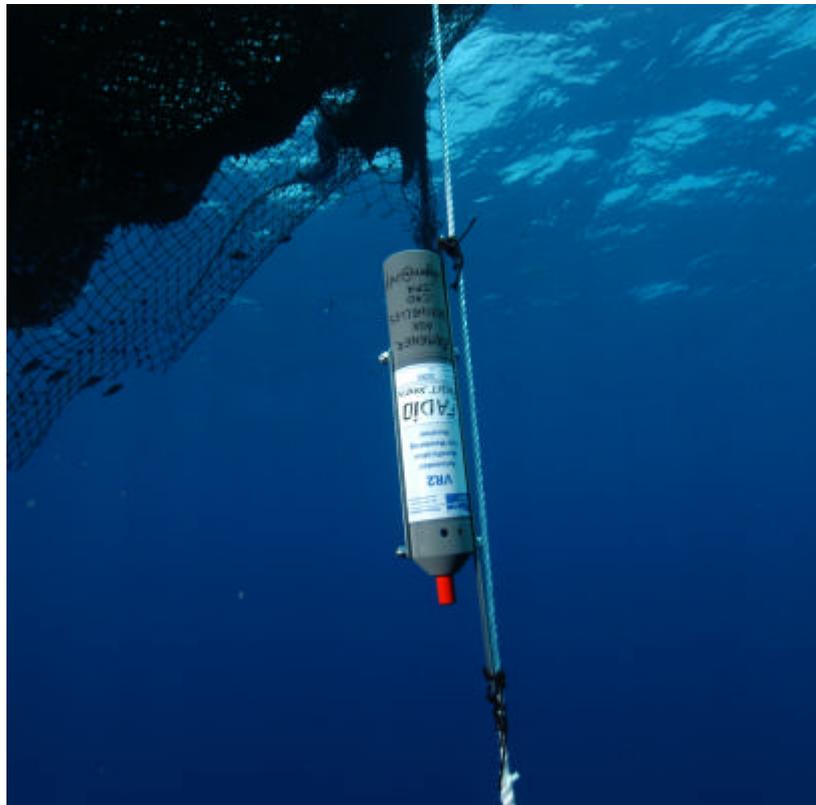


Figure 2.12 : Station d'écoute positionnée sous un DCP dérivant.

L'émission régulière de messages acoustiques (appelés « pings ») de la part des marques permet de connaître avec précision les heures de présence des poissons marqués dans le périmètre de réception des stations d'écoute. Ce périmètre dépend de plusieurs facteurs, notamment de la puissance et de la fréquence des marques utilisées ainsi que des conditions du milieu : bruits naturels ambiants, turbidité, état de la mer, existence de gradients thermiques (Pincock & Voegeli, 1990). Afin de définir au mieux le périmètre de réception des stations d'écoute dans les conditions d'utilisation rencontrées durant cette étude, nous avons procédé à plusieurs étalonnages *in situ*. Nous avons mesuré le rayon limite de réception pour les deux types de marques utilisés (V8 et V16) en testant également l'effet de la position de la marque (niveau d'immersion : en surface et à 50 mètres) ainsi que le mode d'implantation (externe et intra stomacal). Ces tests ont été réalisés en positionnant les stations d'écoute à deux profondeurs distinctes (6 mètres et 20 mètres) et dans deux positions, hydrophone orienté vers la surface et vers le fond pour la profondeur 6 mètres.

Le rayon limite moyen obtenu lors de ces tests est de 655 mètres (écart type 60 mètres) pour la marque V16 et de 365 mètres (écart type 35 mètres) pour la marque V8. Aucune différence de réception n'a été mise en évidence, ni en fonction de la position de l'hydrophone (vers le haut ou vers le bas), ni en fonction de sa profondeur (6 mètres et 20 mètres). La profondeur de la marque n'a pas eu d'effet

significatif pour les deux profondeurs testées (6 mètres et 50 mètres). Il faut toutefois souligner qu'une série de tests préliminaires effectués avec une marque V8 positionnée à 3 mètres de profondeur dans des conditions de mer forte avait produit un rayon limite d'environ 200 mètres. Il semble donc que l'état de la mer puisse influencer de manière significative le périmètre de détection notamment lorsque la marque est très près de la surface. Notons que cette situation est fréquente pour la dorade coryphène qui nage souvent avec la nageoire dorsale en contact direct avec la surface de l'océan. Le mode d'implantation de la marque (externe ou interne) ne conduit pas non plus à une modification perceptible du périmètre de détection.

2. Comportement vertical

L'utilisation de marques acoustiques dotées de capteurs de pression permet d'étudier la distribution verticale des dorades coryphènes agrégées sous les DCP dérivants (figure 2-13). Elle est représentée par la proportion du nombre de détections enregistrées pour chaque classe de profondeur de 5 mètres entre 0 et 35 m. Ces données proviennent des 3 individus dotés de marque V16P qui ont fait l'objet des plus longs suivis, supérieurs ou égal à 3 jours sous 3 DCP différents. De plus, 2 de ces 3 dorades ont été recapturées à l'issue du suivi. Les observations sous-marines effectuées pendant la période de suivi des dorades coryphènes n'ont mis en évidence aucun comportement inhabituel dû au marquage. Les dorades coryphènes avaient toutes rejoint les autres individus et évoluaient en groupe dans le banc. L'analyse des contenus stomacaux a également confirmé un comportement trophique parfaitement normal des deux individus recapturés.

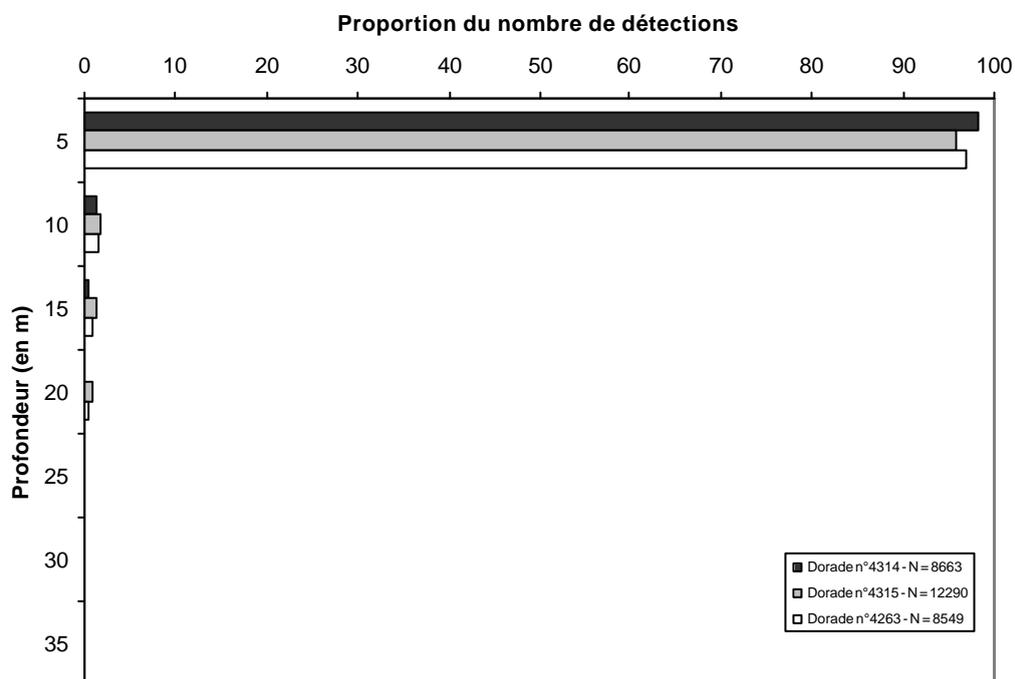


Figure 2.13 : Distribution de fréquence des profondeurs de nage des dorades coryphènes agrégées sous les DCP dérivants enregistrée à l'aide d'émetteurs acoustiques V16P et de stations d'écoute (N= nombre de détections enregistrées par la station d'écoute pour le poisson concerné).

Cette figure confirme le comportement nettement épipélagique de la dorade agrégée qui passe plus de 95% de son temps dans les 5 premiers mètres sous la surface. Ces données confirment tout à fait les estimations réalisées par l'observation visuelle sous-marine, les incursions un peu plus profondes étant souvent liées à la chasse de proies réparties entre 0 et 20 mètres sous la surface.

La distribution verticale des dorades coryphènes agrégées sous DCP dérivants en fonction des heures de la journée est représentée séquentiellement par les profondeurs enregistrées à chaque détection pour toute la période d'observation (figures 2-14, 2-15 et 2-16). Ces graphiques mettent en évidence une distribution spécifique des incursions en profondeur qui interviennent juste après le marquage, aussi bien de jour que de nuit, puis ensuite majoritairement de jour. Le stress est probablement responsable des mouvements verticaux observés juste après le marquage.

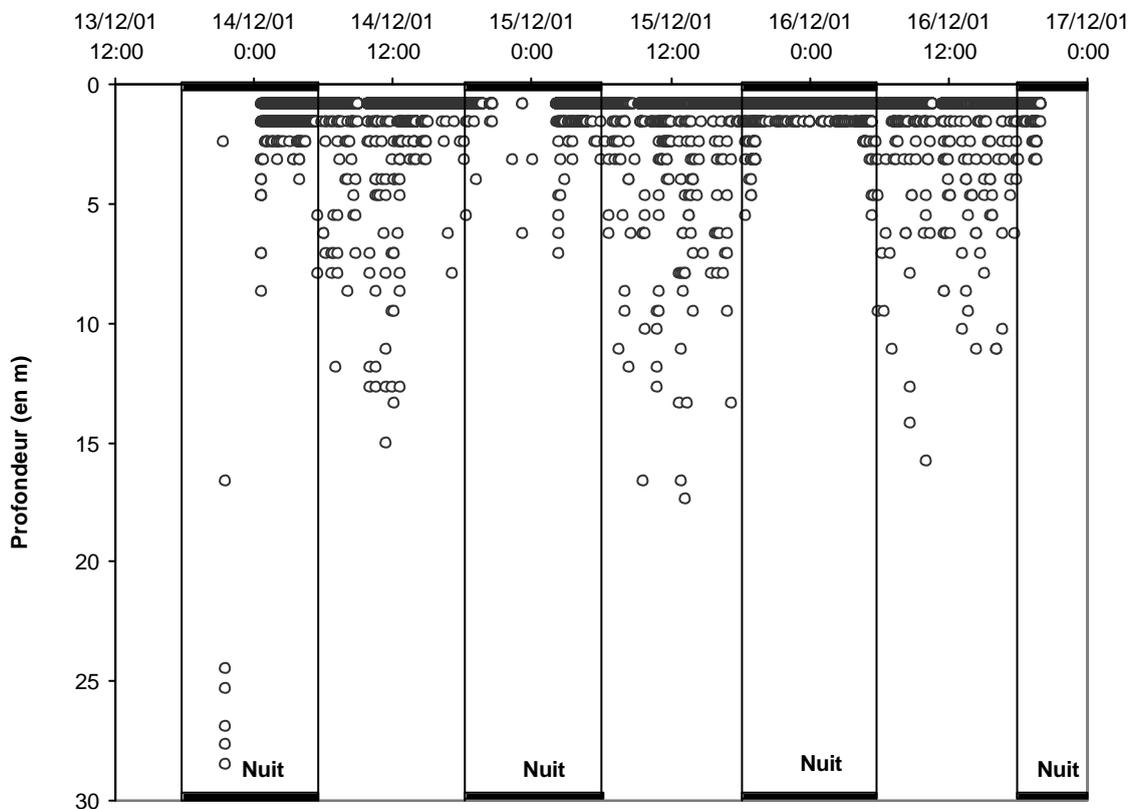


Figure 2.14 : Profil bathymétrique de la dorade n°4314 suivie pendant plus de 70 heures sous le DCP dérivant n°1, influence des périodes de jour et de nuit.

La dorade n°4315 (figure 2-16) n'a pas été recapturée après le suivi. Son profil bathymétrique apparaît anormalement perturbé lors de la dernière nuit d'observation, avec plusieurs descentes lentes (0,16 m/s) en profondeur. Toutefois, lors des observations sous-marines, nous avons observé à plusieurs reprises des petits groupes de dorades coryphènes faisant de très lents allers/retours entre 0 et 30 mètres, en étant couchées sur le flanc.

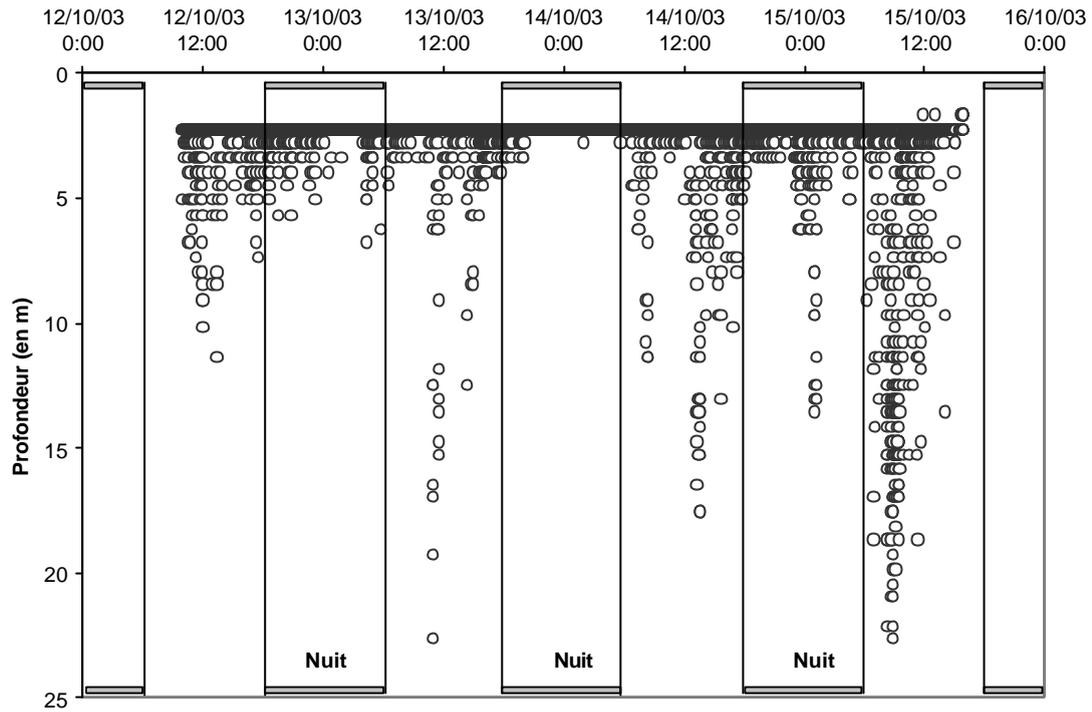


Figure 2.15 : Profil bathymétrique de la dorade n°4263 suivie pendant 78 heures sous le DCP dérivant n°14, influence des périodes de jour et de nuit.

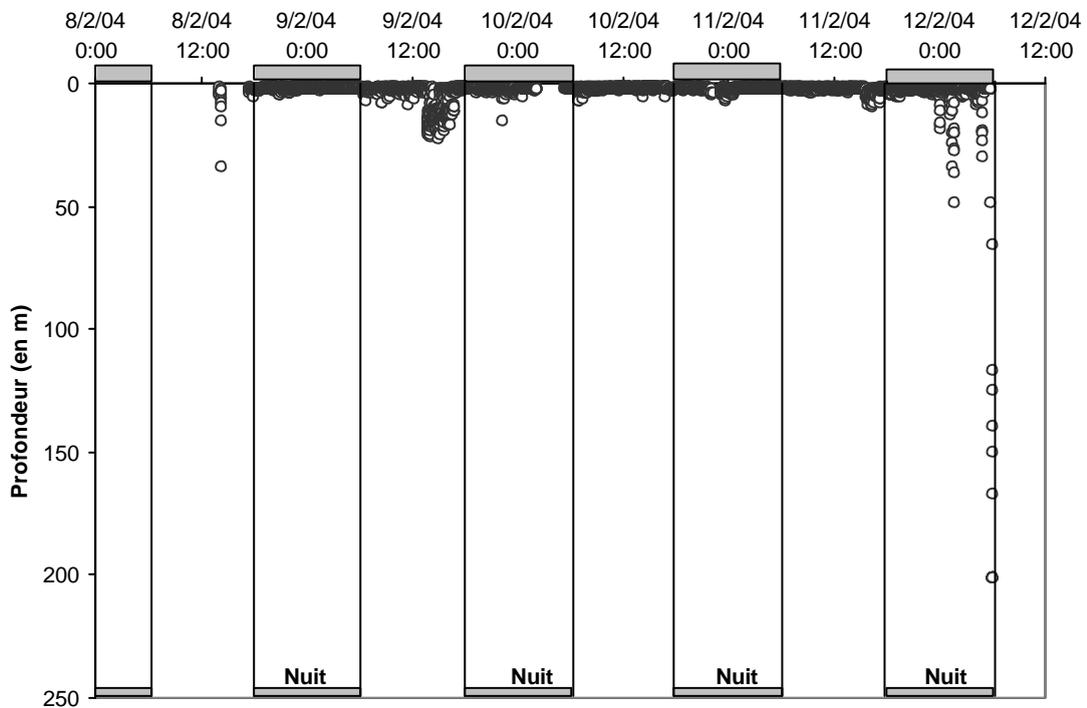


Figure 2.16 : Profil bathymétrique de la dorade n°4315 suivie pendant 88 heures sous le DCP dérivant n°543, influence des périodes de jour et de nuit.

La dernière descente de la dorade n°4315 se prolonge au delà de la limite de destruction du capteur de pression (200 m) à 0,5m/s, ce qui correspond approximativement à la vitesse de descente d'une dorade coryphène morte (mesures *in situ* effectuées entre 0 et 40m par les plongeurs de l'Ifremer). Pour vérifier si cette descente régulière observée sur cet individu pouvait correspondre au décrochement de sa marque, nous avons mesuré expérimentalement à l'aide de plongeurs, la vitesse de chute dans l'eau (entre 0 et 28 mètres), de plusieurs marques V8 et V16 équipées d'un hameçon. Les vitesses moyennes obtenues ont été de 0,47m/s (\pm 0,03 m/s) et 0,59 m/s (\pm 0.09 m/s) pour les marques V8 et V16P respectivement. Il est donc impossible de conclure prioritairement à une perte de marque ou à la mort de la dorade coryphène, les vitesses de chute étant équivalentes. Cependant, le fait que cette dorade ait montré une descente avec la même vitesse, suivie d'une remontée, laisse penser que ce n'est pas la marque qui s'est détachée. Il est possible que cette dorade coryphène ait subi des lésions au moment du marquage, pourtant effectué en externe avec hameçon. Dans ce cas, il serait malgré tout surprenant qu'elle ait pu survivre 3 jours et 16 heures avec un comportement bathymétrique apparemment normal avant de succomber.

3. Temps de résidence

La liste des 55 marquages acoustiques réalisés sur des dorades coryphènes agrégées sous des DCP dérivants au cours de cette étude est présentée dans le tableau 2-VII qui précise pour chaque individu, le type de marque et la méthode d'implantation utilisée. Parmi ces 55 poissons marqués, seuls 43 sont retenus pour les analyses comportementales. En effet, 4 individus n'ont pas été détectés après leur marquage et 8 autres n'ont émis que quelques messages acoustiques dans les 45 premières minutes suivant le marquage. Pour les 43 autres dorades coryphènes marquées, les durées totales d'observation entre l'opération de marquage et la dernière détection enregistrée sont variables : entre 4 h 43 minutes et 15 jours 6 h 10 min. La moyenne des durées est de 3,87 jours, soit 3 jours 20 h et 52 minutes, avec un écart type de 3,6 jours (3 jours 14 h 24 min). La distribution de ces durées d'agrégation est pluri-modale. Comme précisé sur le tableau 2-VII (colonne observations), dans certains cas, l'observation a dû être interrompue avant le départ naturel de certaines dorades coryphènes. Cela a concerné 11 poissons sur les 43 (25%) étudiés dans cette partie, ce qui conduit ainsi à une sous-estimation de leur durée d'agrégation. Cela a notamment été le cas pour 3 dorades coryphènes (n°4314, n°4263, n°9834) lorsqu'en fin de campagne il a fallu récupérer le matériel (DCP, balise Argos et stations d'écoute) alors que ces 3 individus marqués étaient encore sous le DCP. Deux de ces 3 individus (n°4314 et n°4263) ont été recapturés juste avant le retrait du DCP, après respectivement 70h 36 minutes et 78h de liberté. Leurs contenus stomacaux ont pu être analysés dans le cadre de l'étude du comportement trophique (chapitre n°3). Par ailleurs, lors des campagnes FADIO, les DCP n°543 et n°1129 ont été laissés en dérive équipés de leur station d'écoute, en fin de campagne, afin de prolonger au maximum la durée d'observation tout en espérant les récupérer plus tard. Au moment du dernier téléchargement des données des stations d'écoute, il restait encore 4 dorades coryphènes marquées agrégées sous chacun de ces deux DCP. Grâce à la collaboration des thoniers senneurs, nous espérons pouvoir récupérer ces deux DCP dérivants qui étaient équipés de balise HF codées. Malheureusement nous n'avons pas pu les récupérer. Les durées d'agrégation totales ne sont donc pas disponibles pour ces dorades coryphènes.

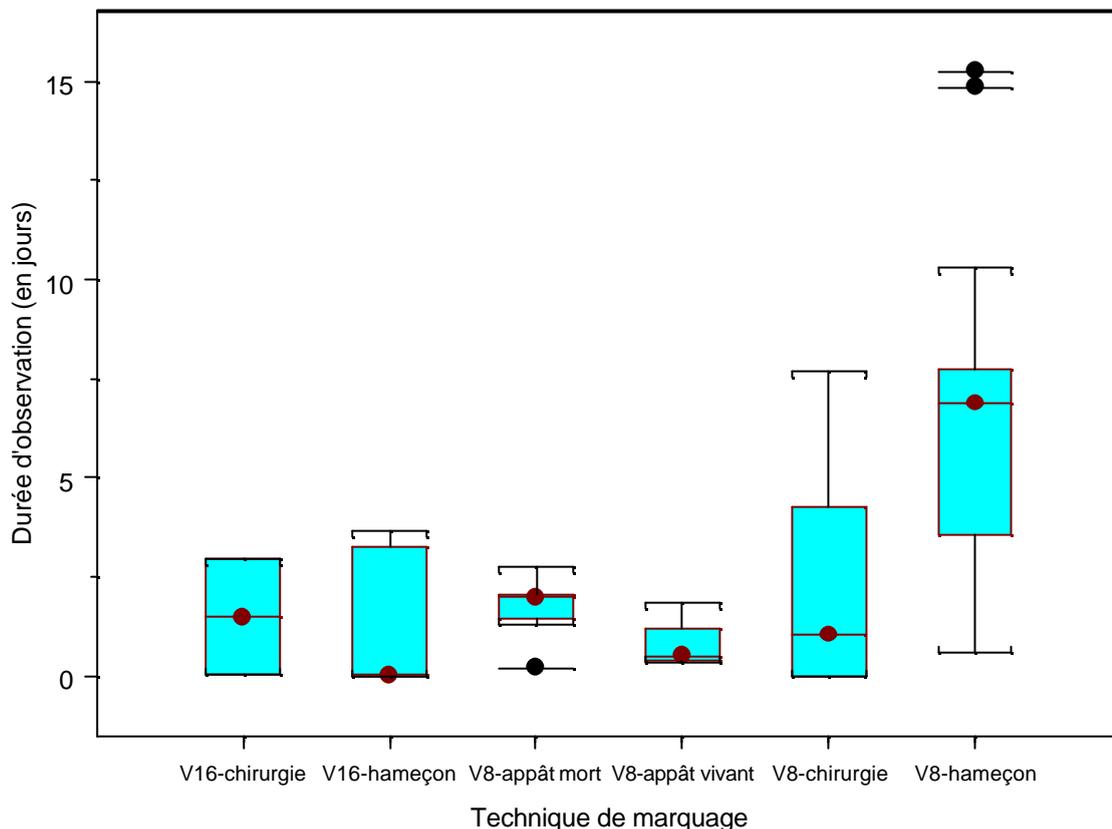
Tableau 2-VII : Récapitulatif des marquages acoustiques réalisés sur les dorades coryphènes, caractéristiques des marquages et durées d'agrégation totale.

Type de marquage et mode d'implantation	N° Marque	Date et heure du marquage	Date et heure de la dernière détection	Durée Totale (en jours)	Observations	N° du DCP
V16P - chirurgie	4314	13/12/01 21:28	16/12/01 20:05	2,942	Recapture de la dorade	DCP n°1
V16P - externe	4267	13/12/01 21:40	13/12/01 22:24	0,031	Départ de la dorade	DCP n°1
V16P-chirurgie	4314	23/3/02 18:20	23/3/02 18:53	0,023	Départ de la dorade	DCP n°3
V8 - appât vivant	4238	8/5/02 17:24	9/5/02 1:44	0,347	Départ de la dorade	DCP n°6
V8 - appât vivant	4248	8/5/02 20:16	9/5/02 6:23	0,422	Départ de la dorade	DCP n°6
V8 - chirurgie	4242	9/5/02 17:40	9/5/02 17:50	0,007	Départ de la dorade	DCP n°6
V16P - Hameçon	4270	12/5/02 17:15	12/5/02 17:21	0,004	Mort de la dorade	DCP n°5
V8 - chirurgie	4260	12/5/02 17:28	12/5/02 17:29	0,001	Départ de la dorade	DCP n°5
V8 - appât mort	4249	31/10/02 19:48	3/11/02 13:46	2,749	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât vivant	4255	31/10/02 20:18	2/11/02 16:33	1,844	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât vivant	4244	1/11/02 9:48	2/11/02 0:01	0,592	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4245	1/11/02 15:25	2/11/02 22:42	1,303	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4258	1/11/02 16:27	3/11/02 0:57	1,354	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4259	1/11/02 20:24	3/11/02 23:03	2,110	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4256	1/11/02 20:33	3/11/02 23:04	2,105	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4250	1/11/02 20:53	3/11/02 21:33	2,028	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4251	1/11/02 21:03	3/11/02 19:45	1,946	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4253	1/11/02 21:10	3/11/02 20:58	1,992	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4239	1/11/02 21:21	3/11/02 8:34	1,467	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4254	1/11/02 21:27	3/11/02 21:52	2,017	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4247	1/11/02 21:36	3/11/02 21:55	2,013	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4257	1/11/02 21:51	3/11/02 21:49	1,999	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4246	1/11/02 21:52	3/11/02 21:40	1,992	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4243	1/11/02 22:00	3/11/02 21:40	1,986	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - appât mort	4252	1/11/02 22:06	2/11/02 2:49	0,197	Départ de la dorade	DCP n°789
V8 - hameçon	9826	8/10/03 16:48	23/10/03 13:31	14,863	Départ de la dorade	DCP n°13
V8 - hameçon	9827	8/10/03 16:55	15/10/03 22:31	7,233	Départ de la dorade	DCP n°13
V8 - hameçon	9828	8/10/03 17:08	23/10/03 23:18	15,257	Départ de la dorade	DCP n°13
V8 - hameçon	9829	8/10/03 17:12	14/10/03 5:14	5,501	Départ de la dorade	DCP n°13
V8 - hameçon	9831	8/10/03 17:30	19/10/03 0:53	10,308	Départ de la dorade	DCP n°13
V8 - hameçon	9832	8/10/03 17:44	15/10/03 8:51	6,630	Départ de la dorade	DCP n°13
V8 - hameçon	9833	8/10/03 17:50	15/10/03 21:12	7,140	Départ de la dorade	DCP n°13
V16P - hameçon	4263	12/10/03 10:02	15/10/03 16:00	3,249	Recapture de la dorade	DCP n°14
V8 - hameçon	9834	12/10/03 10:38	15/10/03 15:11	3,190	Arrêt de l'observation	DCP n°14
V16P - hameçon	4264	12/10/03 10:48	12/10/03 11:30	0,029	Départ de la dorade	DCP n°14
V16P - hameçon	4268	8/2/04 13:41	8/2/04 13:43	0,001	Départ de la dorade	DCP n° 543
V16P - hameçon	4269	8/2/04 13:54	-	0,000	Dorade jamais détectée	DCP n° 543
V16P - hameçon	4315	8/2/04 14:05	12/2/04 6:08	3,669	Départ de la dorade	DCP n° 543
V8 - hameçon	9837	8/2/04 14:26	16/2/04 8:03	7,734	Arrêt de l'observation	DCP n° 543
V8 - hameçon	9838	8/2/04 16:25	16/2/04 6:05	7,569	Arrêt de l'observation	DCP n° 543
V8 - chirurgie	9840	8/2/04 15:05	16/2/04 8:04	7,708	Arrêt de l'observation	DCP n° 543
V8 - hameçon	9842	8/2/04 15:55	-	0,000	Dorade jamais détectée	DCP n° 543
V8 - chirurgie	9843	8/2/04 15:38	15/2/04 16:07	7,020	Départ de la dorade	DCP n° 543
V8 - hameçon	9845	8/2/04 14:44	12/2/04 12:19	3,899	Départ de la dorade	DCP n° 543
V8 - hameçon	9846	8/2/04 14:50	10/2/04 8:47	1,748	Départ de la dorade	DCP n° 543
V8 - hameçon	9847	8/2/04 14:53	10/2/04 19:18	2,184	Départ de la dorade	DCP n° 543
V8 - hameçon	9848	8/2/04 14:22	16/2/04 8:02	7,736	Arrêt de l'observation	DCP n° 543
V8 - hameçon	9849	8/2/04 14:45	14/2/04 16:42	6,081	Départ de la dorade	DCP n° 543
V8 - chirurgie	7341	11/2/04 7:30	11/2/04 7:46	0,011	Départ de la dorade	DCP n°1129
V8 - chirurgie	7338	11/2/04 18:22	13/2/04 7:52	1,563	Arrêt de l'observation	DCP n°1129
V16P - chirurgie	5547	12/2/04 7:28	-	0,000	Dorade jamais détectée	DCP n°1129
V8 - chirurgie	7342	12/2/04 6:27	-	0,000	Dorade jamais détectée	DCP n°1129
V8 - chirurgie	7345	12/2/04 6:47	13/2/04 7:48	1,042	Arrêt de l'observation	DCP n°1129
V8 - chirurgie	7339	12/2/04 7:03	13/2/04 7:53	1,035	Arrêt de l'observation	DCP n°1129
V8 - hameçon	9836	12/2/04 18:00	13/2/04 7:38	0,568	Arrêt de l'observation	DCP n°1129

Les durées d'agrégation observées (figure 2-17) montrent quelques différences en fonction de la technique de marquage utilisée. Les 2 techniques qui ont conduit aux temps de résidence les plus longs sont le marquage externe avec un hameçon (> 15 jours ; moyenne 6,7 jours \pm 4 jours) et la chirurgie. Cependant, il est également intéressant de constater que les 8 dorades qui sont restées moins de 45 minutes autour du DCP après marquage (en excluant les 4 dorades dont aucun message

acoustique n'a été détecté) ont été marquées avec ces 2 techniques : 4 en chirurgie et 4 en externe avec un hameçon.

Figure 2.17 : Durée d'observation des dorades coryphènes en fonction de la



technique de marquage utilisée. (Le point rouge à l'intérieur des boîtes représente la médiane, les points noirs à l'extérieur sont les outliers).

4. Dynamiques agrégatives : séjours et excursions

Lorsqu'elles sont agrégées à un DCP dérivant, les dorades coryphènes effectuent des déplacements qui les conduisent parfois à sortir du périmètre de réception des stations d'écoute. Lorsque aucune détection n'est enregistrée pendant plus de 30 minutes, nous considérons que la dorade coryphène n'est plus présente autour du DCP et nous qualifions cette période « d'excursion ». La figure 2-18 présente, pour chaque individu marqué, la durée moyenne d'association au DCP ainsi que la durée moyenne de ses excursions (obligatoirement supérieure à 30 minutes). Le graphique montre que le temps d'une excursion est relativement constant quelque soit la durée moyenne d'une association et que sa valeur est généralement faible comparée au temps moyen d'association.

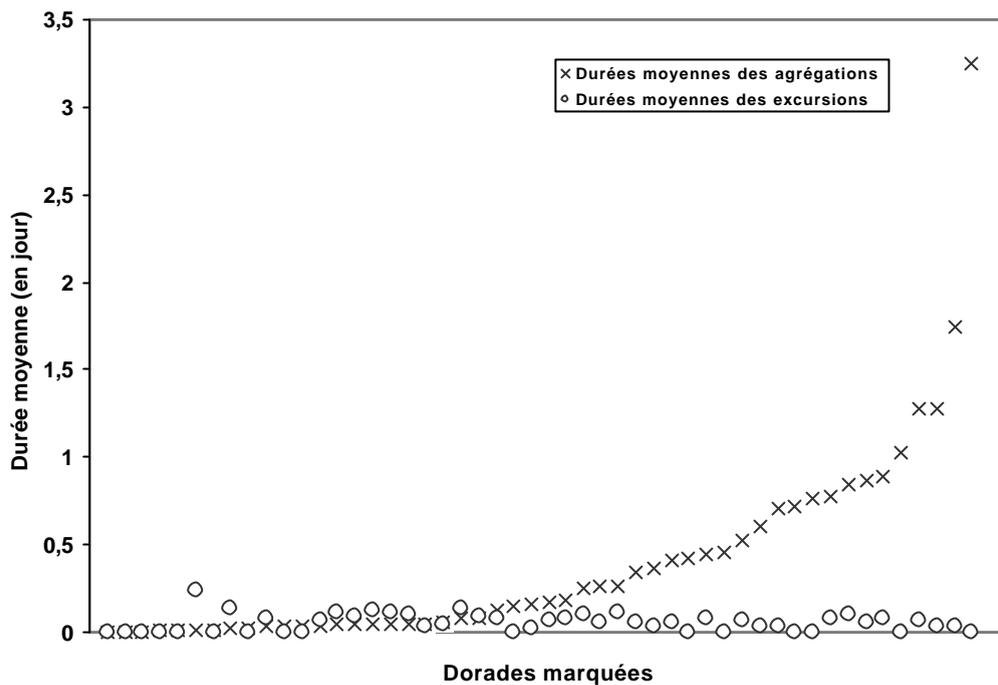


Figure 2.18 : Durées moyennes des périodes d'agrégation et d'excursion pour chaque dorade coryphène marquée sous les DCP dérivants.

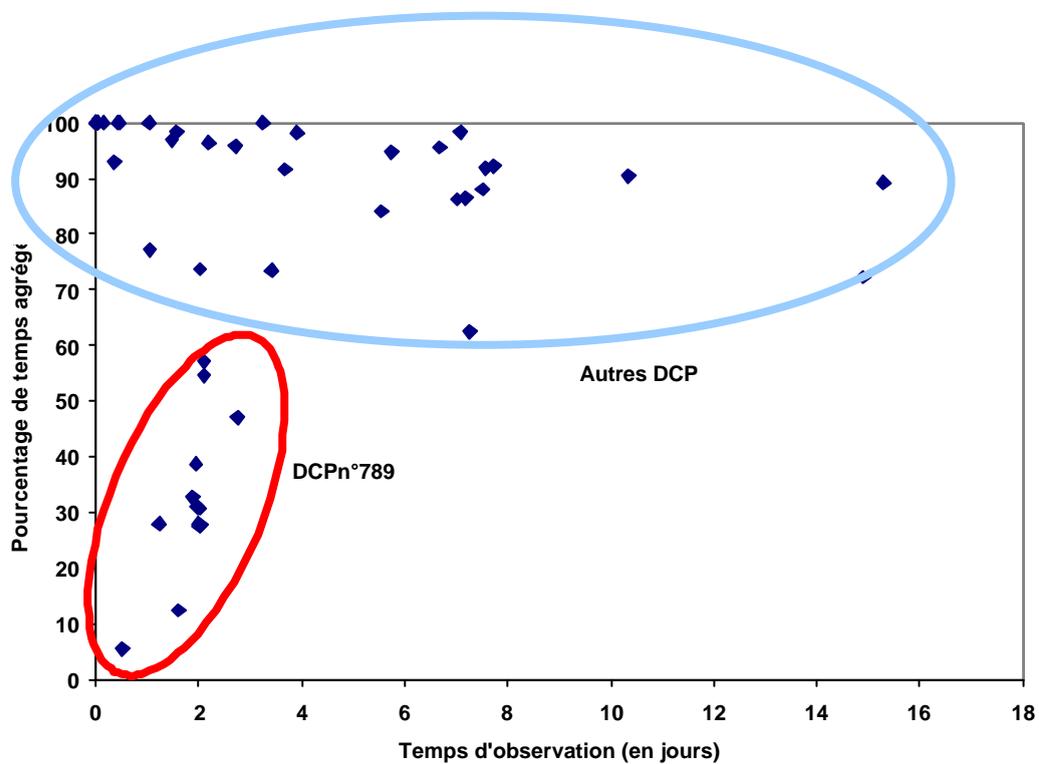


Figure 2.19 : Proportion du temps d'agrégation en fonction du temps total d'observation des dorades coryphènes sous les DCP dérivants.

La forte fidélité des dorades coryphènes aux DCP dérivants est confirmée par la figure 2-19. Lorsqu'elles sont sous l'influence d'un DCP, **plus de 75% des dorades coryphènes restent associées au DCP pendant plus de 75% de leur temps**. Ceci se traduit au niveau spatial par le fait que les dorades coryphènes ne s'éloignent pas à plus de 700 mètres ou de 400 mètres du DCP (pour celles équipées respectivement d'une marque V16P ou d'une marque V8) pendant plus de 75% de leur temps total d'agrégation. De plus, on remarque que tous les poissons ayant une fidélité inférieure à 60 % proviennent du même DCP (n°789). Ce DCP a été construit à partir de 3 radeaux qui ont été volontairement séparés quelques heures après le marquage des poissons. Il est donc nécessaire d'examiner séparément les résultats des marquages obtenus lors de cette opération spécifique pour comprendre ce qui a pu conduire à une telle réduction du pourcentage du temps agrégé.

Le rythme d'alternance entre les périodes d'association (en clair) et d'excursion hors du périmètre de détection (en foncé) est représenté sur la figure 2-20 par la durée réelle de chacune de ces phases. Les individus ayant eu une durée totale d'agrégation inférieure à 45 minutes n'ont pas été représentés sur ce graphique. Nous avons également éliminé 2 individus pour lesquels le nombre de détections était extrêmement réduit, ce qui conduit à considérer uniquement 41 individus.

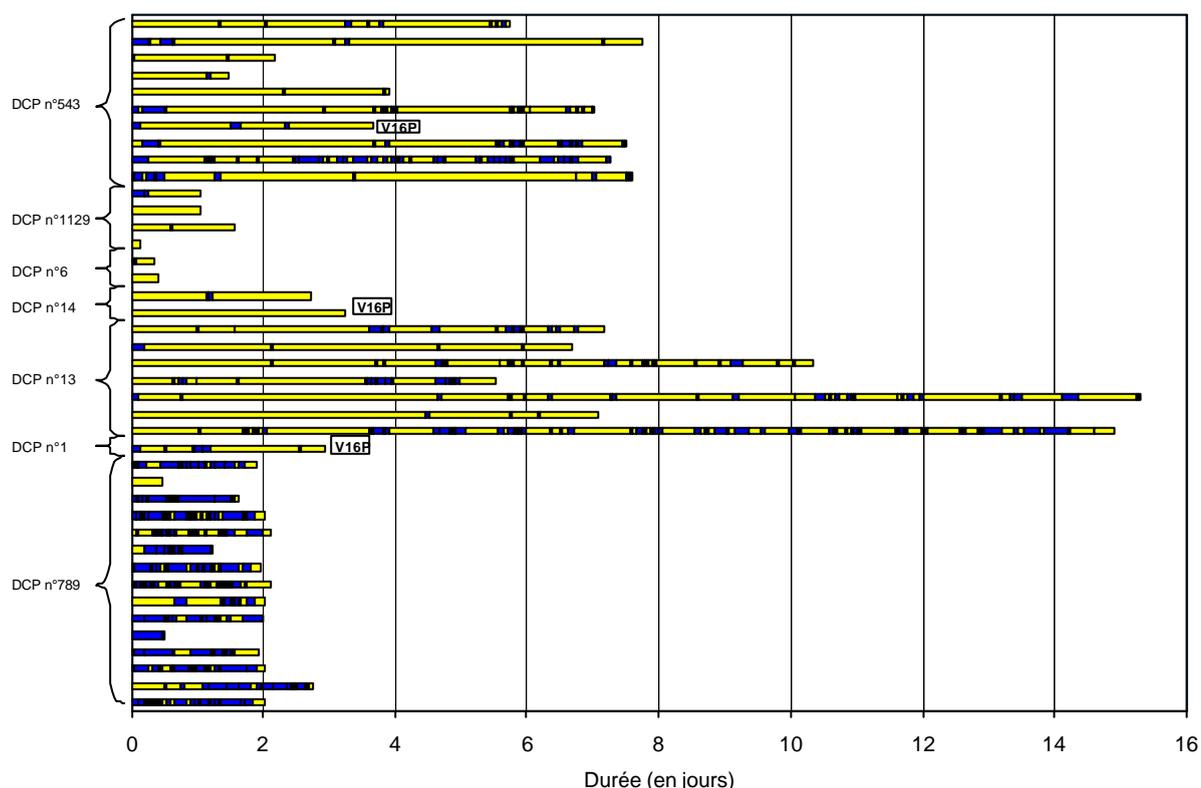


Figure 2.20 : Rythme d'alternance des périodes d'association (en jaune) et d'excursions (en bleu) des dorades coryphènes, comparaison de tous les DCP dérivants étudiés.

Cette figure montre une bonne homogénéité du rythme association-excursion pour l'ensemble des poissons marqués sous tous les DCP sauf pour le n°789. Comme le montrait déjà la figure 2-19, les dorades coryphènes agrégées autour du DCP n°789 se distinguent très nettement des individus observés sous les autres DCP. La fréquence et les durées d'excursion sont beaucoup plus élevées. Pour les suivis effectués sous tous les autres DCP, les excursions semblent se produire sans qu'aucun rythme particulier ne puisse être mis en évidence. Pour certaines dorades coryphènes qui montrent une fréquence d'excursions plus élevée que leurs congénères sous un même DCP, le type de marque utilisée (V8 ou V16P) aurait pu être responsable des différences observées. En effet, les tests ont montré que les marques V8 de puissance inférieure aux marques V16P présentent un rayon limite de détection significativement inférieur (355 m, contre 655 m pour les V16P). Or, si une des 3 marques V16P utilisée n'a effectivement conduit à aucune excursion, les autres montrent des rythmes équivalents à ceux des marques V8. Il n'y a donc probablement pas d'effet « type de marque » mais bien une variabilité inter-individus du rythme d'association/excursion sous le même DCP. Pour étudier plus en détail les excursions des individus d'une même agrégation il faut, d'une part, ne prendre en compte qu'un seul DCP à la fois et, d'autre part, caler tous les graphes de toutes les dorades coryphènes de ce DCP à partir de la même heure. Dans les figures 2-21, 2-22 et 2-23, le point de départ choisi est l'heure de la première détection de la première dorade marquée sous le DCP étudié.

Bien que des dorades coryphènes ont été marquées sous 7 DCP différents, nous détaillerons plus particulièrement les résultats obtenus sous 3 de ces DCP, qui regroupent à eux seuls 67% de tous les marquages réalisés.

DCP n°13

L'agrégation de dorades coryphènes sous le DCP dérivant n°13 mérite une attention particulière. Elle se caractérise par la durée exceptionnelle de l'observation réalisée sous ce DCP dérivant. En effet, ce DCP expérimental n°13 a été mouillé par l'équipe Ifremer à 15 milles de l'île de La Réunion le 29 septembre 2003. Neuf jours plus tard, 7 dorades coryphènes appartenant à un groupe de 25 individus agrégés sous ce DCP ont pu être marquées à l'aide d'émetteurs acoustiques V8 (en externe). Après plusieurs visites pour inventaires sous-marins entre le 8 et le 14 octobre 2003, le DCP n°13 a été laissé en dérive équipé d'une balise Argos et d'une station d'écoute. Il a été récupéré le 30 octobre 2003, soit un mois après sa mise à l'eau et 23 jours après le marquage des dorades coryphènes à 310 milles dans le sud-est de La Réunion (annexe 2). C'est donc sur ce DCP que nous avons enregistré les durées totales d'agrégation les plus longues (figure 2-21), bénéficiant également d'une durée plus longue d'observation. Cette durée a été légèrement supérieure à 15 jours pour deux dorades coryphènes, puis entre 5 et 10 jours pour les autres dorades coryphènes marquées. Toutes les dorades coryphènes avaient quitté le DCP depuis plus d'une semaine lorsque celui-ci a été définitivement récupéré. Cette agrégation a donc été observée en totalité sans aucune intervention humaine jusqu'à l'abandon du DCP par ces dorades coryphènes marquées. Au moment de la récupération du DCP, l'équipage du « Cap Morgane » a capturé une vingtaine de dorades coryphènes et une quinzaine de thons bananes. On remarque que les dorades coryphènes marquées n'ont pas quitté le DCP d'une manière synchrone, seules deux d'entre elles sont parties au même moment après 7 jours d'association.

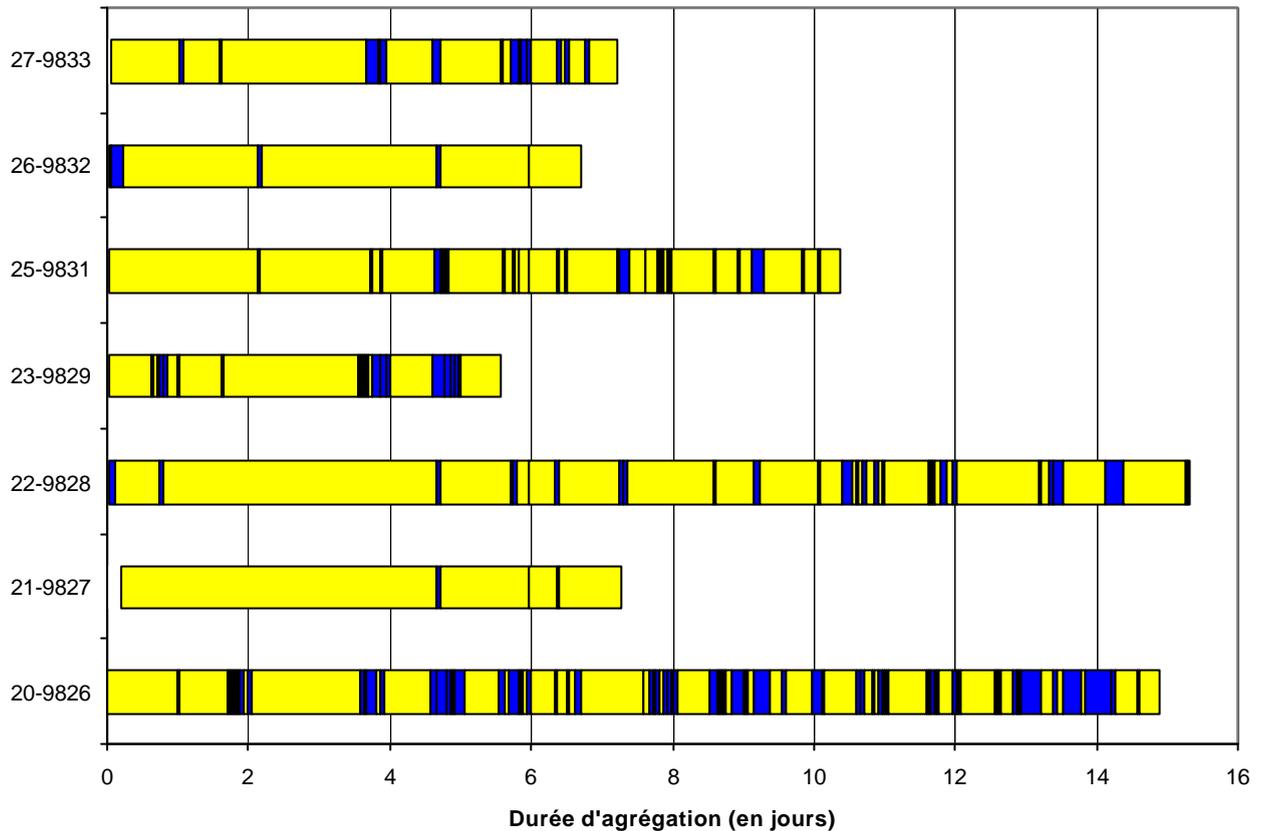


Figure 2.21 : Rythme d'alternance des périodes d'association (en jaune) et d'excursions (en bleu) des dorades coryphènes sous le DCP dérivant n°13.

DCP n°543

Le DCP n°543 a été étudié dans le cadre d'une des campagnes en mer du programme européen FADIO, réalisée dans la partie centre ouest de l'océan Indien. Ce DCP appartenait à un thonier senneur industriel qui a bien voulu nous transmettre les codes de ses bouées pour faciliter nos recherches sur le phénomène agrégatif. Les émetteurs utilisés étaient des V8 à l'exception d'un émetteur V16P (à capteur de pression). L'observation a duré au total 7 jours 17 heures et 40 minutes mais elle a dû être interrompue en fin de campagne (figure 2-22). Comme pour le DCP n°13 précédemment décrit, le DCP n°543 a été laissé en dérive équipé d'une balise HF de repérage et d'une station d'écoute. Néanmoins, 6 des 10 dorades coryphènes marquées ont quitté le DCP dans les 7 premiers jours et seuls 4 individus étaient donc encore agrégés au moment où nous avons laissé le DCP en dérive à l'issue de la campagne. De même que pour le DCP n°13, les départs ne sont pas synchronisés.

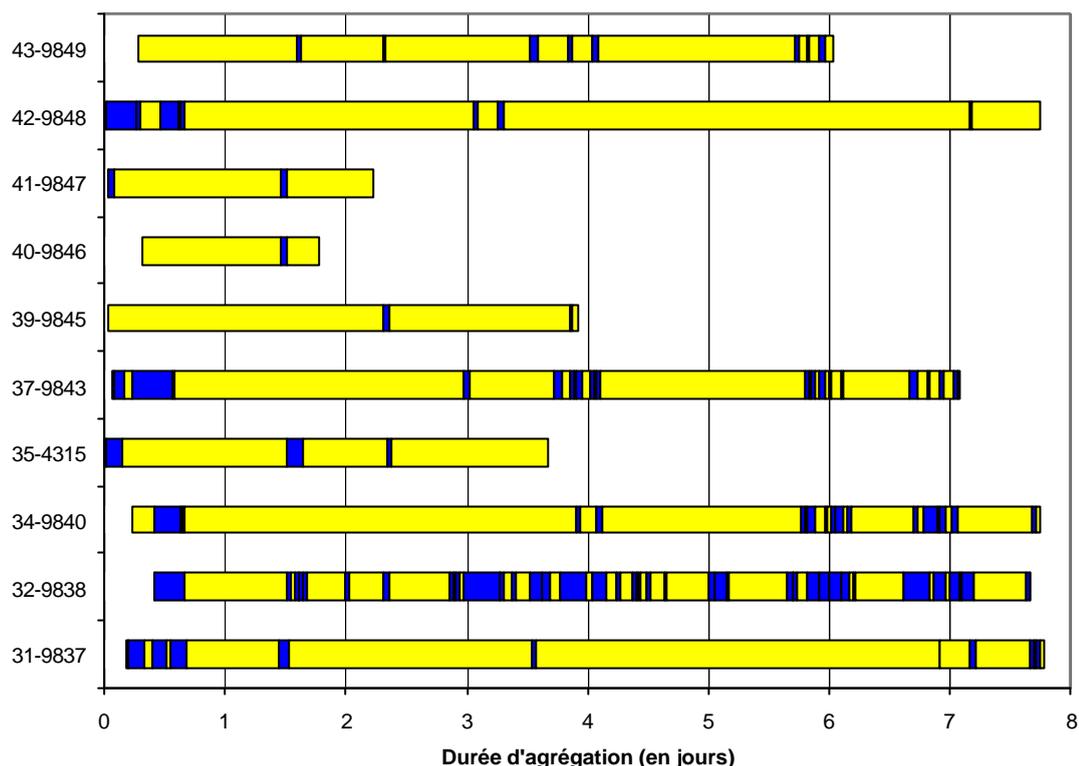


Figure 2.22 : Rythme d'alternance des périodes d'association (en jaune) et d'excursions (en bleu) des dorades coryphènes sous le DCP dérivant n°543.

DCP n°789

Le DCP n°789 a été conçu avec un objectif spécifique. Il s'agissait d'étudier le comportement agrégatif de dorades coryphènes lorsque le DCP se scinde en trois parties équivalentes. Pour cela, nous avons mouillé en dérive, le 16 octobre 2002, à 15 milles dans le nord-ouest de La Réunion, 3 DCP expérimentaux identiques, reliés entre eux par des cordages courts (5 mètres). Après 15 jours de dérive, nous avons marqué avec succès 15 dorades coryphènes sous cet ensemble agrégatif (figure 2-23). Puis nous avons coupé les cordages qui reliaient les DCP entre eux pour les laisser dériver indépendamment les uns des autres. Cette séparation a eu lieu deux jours et demi après le marquage du premier poisson et un jour et demi après le marquage intensif des 13 derniers. Comme nous l'avons remarqué précédemment à l'aide d'autres graphiques, la fréquence et la durée des excursions sous ce DCP sont particulièrement élevées. Pourtant, il apparaît clairement que ce rythme spécifique n'est pas lié à la séparation des DCP puisqu'il est déjà bien établi plus d'un jour et demi avant cette séparation (trait vertical sombre). Par ailleurs, les 2 premiers poissons marqués présentent, jusqu'au 1^{er} novembre à 21 heures, un rythme similaire à ceux observés chez les dorades coryphènes marquées sous les autres DCP. A ce moment l'un des 2 poissons quitte définitivement l'agrégation, alors qu'il n'avait fait jusque là aucune excursion, pendant que le deuxième reste agrégé mais en adoptant un rythme d'excursion très intense. Cette situation plaide en faveur d'une modification brutale de l'environnement qui incite les dorades à s'écarter de plus et en plus souvent de l'ensemble agrégatif.

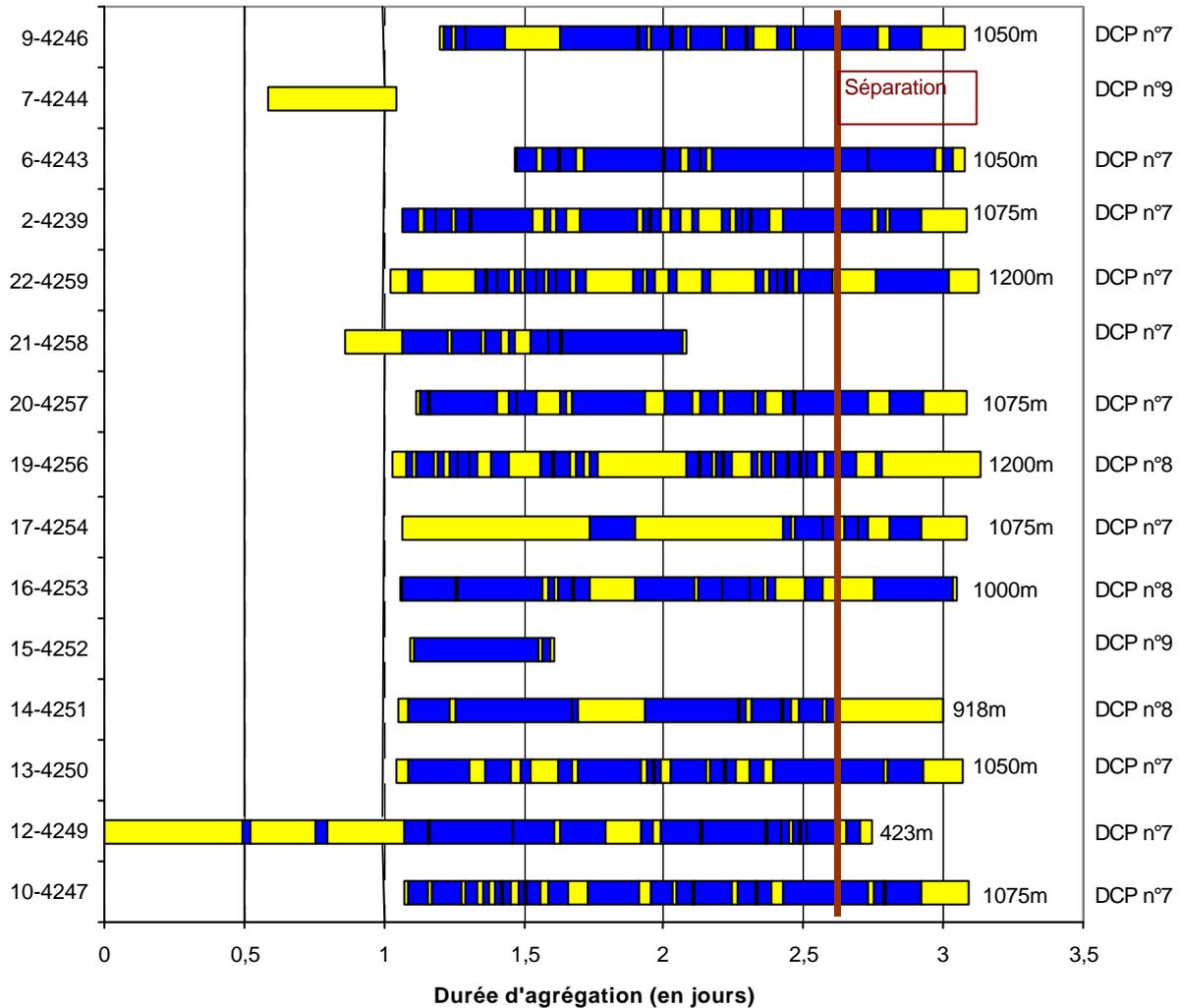


Figure 2.23 : Rythme d'alternance des périodes d'association (en jaune) et d'excursions (en bleu) des dorades coryphènes sous le DCP dérivant n°789, avant et après séparation.

Jusqu'à la séparation des 3 DCP, les dorades coryphènes étaient enregistrées par la même station d'écoute. Au moment de la séparation des DCP, nous avons équipé chacun d'eux avec une station d'écoute afin de pouvoir suivre les 3 nouvelles agrégations générées par cette séparation. Pour réaliser la figure 2-23 nous avons choisi de retenir pour chaque dorade, les données de la station d'écoute pour laquelle l'observation a été la plus longue. Onze dorades coryphènes (sur les 14 restantes, après le départ d'une première dorade avant que les autres soient marquées (n°7-4244) ont quitté leur DCP durant la même période : seulement 3 heures séparent le départ de la première dorade coryphène (n°14-4251) de la dernière (n°19-4256). La distance indiquée sur la figure 2-23 correspond à l'écartement (enregistré par le GPS de la balise Argos) de 2 des 3 DCP dérivants au moment du départ de la dorade coryphène considérée. Malheureusement, le DCP n°9 n'était pas équipé d'une bouée GPS, son écartement avec les deux autres DCP a seulement pu être estimé à l'aide de la bouée goniométrique dont il était équipé et

d'un pointage intermédiaire fait avec le bateau. A l'exception d'une des dorades coryphènes qui a quitté l'agrégation alors que ces 2 DCP étaient encore proches (423 m), pour les autres, le départ définitif intervient alors que les dispositifs sont éloignés d'une distance allant de 918 à 1200 mètres. Par ailleurs, pour plusieurs dorades coryphènes, certaines détections sont enregistrées sur les deux stations d'écoute en même temps alors que les DCP sont écartés d'environ 700 mètres. Compte tenu du rayon limite de détection de l'ordre de 350 mètres pour les marques V8 utilisées lors de cette opération, (si les conditions du milieu étaient identiques à celles des tests), il est probable que ces poissons se situaient alors à mi distance des 2 DCP. Pour tenter de comprendre le comportement des dorades coryphènes, il est intéressant de noter en parallèle, l'évolution des assemblages de poissons sous les 3 DCP avant et après séparation. Avant la séparation, quelques intranatants (3 *Abudefduf* sp.) et quelques petits extranatants (7 *Elagatis bipinnulata*, 23 *Canthidermis maculatus*, 2 *Aluterus monoceros*, 10 *Naucrates ductor*, 1 *Lobotes surinamensis*, 50 *Kyphosus* sp., 30 *Psenes* sp.) étaient répartis sous chacun des 3 DCP. Les circumnatants (50 *Acanthocybium solandri* et 30 *Coryphaena hippurus*) évoluaient autour de l'ensemble agrégatif en passant indifféremment près d'un des 3 radeaux. Dans la soirée du 2 novembre 2002 (soit au plus 16 heures avant la séparation des DCP) le nombre de dorades coryphènes agrégées croît rapidement (entre 17 heures et 20 heures 30), pour atteindre une centaine d'individus dénombrés depuis le bord (pas d'inventaire sous-marin de nuit). Notons que cette arrivée massive de dorades coryphènes coïncide avec le passage à 0,7 mille du DCP, d'un convoi maritime (un cargo de plus de 100 mètres de long tracté par un remorqueur). Nous ne pouvons bien sûr pas affirmer que ces dorades provenaient d'une agrégation accompagnant le convoi maritime, mais sa vitesse lente et la proximité du passage permet de ne pas exclure totalement cette hypothèse. Les inventaires sous-marins suivants auront lieu 2 jours plus tard. En effet, pour éviter de perturber l'expérience de séparation des DCP, nous avons dû quitter la zone avec le navire. Le DCP dérivant n°9 a été le premier visité après la séparation. L'assemblage d'intranatants et d'extranatants n'avait pratiquement pas évolué, comptant 5 dorades coryphènes et 9 thons bananes agrégés pour les circumnatants. Sur le DCP dérivant n°8, bien qu'aucun poisson marqué ne soit présent, on dénombre encore plus de dorades coryphènes et de thons bananes qu'avant la séparation, soit environ une centaine d'individus pour chacune de ces deux espèces et deux espèces supplémentaires parmi les extranatants (50 *Decapterus* sp. et 1 *Sphyræna barracuda*). L'inventaire sous-marin sous le dernier des 3 dispositifs (DCP n°7), révèle la présence de deux très gros prédateurs, un requin mako (*Isurus oxyrinchus*) et un marlin bleu (*Makaira mazara*), de 20 dorades coryphènes (non marquées) et de 31 thons bananes. Un banc de gros calicagères (*Kyphosus* sp.) est également agrégé sous ce DCP. Du fait de la présence des deux gros prédateurs, les calicagères adoptaient une livrée très sombre et un comportement spécifique qui consiste à nager en banc très serré et à se concentrer juste sous le DCP. Ce comportement spécifique de certaines espèces agrégées à l'approche de gros prédateur a déjà été décrit par Gooding et Magnuson (1967). Ces observations comportementales constituent d'ailleurs, un avertissement utile pour les plongeurs observateurs qui ont ainsi connaissance de la présence d'un prédateur de grande taille et donc d'un danger potentiel. En résumé, il est difficile de décrire comment les dorades coryphènes marquées se sont réparties entre ces 3 DCP, car elles ont toutes disparu avant, ou très rapidement après le moment où elles pouvaient encore être détectées simultanément par les 3 stations d'écoute réparties sous les 3 DCP. Il

est néanmoins important de souligner que la somme des dorades répertoriées sous les 3 DCP après séparation était très nettement supérieure au nombre initial d'individus agrégés.

E. Discussion

1. Assemblages sous DCP dérivants

La composition spécifique des assemblages de poissons agrégés sous les DCP ancrés a été étudiée, soit à l'aide de pêches expérimentales à la senne (Hunter & Mitchell 1968, Massuti *et al.* 1999, Deudero *et al.* 1999, Deudero 2001), soit à partir d'observations visuelles (Rountree 1990, Laurans *et al.* 2000, Dempster *et al.* 2002, Nelson 2003), soit encore en ayant recours à ces deux méthodes (Wickham & Russell 1974, D'anna *et al.* 1999). Les études concernant les assemblages d'espèces agrégées sous les objets dérivants d'origine naturelle, comme les algues ou les débris flottants, ont été principalement concentrées sur les intranatants et une partie des extranatants (Hunter & Mitchell 1967, Mitchell & Hunter 1970, Druce & Kingford 1995) car les sennes utilisées pour effectuer les prélèvements étaient de taille réduite, laissant généralement échapper les poissons les plus actifs (Hunter & Mitchell 1967). Les observations sous-marines permettent de réaliser des inventaires en élargissant l'observation à tous les extranatants et aux circumnatants mais quatre conditions doivent être réunies : (1) l'observateur doit perturber le moins possible l'agrégation (observation en plongée libre ou en circuit fermé), (2) le champ visuel doit être suffisant pour tenir compte du plus grand périmètre possible d'agrégation (eau claire), (3) l'observation doit être suffisamment longue (≥ 30 mn) pour tenir compte des excursions faites loin de l'objet par certains poissons agrégés, (4) l'observateur doit bien connaître la faune pour être en mesure d'effectuer des identifications certaines.

A notre connaissance, aucune étude n'avait encore été réalisée sur des DCP dérivants, du type de ceux utilisés par les thoniers senneurs océaniques, à l'aide d'observations visuelles. Bien que les travaux de Druce et Kingford (1995) portent en partie sur des DCP dérivants expérimentaux, la taille de ces dispositifs et les durées d'observations ne permettent pas de comparer les agrégations obtenues avec celles présentes sous les DCP dérivants des thoniers senneurs. Néanmoins, il existe une étude qui fournit des résultats très proches de ceux que nous avons obtenus. Elle a été réalisée en 1967 dans le Pacifique au niveau de l'équateur (entre 150° et 155° ouest) et autour des Iles Hawaii, par Gooding et Magnuson à l'aide d'un radeau muni d'une chambre d'observation sous-marine. Alors que le nombre de taxons susceptibles de s'agréger autour d'un DCP s'élève à 333 espèces appartenant à 96 familles différentes (Castro *et al.* 2002), les listes faunistiques obtenues autour de ce radeau dérivant dans le Pacifique sont quasiment identiques à celles que nous avons observées sous nos DCP dérivants expérimentaux dans le sud ouest de l'océan Indien et autour des DCP dérivants opérationnels des thoniers senneurs dans la zone Centre Ouest de ce même océan. L'inventaire très complet, fourni par Castro *et al.* (2002), de l'ichtyofaune rapportée comme ayant été à quelque occasion que ce soit, agrégée ou associée à tous types de DCP (dérivants ou ancrés, naturels ou artificiels), peut induire un paradoxe. En effet, la diversité de l'ichtyofaune agrégée telle qu'elle est présentée par Castro *et al.* (2002), montre que beaucoup d'espèces

peuvent accidentellement se trouver en situation d'agrégation, particulièrement en zone côtière où la diversité spécifique est plus grande. Mais dans toutes les zones océaniques que nous avons étudiées dans les 10 dernières années (océan Indien, Caraïbes, Pacifique central), les principales espèces agrégées (i.e. une vingtaine – cf. liste faunistique plus haut dans ce chapitre) sont toujours les mêmes. L'agrégation autour de DCP en zone tropicale ou équatoriale, loin des côtes, concerne donc un nombre relativement restreint d'espèces et cette liste faunistique est apparemment identique au sein d'un même océan, et d'un océan à l'autre.

2. Processus de colonisation d'un DCP dérivant

L'étude du processus de colonisation des DCP dérivants montre que les premiers poissons qui s'agrègent sont des juvéniles qui profitent immédiatement de la protection offerte par le DCP. Toutefois, les réactions de plusieurs espèces observées à l'occasion de l'arrivée d'un prédateur montrent que cette fonction de protection ne se limite pas aux juvéniles. Comme Gooding et Magnuson (1967), nous avons observé à plusieurs reprises que les adultes de *Kyphosus sp.*, de *Canthidermis maculatus*, *Elagatis bipinnulata* et de *Coryphaena hippurus* utilisent le DCP comme protection physique en s'en rapprochant le plus près possible dès qu'un de leurs prédateurs survient. Le DCP joue donc un rôle de protection pour plusieurs espèces de tailles différentes. Les intranatants peuvent utiliser le DCP de manière constante comme protection (Fréon & Dagorn 2000), alors que d'autres poissons, comme des extranatants ou des circumnatants, peuvent utiliser le caractère protecteur du DCP de manière ponctuelle.

Le suivi chronologique du processus de colonisation des DCP dérivants montre également que des dorades coryphènes peuvent visiter les DCP dès les premières heures de dérive sans pour autant s'y agréger de façon durable. Ces observations sont tout à fait en accord avec les résultats récents obtenus par Nelson (2003) qui démontre que la présence de premières recrues sous le DCP a un impact positif très fort sur les recrutements suivants. On peut retenir de cette expérience qu'avec des compositions et des abondances de proies potentielles agrégées équivalentes, l'abondance des dorades coryphènes a été différente d'un DCP à l'autre.

3. Le marquage acoustique

Les émetteurs acoustiques et les stations d'écoute ont commencé à être utilisés il y a quelques années pour étudier la dynamique des thons tropicaux autour des DCP ancrés (Klimley & Holloway 1999, Ohta *et al.* 2001), mais cette méthode n'avait encore jamais été utilisée sous des DCP dérivants, ni appliquée à la dorade coryphène. La principale difficulté pour l'étude du comportement agrégatif des grands poissons pélagiques sous DCP dérivants est l'obligation de suivre au large et pendant la plus longue période possible l'objet flottant étudié. Ce type d'étude nécessite donc des moyens hauturiers conséquents. Par ailleurs, une autre difficulté technique survient dans la mesure où l'opération de marquage ne doit pas perturber de façon irréversible l'observation. De plus, le sujet biologique de cette étude (la dorade coryphène) est particulièrement fragile et sensible au stress. C'est la raison pour laquelle plusieurs techniques de marquages ont été testées.

La technique de marquage intra stomacale par l'intermédiaire d'un appât vivant est vraisemblablement celle qui provoque le moins de stress. Malheureusement, cette technique présente certains inconvénients majeurs. Le plus important est la possible régurgitation de la marque qui peut intervenir sous un délai variable (Winger & Walsh 2001). En cas de régurgitation, la marque tombe au fond de l'océan et tout se passe comme si l'individu marqué était parti ou mort alors qu'il peut être toujours présent autour de la station d'écoute. Le deuxième problème majeur de cette technique est la difficulté d'éviter les doubles marquages lorsque plusieurs poissons doivent être marqués sous un même DCP. Compte tenu de la voracité des dorades coryphènes, il est souvent difficile pour le plongeur qui tient l'appât vivant au bout de la ligne, de réagir assez vite pour éviter qu'une même dorade coryphène prenne un deuxième appât. D'autant plus que l'absorption du premier appât est perçue par le poisson marqué comme une récompense qui devient alors moins farouche que ces congénères. Le troisième inconvénient de cette technique est l'impossibilité de mesurer précisément le poisson dont la longueur ne peut être qu'estimée. Enfin, même s'il n'est pas possible de tirer des conclusions immédiates entre les temps de résidence et le succès des techniques de marquage, il est intéressant de constater que cette technique de marquage a conduit aux temps de résidence les plus faibles (fig. 2-17). En conséquence, il n'est pas certain que la technique qui procure apparemment le moins de stress soit la plus adaptée à ce type d'études.

A l'opposé de cette technique, l'implantation chirurgicale des marques dans la cavité intra péritonéale apparaît comme la technique la plus stressante pour le poisson. Néanmoins, elle se révèle être une technique performante sur la dorade coryphène. Les risques de perte de marques sont totalement éliminés, mais certains individus peuvent ne pas supporter le choc opératoire. Cependant, les temps de résidence des individus marqués par cette technique sont parmi les plus élevés.

Le marquage externe à l'aide d'un hameçon apparaît comme une technique rassemblant les meilleurs compromis. Certes, le stress de la capture existe, mais la facilité de pose réduit le temps hors de l'eau de l'animal, et ne demande pas de savoir-faire particulier, à l'inverse de la chirurgie. Ainsi, cette technique peut être facilement utilisée avec succès par de nombreuses personnes. Tout risque de lésion interne est éliminé. Les poissons qui ont montré les temps de résidence les plus longs ont été marqués avec cette technique.

Quatre dorades coryphènes marquées n'ont émis aucun message acoustique qui ait pu être enregistré par les stations d'écoute. L'absence totale de détection indique i) que ces individus ont été relâchés trop loin du DCP et n'y sont pas retournés, ou ii) une défaillance des marques.

Huit dorades coryphènes sont restées agrégées moins de 45 mn après le marquage. Quatre de ces dorades ont été marquées en chirurgie et 4 en externe (hameçon). Ces dorades coryphènes ont pu quitter le DCP sous l'effet du stress, ou mourir après des blessures causées par la capture ou le marquage. Une plongée rapide en profondeur, enregistrée dès la remise à l'eau par les marques V16P portées par 3 d'entre elles, montre vraisemblablement une réaction au stress après le marquage. En plus de cette réaction verticale, il est possible qu'une réaction horizontale ait pu conduire certaines dorades coryphènes à fuir le DCP. On ne peut exclure la possibilité également d'une mortalité post-marquage comme semblent l'indiquer les profils bathymétriques de 3 autres dorades coryphènes équipées de marque V16P. Ces profils proches de la surface pendant plusieurs heures, se terminent par une lente et régulière descente au-delà du seuil de fonctionnement des capteurs de

pression (100 ou 200 mètres selon les séries). Pour ces profils particuliers, de faibles remontées en fin de descente, ressemblant à des soubresauts *pre-mortem*, indiquent qu'il ne peut pas s'agir d'une perte de la marque. Rien ne permet d'identifier la cause de la non réception, ou de la réception de quelques messages acoustiques uniquement, pour certains poissons marqués.

D'une manière générale, cela conduit à la recommandation d'examen très précis de l'état du poisson lors du marquage et avant le lâchage. Si la technique du marquage peut être maîtrisée par beaucoup de personnes, elle nécessite toujours la présence d'un expert habitué à déceler les possibles blessures. Cette expertise doit intervenir en très peu de temps, dans des conditions difficiles. Cette technique de marques électroniques détectées par des stations d'écoute est employée pour des observations à moyen terme, au contraire de possibles suivis actifs de poissons marqués, qui peuvent ne durer que quelques heures. L'objectif de cette méthode est de pouvoir observer le comportement des animaux marqués sur plusieurs jours, voire plusieurs semaines ou mois. En conséquence, il est important de privilégier des techniques qui permettront une rétention longue de la marque. Or, ces techniques (hameçon ou chirurgie) provoquent un stress qu'il est difficile d'évaluer. Ce stress peut s'exprimer sous la forme d'une plongée profonde durant les quelques minutes suivant le marquage mais ne pas modifier le comportement d'agrégation dans les heures ou les jours suivants. En revanche, ce stress peut parfois provoquer un départ des individus marqués. Malheureusement, il est parfois impossible de savoir si les courtes détections après marquages indiquent un départ du DCP suite au stress du marquage, ou correspondent à une mort des individus suite à des blessures provoquées lors de la capture et du marquage. Des études comportementales post-marquage précises permettraient d'améliorer cette technique, parfaitement adaptée aux études comportementales de poissons agrégés autour de DCP.

4. Comportement vertical

Les résultats obtenus avec les marques acoustiques munies de capteurs de pression démontrent pour la première fois avec des mesures directes *in situ* que la dorade coryphène agrégée sous DCP se répartit préférentiellement dans la couche superficielle de l'océan (entre 0 et 5 mètres). Toutefois, nous ne pouvons pas généraliser ce résultat au comportement hors DCP. Le suivi télémétrique d'une grosse dorade coryphène de 124 cm de LF (hors et sous DCP) réalisé récemment dans le cadre du projet FADIO montre qu'il est également possible pour l'espèce de se déplacer pendant plusieurs heures entre 40 et 75 mètres de profondeur. Il n'est donc pas impossible que dans certaines conditions, peut-être uniquement chez de gros individus, la dorade coryphène puisse évoluer à des profondeurs plus importantes que celles où elle évolue habituellement. Une différence de distribution bathymétrique entre les phases agrégées et de nage en banc libre, déjà connue chez les thons (Holland *et al.*, 1990 ; Schaefer & Fuller 2002), pourrait donc également exister chez la dorade coryphène.

5. Temps de résidence

Le temps de résidence des dorades coryphènes au DCP dérivant est une question centrale car elle permet d'évaluer les conséquences du phénomène agrégatif sur la

dynamique spatiale de l'espèce. Nous avons pu mesurer pour la première fois des durées d'agrégation de dorades coryphènes sous objets dérivants. Les valeurs les plus élevées que nous avons obtenues (15 jours) montrent que le déplacement de l'espèce peut être influencé par la dérive d'un objet sur plus de 120 milles lors d'une seule agrégation. Cela conforte les hypothèses de Beardsley (1967) qui postulent que les migrations des dorades coryphènes seraient largement influencées par la circulation des objets dérivants à la surface des océans. Mais il faut également souligner que pour l'ensemble des individus marqués qui sont restés agrégés dans les heures qui ont suivi le marquage, le temps moyen de résidence n'est que de 3 jours et présente une grande variabilité (écart type 3,5 jours). Il faut bien entendu souligner qu'il n'est jamais possible de savoir quand les dorades sont arrivées autour du DCP et que ces données sont donc des sous-estimations de temps de résidence. Cependant, dans la mesure où nous connaissons les âges exacts des DCP que nous avons mouillé (hors FADIO), nous savons que d'une manière générale, une dorade coryphène reste agrégée autour d'un DCP durant quelques jours seulement, ce délai pouvant aller jusqu'à 15 jours. La question reste alors entière sur ce que fait cette dorade coryphène lorsqu'elle a quitté le DCP. S'associe-t-elle rapidement à un autre DCP voisin, ou effectue-t-elle des déplacements libres pendant une certaine période de temps ? Si nous avons prouvé que les dorades coryphènes peuvent dépendre de la circulation des objets dérivants à l'échelle de quelques jours, il n'est pas encore possible d'indiquer si ce comportement est constant, ou s'il existe des périodes longues de non association aux objets flottants.

6. Dynamiques agrégatives

Sur la base des marquages acoustiques, nous avons pu démontrer que la dorade coryphène est très fidèle au DCP dérivant auquel elle s'est agrégée puisqu'elle passe généralement plus de 75% de son temps d'agrégation à moins de 350 mètres du DCP. La grande majorité des individus observés effectuent des excursions de courtes durées plusieurs fois par jour. Il est possible que ce phénomène soit dû à une activité de chasse de courte durée sur des poissons de passage, loin du DCP, hors du périmètre de détection des stations d'écoute. Ce comportement spécifique devra être relié avec les résultats obtenus sur le comportement trophique des dorades coryphènes agrégées (présenté au chapitre suivant). L'absence de différence notable du rythme d'excursion observé sur des individus équipés de marques V8 et V16 (ayant des portées respectives de 365 m et 655 m) montre que le périmètre d'agrégation de l'espèce est globalement inférieur à 365 mètres et que ces excursions s'étendent généralement au-delà de 700 mètres.

Après avoir mesuré des temps de résidence, il faut comprendre pourquoi une dorade coryphène abandonne un DCP. Le suivi des dorades marquées sous le DCP n° 789 apporte des éléments de réponse à cette question scientifique majeure mais très difficile à aborder. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ce comportement d'excursions différent de celui observé autour des autres DCP. La première serait la présence des deux gros prédateurs (le marlin et le requin mako) observés sous l'un des trois radeaux, 5 jours après le marquage des dorades. Il est possible que ces prédateurs fussent déjà présents dans la zone proche des DCP au moment du marquage et qu'ils effectuaient fréquemment des chasses autour du DCP ce qui aurait pu contraindre les dorades coryphènes à s'en éloigner. Une autre hypothèse serait la présence d'un banc important de proies au-delà du périmètre d'agrégation observé. Ces proies auraient pu favoriser la fréquence des excursions

pour des raisons trophiques. L'arrivée d'un important groupe de coryphènes (une centaine) constatée dans la soirée du 2 novembre pourrait également avoir influencé le rythme d'excursion des dorades marquées par accroissement rapide de la compétition trophique autour du DCP dérivant. Cette dernière hypothèse est toutefois peu probable car le rythme élevé des excursions est bien visible dès le 1er novembre au soir alors que l'arrivée massive des nouvelles coryphènes n'intervient que 24 heures plus tard.

Le deuxième point particulièrement intéressant avec le DCP n°789 concerne l'expérience de séparation des trois radeaux. Toutes les dorades marquées ont quitté le DCP très peu de temps après la séparation alors qu'elles sont encore enregistrées simultanément par plusieurs stations d'écoute quelques temps avant. Il est difficile de savoir avec certitude quelle est la raison de ces départs quasi synchrones sur une période de 3 heures. Il pourrait s'agir d'une désorientation des poissons qui étaient agrégés sous l'ensemble constitué par les 3 radeaux depuis plusieurs jours. L'éloignement progressif de ces 3 radeaux pourrait avoir modifié les références spatiales des dorades coryphènes agrégées jusqu'à leur faire perdre définitivement la localisation des 3 radeaux. Cette hypothèse repose malheureusement sur trop d'inconnues en matière notamment de capacités de retour au DCP de la part de la dorade coryphène. Cependant, deux tentatives de suivi télémétrique réalisées sur 2 dorades coryphènes, déplacées à un kilomètre d'un DCP dérivant, n'ont pas conduit à une ré-association (programme FADIO). Ceci pourrait indiquer que la dorade coryphène n'a pas les aptitudes suffisantes pour retrouver un DCP dérivant à plus d'un kilomètre de distance. Mais il faut se garder de tirer des conclusions définitives sur ces expériences préliminaires qui se poursuivent actuellement dans le cadre du programme FADIO.

Comme le montrent les temps de résidence variables, de l'ordre de quelques jours, l'agrégation de dorades coryphènes sous un DCP dérivant apparaît plus comme un processus dynamique intégrant des arrivées et des départs fréquents que comme un processus cumulatif qui conduirait à obtenir un banc de plus en plus important, fidèle à un DCP durant plusieurs semaines. Les dorades coryphènes présentes autour des DCP ne forment pas un groupe homogène dont les individus arrivent et repartent du DCP de manière synchrone. La télémétrie acoustique, couplée aux observations sous-marines, révèle que les agrégations observées apparaissent donc plus comme l'union de petits groupes distincts de quelques individus pouvant avoir des temps de résidence différents. Les préférences sociales au sein de ces groupes (regroupement privilégiés de certains individus entre eux) devront faire l'objet d'études et d'analyses complémentaires pour mieux comprendre si ces différents groupes présents autour d'un même DCP interagissent entre eux, et quelles peuvent être les conséquences de ces possibles interactions. Les observations comportementales ont révélé l'existence de relations sociales au sein de l'agrégation. Le comportement agonistique des individus à l'égard de leurs congénères traduit une forte compétition intra-spécifique. Cette compétition se révèle notamment en présence d'un congénère blessé ou de toute autre proie. La dorade coryphène utilise le DCP pour se défaire de ses parasites en frottant ces flancs contre l'objet flottant, mais des comportements de déparasitage ont également été observés entre différentes espèces. Nous avons pu notamment remarquer lors des observations sous-marines qu'une des principales espèces agrégées, *Elagatis bipinnulata*, agit comme un déparasiteur pour les gros *Decapterus sp.*

Après avoir observé et décrit la dynamique agrégative de la dorade coryphène autour des DCP, nous allons chercher à analyser les raisons de ce comportement. La nutrition qui assure la survie et la croissance de l'individu, ainsi que la reproduction qui assure la pérennité de l'espèce, sont les deux fonctions vitales sur lesquelles repose le comportement animal et en particulier celui des poissons. Sans négliger l'influence que peut avoir la reproduction sur le comportement agrégatif de la dorade coryphène, nous avons choisi de concentrer nos efforts sur le comportement alimentaire car la recherche de nourriture est une nécessité quotidienne à laquelle chaque poisson doit faire face et qui influence nécessairement son comportement de chaque instant.

Chapitre 3 : Le comportement trophique de la dorade coryphène

A. Introduction

L'étude du mécanisme de l'agrégation des grands poissons pélagiques autour des objets flottants repose sur l'examen d'hypothèses de fonctionnement (Fréon & Dagorn 2000 ; Castro *et al.* 2002 ; Dempster & Taquet 2004). Ces travaux tentent généralement de mettre en lumière les avantages, éventuellement adaptatifs, que les poissons peuvent tirer de cette situation d'agrégation. Pour les prédateurs apicaux, l'intérêt alimentaire constitue l'une des toutes premières hypothèses formulées (Kojima 1956). Elle repose sur des observations de dorades coryphènes agrégées, chassant des proies autour de radeaux de bambous ancrés au Japon. Depuis, plusieurs études du comportement trophique de grands poissons pélagiques comme les thons (Brock 1985, Lehodey 1990, Buckley & Miller 1994, Ménard *et al.* 2000) ou la dorade coryphène (Rose & Hassler 1974, Manooch *et al.* 1984, (Pipitone *et al.* 2000, Deudero 2001, Olson & Galvan-Magana 2002, Dempster 2004) ont eu pour objectif de rechercher d'éventuels changements d'alimentation en fonction de la situation d'agrégation (bancs libres ou DCP). Les résultats ne sont cependant pas tous concordants. Pour l'albacore, certains auteurs mettent en évidence des différences significatives sous et hors DCP (Brock 1985, Lehodey 1990, Ménard *et al.* 2000). Ces différences portent notamment sur la proportion plus élevée de crustacés sous DCP. Paradoxalement, ces crustacés ne s'agrègent pas au DCP, ils sont le plus souvent issus de migrations nyctémérales. D'autres auteurs, comme Buckley et Miller (1994) soulignent que les différences observées peuvent être liées à des variations géographiques et saisonnières de l'abondance ou de la disponibilité des proies. Pour les thons, comme pour les dorades coryphènes, l'influence des DCP sur le comportement trophique peut différer en fonction de la taille (Ménard *et al.* 2000) (Rose & Hassler 1974, Massuti *et al.* 1998, Olson & Galvan-Magana 2002).

L'étude du régime alimentaire des poissons agrégés aux objets flottants constitue une priorité pour mieux connaître et mieux comprendre le phénomène agrégatif chez les grands poissons pélagiques, car le facteur alimentaire joue nécessairement un rôle dans ce mécanisme. Il peut être un facteur (1) d'attraction, dès lors qu'une petite quantité de proies a trouvé refuge sous l'objet flottant, (2) de concentration, si la quantité de proies est suffisante pour nourrir les prédateurs agrégés pendant plusieurs jours (hypothèse de concentration de nourriture ; Fréon & Dagorn, 2000), ou encore (3) de désagrégation, lorsque la quantité de proies disponibles n'est pas suffisante autour ou dans le voisinage de l'objet flottant pour satisfaire tous les prédateurs agrégés. En résumé, même si le facteur trophique peut ne pas être la raison majeure de l'agrégation, il a probablement des conséquences directes sur l'attraction, les temps de résidence et la dynamique spatiale des espèces agrégées.

Dans ce chapitre nous cherchons à savoir si la dorade coryphène se nourrit de proies agrégées aux DCP. Cette question est abordée à l'aide d'une méthode nouvelle qui consiste à comparer les taxons observés dans les contenus stomacaux et ceux inventoriés dans le milieu naturel au cours de la même période. Nous analysons également le régime alimentaire de dorades coryphènes issues de divers types d'agrégations (DCP dérivants, DCP ancrés, objets naturels et bancs libres) afin

de tester l'existence de différences de comportement alimentaire entre ces différentes situations.

B. Matériel et Méthodes

Le matériel biologique et les données d'observations sous-marines ont été collectés au cours de plusieurs campagnes en mer dans le sud-ouest de l'océan Indien entre décembre 2001 et novembre 2003 (Figure 3.1). Les dorades coryphènes ont été capturées à l'aide de diverses techniques de pêche (Figures 3.2) et sous divers types d'agrégation (Figure 3.3).

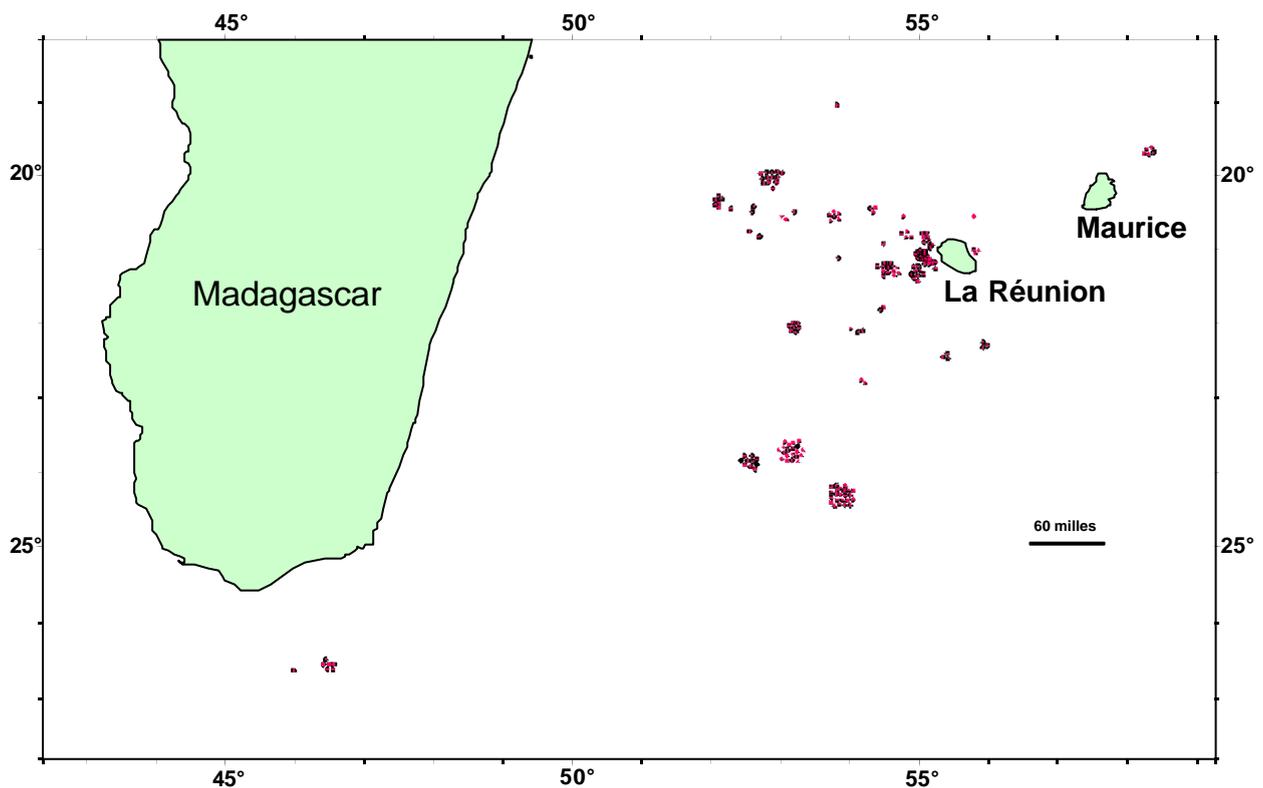


Figure 3.1 : Carte des positions des opérations de prélèvements.

Cet échantillon a été complété par des dorades coryphènes capturées lors d'embarquements de scientifiques du laboratoire ressources halieutiques de l'Ifremer sur des palangriers réunionnais en opération de pêche commerciale dans la zone d'étude.

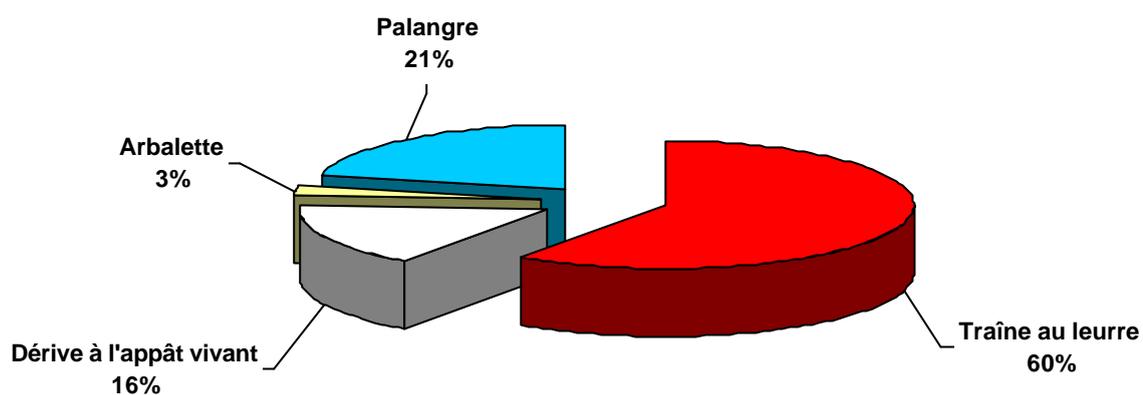


Figure 3.2 : Distribution des dorades coryphènes échantillonnées en fonction de la technique de pêche.

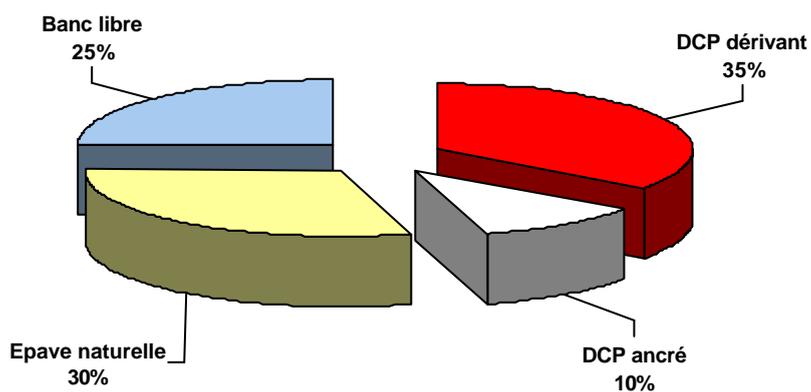


Figure 3.3 : Distribution des dorades coryphènes échantillonnées en fonction du type d'agrégation.

Les individus capturés à la palangre dérivante ont été classés dans la catégorie « bancs libres ». En effet, cette technique de pêche repose sur l'utilisation d'une palangre épipelagique dérivante de grande taille (35 à 40 milles en moyenne – Poisson & Taquet 2001), il ne s'agit donc pas d'opérations de pêche sur agrégation. Néanmoins, le temps de dérive de la ligne étant en moyenne de 10 heures (Poisson & Guyomard 2001), il n'est pas exclu que certains individus capturés avec cette technique aient été agrégés sous un objet flottant naturel au moment de leur capture. De plus, les analyses des contenus stomacaux de poissons pêchés à la palangre dérivante hauturière (*longline*) doivent être interprétées avec précaution. En effet, après capture, les poissons peuvent séjourner pendant de longues périodes avant d'être remontés à bord. Pendant ces périodes, la digestion se poursuit et des régurgitations de proies sont possibles lorsque le poisson se débat après capture. Cette technique de pêche induit donc un risque de sous estimation du nombre de proies et du volume des contenus stomacaux.

1. Analyse des contenus stomacaux

Les estomacs prélevés ont été congelés à bord puis traités au laboratoire à terre. Après décongélation, le poids du contenu stomacal a été obtenu par différence entre le poids de l'estomac plein et le poids de l'estomac vidé de son contenu. Les pesées ont été réalisées à l'aide d'une balance électronique avec une précision de $\pm 0.01g$. Le contenu de chaque estomac a été analysé, après séparation et nettoyage à l'eau de toutes les proies dans un état de digestion compatible avec une identification ultérieure. L'identification a été réalisée au niveau du taxon le plus précis possible à l'aide de clefs de détermination (Collette & Nauen 1983 ; Smith *et al.* 1991 ; Masuda *et al.* 1994) et pour certains spécimens difficiles, avec la collaboration d'autres ichtyologistes (IRD, Université, Aquarium). Un pied à coulisse a été utilisé pour mesurer la longueur standard des poissons, des calmars (manteau) et des crustacés (du telson au rostre). Les otolithes et les becs de calmar n'ont pas été référencés comme des proies récentes et n'ont donc pas été comptabilisés comme telles. Enfin, les proies ont été classées en trois catégories selon leur écologie (Smith *et al.* 1991, Castro *et al.* 2002) : mésopélagiques à migration nyctémérale, épipelagiques non agrégées et agrégées.

2. Inventaires faunistiques sous objets flottants

Les listes faunistiques des proies et des prédateurs agrégés autour des DCP reposent sur 82 inventaires effectués en plongée sous-marine autour des divers types d'objets flottants (DCP dérivants, DCP ancrés et objets naturels). Ces relevés ont été réalisés suivant la méthode décrite au chapitre précédent. Cette méthode a permis d'établir une liste des espèces agrégées sous les objets flottants étudiés et d'en déduire les proies agrégées potentiellement disponibles pour les dorades coryphènes.

3. Analyse des données

L'analyse du comportement trophique a été abordée, en premier lieu, par comparaison des proportions des familles de proies observées dans les estomacs et dans le milieu naturel. Puis, l'Indice Relatif d'Importance (IRI) a été calculé pour évaluer la contribution relative de chaque famille de proies (Pinkas *et al.* 1971) dans

le régime alimentaire de la dorade coryphène. Cet indice peut être établi en référence à la taille des poissons. Il est calculé à l'aide de l'expression suivante :

$$\text{IRI (en longueur)} = (N + L) * F$$

avec $N = N_i / \sum_i N_i \times 100$ $L = L_i / \sum_i L_i \times 100$ $F = F_i / \sum_i F_i \times 100$

N_i : nombre de proie de l'espèce i

L_i : longueur cumulée des N_i proies appartenant à l'espèce i

F_i : fréquence d'apparition de l'espèce i

L'indice relatif d'Importance (IRI) peut également être exprimé en masse (Sabatié *et al.* 2003), en remplaçant la longueur des proies de l'espèce considérée par leur masse.

Dans le présent travail, l'indice IRI a été calculé en référence à la taille des poissons afin de comparer l'importance trophique des différentes proies des dorades coryphènes de l'océan Indien avec des séries du même type, précédemment calculées dans d'autres océans pour la même espèce (Oxenford & Hunte 1999, Dempster 2004). Toutefois, un effort plus important a été consacré à l'analyse de l'IRI calculé en référence aux poids des proies. En effet, pour un prédateur comme la dorade coryphène qui se nourrit sur une large gamme de tailles de proies, cet indice gravimétrique, directement proportionnel à la quantité de nourriture absorbée, décrit mieux les besoins trophiques de l'espèce.

Ainsi, l'IRI en poids a été calculé pour chaque famille de proies observées dans les estomacs des dorades coryphènes en fonction des divers types d'agrégations étudiés : DCP dérivants, DCP ancrés, Objets naturels, bancs libres. Ce tableau, croisant les familles de proies (en lignes) et les types d'agrégation (en colonnes), a été analysé à l'aide d'une ACP centrée afin de comparer l'importance trophique de chaque famille de proies en fonction du type d'agrégation.

C. Résultats

Les contenus stomacaux ont été collectés pour 179 dorades coryphènes (129 femelles et 50 mâles). La composition en taille de l'échantillon de dorades coryphènes étudiées s'étend de 57 à 130 cm de longueur à la fourche. Un regroupement en 4 classes (Figure 3.4) a été réalisé sur la base de la distribution initiale des tailles de l'échantillon.

La proportion d'estomacs vides est de 8.4 % sur l'ensemble de l'échantillon mais il est plus important chez les mâles (18 %) que chez les femelles (< 5 %). Le poids moyen global du contenu stomacal des dorades est de 93 g (écart type 116 g). Les femelles (104 g \pm 124 g) comme les mâles (65 g \pm 86 g) présentent une forte variabilité de ce paramètre et la différence entre les deux sexes n'est pas statistiquement significative (test de Wilcoxon, $p > 0.05$).

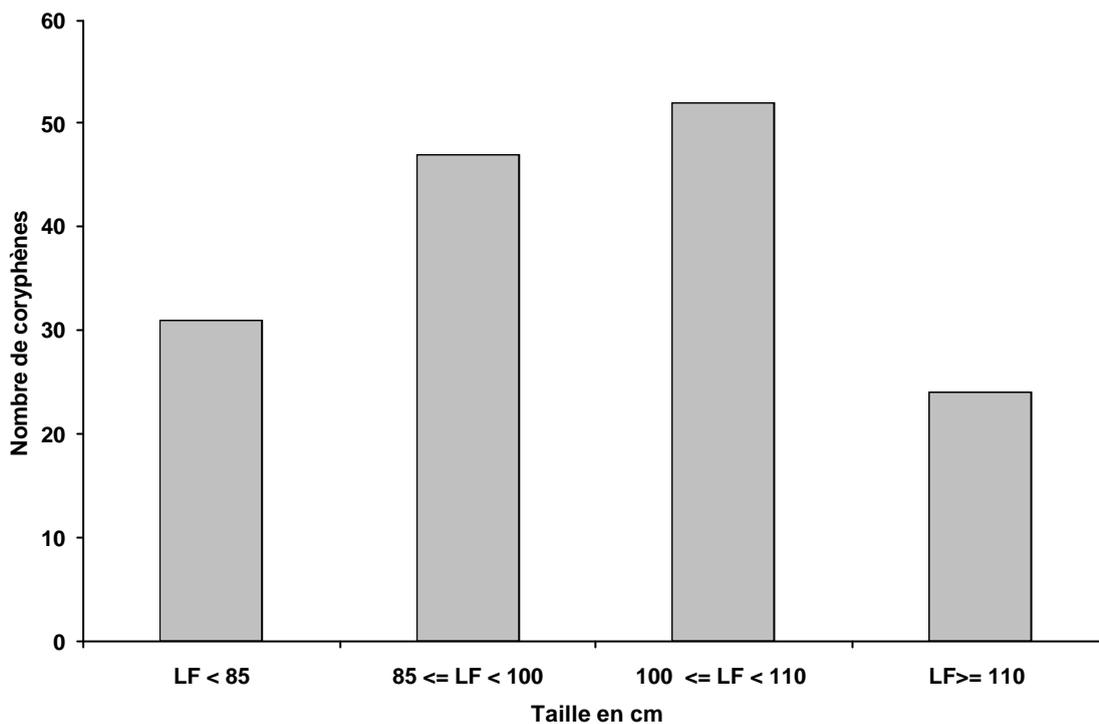


Figure 3.4 : Composition en taille de l'échantillon de dorades coryphènes.

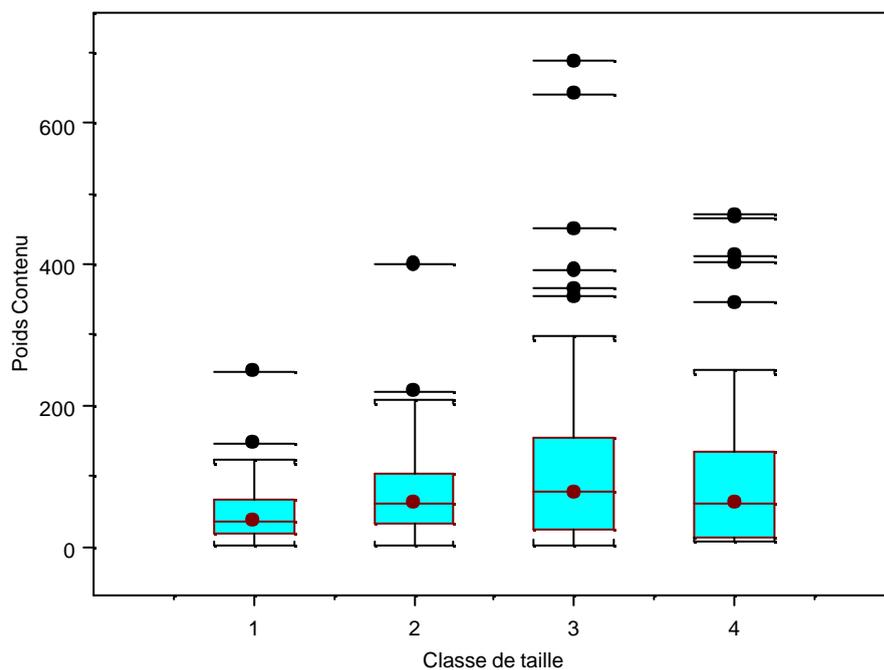


Figure 3.5 : Comparaison du poids (en g) du contenu stomacal en fonction de la classe de taille des dorades coryphènes observées. (1) Lf < 85 cm, (2) 85 cm ≤ Lf < 100 cm, (3) 100 cm ≤ Lf < 110 cm, (4) Lf ≥ 110 cm, (les points rouges représentent la médiane, les noirs les outliers).

On observe graphiquement une tendance à l'augmentation des volumes ingérés avec la taille des individus capturés (Figure 3.5). Toutefois, on observe des variances élevées et inégales pour chaque catégorie et les différences de poids des contenus stomacaux entre les classes de taille ne sont pas statistiquement significatives (test de Kruskal-Wallis, $p > 0.05$).

1. Le régime alimentaire de la dorade coryphène

Un certain nombre de taxons observés ne peuvent pas être considérés comme des proies (Tableau 3-I partie b). La liste des « proies potentielles » observées en situation d'agrégation, lors des inventaires sous-marins, fait apparaître une très faible diversité spécifique (Tableau 3-I). Les 4 premières familles (Tableau 3-I partie a) représentent 98.5% du nombre total de proies potentielles observées en plongée.

Tableau 3.I: Inventaires des familles de proies potentielles (a) et des prédateurs (b) rencontrés sous les divers DCP étudiés.

Famille	Somme	en %
(a) Proies		
Carangidae	4053	52,04
Kyphosidae	2034	26,12
Nomeidae	883	11,34
Balistidae	699	8,98
Pomacentridae	52	0,67
Monacanthidae	45	0,58
Lobotidae	11	0,14
Labridae	5	0,06
Antennariidae	1	0,01
Aulostomidae	1	0,01
Blenneidae	1	0,01
Diodontidae	1	0,01
Echeneidae	1	0,01
Nasidae	1	0,01
Total Proies	7788	100,00
(b) Prédateur		
Scombridae	1738	78,68
Coryphaenidae	462	20,91
Spyraenidae	4	0,18
Carcharhinidae	2	0,09
Balaenopteridae	3	0,14
Total prédateurs	2209	100,00

La figure 3.6 montre que la distribution des taxons observés dans les estomacs est très différente de celle des inventaires dans le milieu. Les différences portent à la fois sur la diversité et la composition faunistique des taxons observés dans les deux cas. Le nombre de taxons ingérés sur la période d'étude est nettement supérieur à celui observé dans le milieu. Par ailleurs, on note l'absence de Kyphosidés dans les

estomacs qui représentent pourtant plus de 26 % des familles observées en situation d'agrégation autour des DCP. De même, la proportion de carangidés consommés (2 %) est beaucoup plus faible que celle observée dans le milieu (52%). A l'inverse, les 4 taxons les plus souvent consommés (Dactyloptéridés, Tétrodontidés, Carapidés et calmars) n'ont jamais été observés dans le milieu lors des inventaires en plongée.

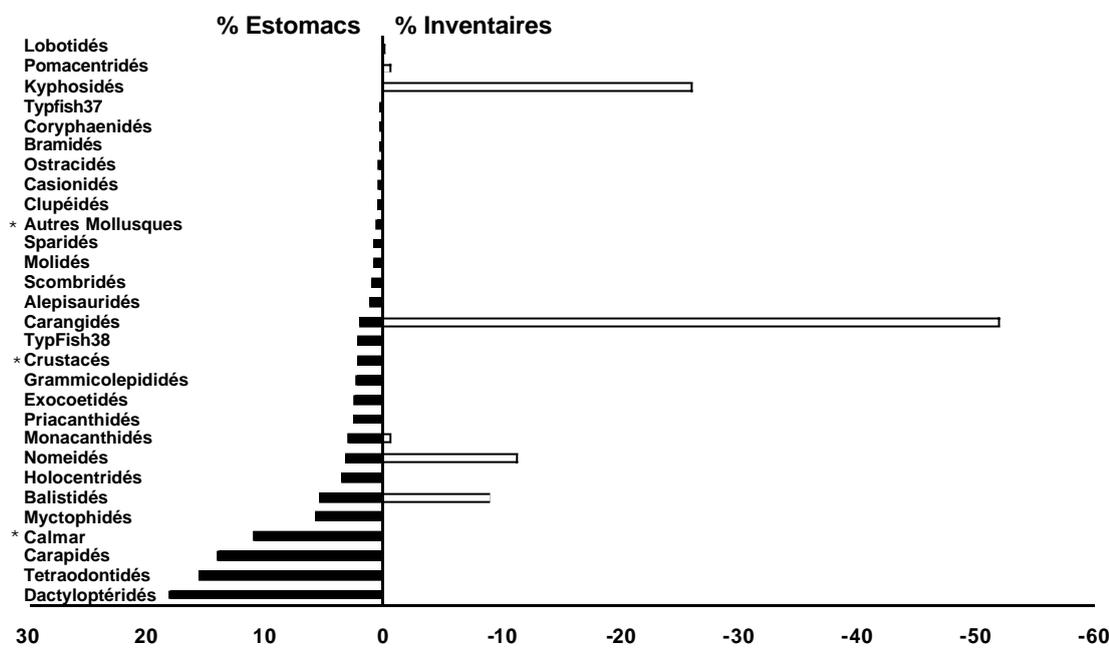
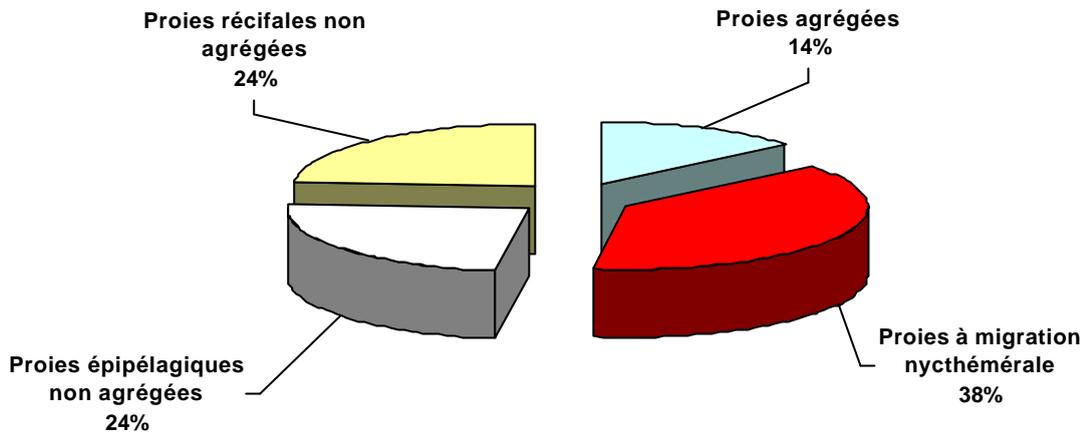
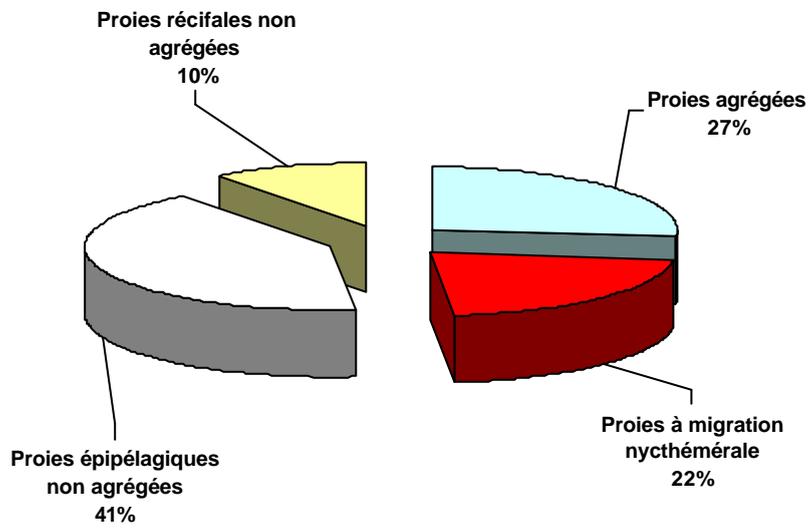


Figure 3.6 : Comparaison en nombre d'individus des familles de proies observées dans les estomacs de coryphènes et dans le milieu naturel (* non poissons).

Ces résultats montrent que la coryphène se nourrit peu de proies agrégées. Cette catégorie de proies ne représente que 14 % en nombre et 27 % en poids (Figure 3.7 - a et b) des espèces observées dans les contenus stomacaux des dorades coryphènes en situation d'agrégation. Ils révèlent également l'importance de deux autres composantes : les proies issues des migrations nycthémerales et les proies épipélagiques de passage qui ne s'agrègent pas (Tableau 3-II). Compte tenu du comportement épipélagique marqué de la dorade coryphène (voir sa distribution bathymétrique au Chapitre 2), les proies issues des migrations nycthémerales ne sont disponibles que la nuit. Le pourcentage de proies de cette catégorie dans le régime alimentaire de la dorade coryphène montre que l'espèce s'alimente aussi bien la nuit que le jour.



(a)



(b)

Figure 3.7 : Proportions en nombre (a) et en poids (b) des proies de la dorade coryphène agrégée, en fonction du compartiment écologique d'origine de ces proies.

Tableau 3.II : Compartiment écologique des familles de proies observées dans les estomacs des dorades coryphènes.

Familles	Compartiment écologique
Balistidés	A
Carangidés	A
Coryphaenidés	A
Monacanthidés	A
Nomeidés	A
Clupéidés	E
Dactyloptéridés	E
Echeneidés	E
Exocoetidés	E
Hemiramphidés	E
Istiophoridés	E
Molidés	E
Scombridés	E
Alepisauridés	N
Bramidés	N
*Calmar	N
Carapidés	N
*Crustacés	N
Gempylidés	N
Grammicolepididés	N
Myctophidés	N
Pentacerotidés	N
Stromateidés	N
Blenniidés	R
Casionidés	R
Chaetodontidés	R
Diodontidés	R
Holocentridés	R
Ostracidés	R
Polynemidés	R
Priacanthidés	R
Serranidés	R
Sparidés	R
Tetraodontidés	R

A = proies agrégées

E = proies épipélagiques non agrégées

N = proies à migrations nyctémérales

R = proies récifales non agrégées

* non poissons

Deux indices relatifs d'importance (IRI en taille et en poids) ont été calculés afin de mieux caractériser l'importance trophique de chaque famille de proies de la dorade coryphène. Le mode de calcul de l'IRI en taille (Tableau 3-III), faisant intervenir la somme des longueurs des proies de chaque famille, il n'est pas surprenant de trouver les Carapidés au 1^{er} rang des proies. Ces poissons ont en effet un corps « serpentiforme ». Ils sont par ailleurs assez fréquents dans les estomacs de dorades coryphènes, ce qui contribue également à augmenter leur indice IRI.

Tableau 3.III : Valeurs de l'indice IRI en taille pour les principales familles de proies observées dans les estomacs de dorades coryphènes.

Familles	Indice IRI en taille	% IRI en taille	Rang IRI en taille
Carapidés	626	36,44	1
Tetraodontidés	350	20,38	2
Dactyloptéridés	273	15,89	3
Calmar	228	13,30	4
Balistidés	61	3,54	5
Exocoetidés	44	2,59	6
Myctophidés	30	1,73	7
Carangidés	20	1,17	8
Monacanthidés	15	0,86	9
Priacanthidés	12	0,72	10
Holocentridés	10	0,59	11
Crustacés	9	0,54	12
Grammicolepididés	8	0,46	13
Nomeidés	8	0,44	14
Scombridés	6	0,36	15
Alepisauridés	6	0,35	16
Type38	6	0,33	17
Molidés	1	0,08	18
Autres Céphalopodes	1	0,05	19
Sparidés	1	0,05	20
Casionidés	1	0,04	21
Clupéidés	1	0,04	22
Coryphaenidés	1	0,04	23

Les valeurs de l'indice IRI en poids (Tableau 3-IV) montrent que 9 familles représentent près de 95% de l'apport nutritif total de la dorade coryphène. Parmi celles-ci, il apparaît que les 5 familles les plus importantes dans le régime trophique des dorades coryphènes (~ de 84% de l'apport nutritif total) sont des proies non agrégées aux DCP. Elles sont soit épipélagiques, soit issues de migrations nycthémerales.

Tableau 3.IV : Valeurs de l'indice IRI en poids pour les principales familles de proies observées dans les estomacs de dorades coryphènes.

Familles	Indice IRI en poids	%IRI en poids	Rang IRI en poids
Tetraodontidés	347	24,54	1
Calmar	293	20,68	2
Dactyloptéridés	225	15,93	3
Carapidés	197	13,94	4
Exocoetidés	126	8,89	5
Balistidés	63	4,43	6
Carangidés	40	2,82	7
Scombridés	29	2,06	8
Myctophidés	23	1,63	9
Monacanthidés	12	0,87	10
Priacanthidés	11	0,78	11
Nomeidés	9	0,64	12
Holocentridés	8	0,59	13
Crustacés	8	0,57	14
Grammicolepididés	7	0,48	15
Alepisauridés	4	0,30	16
Type38	4	0,30	17
Coryphaenidés	3	0,25	18
Molidés	2	0,13	19
Autres Céphalopodes	1	0,07	20
Sparidés	1	0,05	21
Casionidés	1	0,05	22

2. Le Régime alimentaire en fonction du type d'agrégation

La comparaison des régimes alimentaires de la dorade coryphène dans différentes situations d'agrégation a été abordée à l'aide de deux descripteurs. Premièrement de façon globale, à partir du poids des contenus stomacaux. Deuxièmement, en fonction de la valeur nutritive des proies, en calculant les valeurs des indices IRI (en poids) des différentes familles de proies consommées dans les 4 situations étudiées : sous DCP dérivants, sous DCP ancrés, sous objets naturels, en bancs libres.

De manière générale, ce sont sous les DCP dérivants que l'on trouve (1) la plus grande variabilité et (2) le plus grand nombre de fortes valeurs du poids des estomacs (Figure 3.8). A l'opposé, c'est dans les bancs libres que le poids des contenus stomacaux semble le plus faible. Rappelons que les dorades classées dans la catégorie « bancs libres » sont majoritairement des poissons capturés à la palangre dérivante lors d'opérations commerciales. Compte tenu de la longueur des palangres utilisées, il est possible qu'une faible proportion des individus ainsi capturés ait été malgré tout agrégée sans que cette information soit connue.

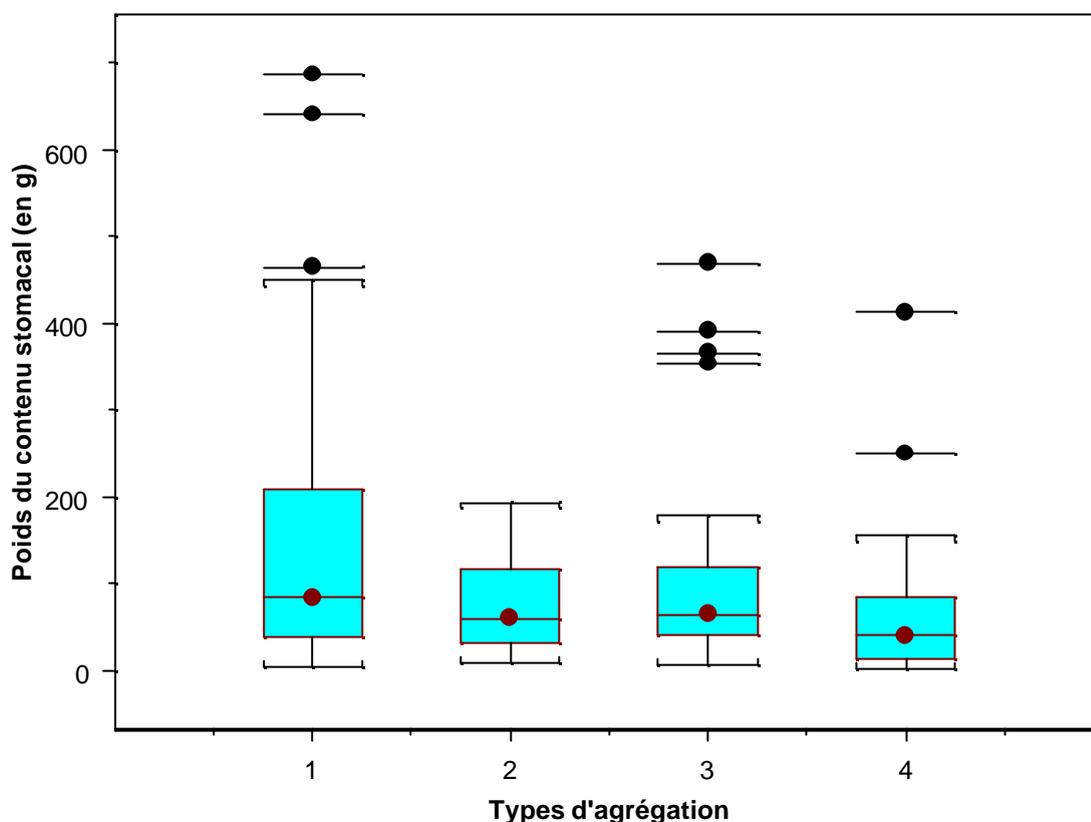


Figure 3.8 : Distribution du poids des contenus stomacaux de la dorade coryphène en fonction du type d'agrégation : (1) DCP dérivants, (2) DCP ancrés, (3) épaves naturelles, (4) bancs libres. (Les points rouges représentent la médiane et les noirs les outliers).

Au sein des bancs libres, les coryphènes ont ingéré un nombre moyen de proies par taxon beaucoup plus faible (Figure 3.9). Par contre la diversité des proies est comparable avec les résultats obtenus en agrégation. On note également que les Monacanthidés sont beaucoup plus consommés sous DCP ancrés. Ce résultat peut être la conséquence d'une moindre protection pour les intranatants (comme les Monacanthidés) sous les DCP ancrés qui n'offrent pas de caches réellement efficaces. On remarque que sous les épaves naturelles, le nombre moyen de Noméidés et d'Holocentridés consommés est plus important que dans les 3 autres types d'agrégation. En banc libre, on trouve également peu de Dactyloptéridés, mais pas d'autres proies de substitution. On observe un déficit de calmars sous les DCP ancrés alors que la proportion de Myctophidés est importante pour ce même type d'agrégation.

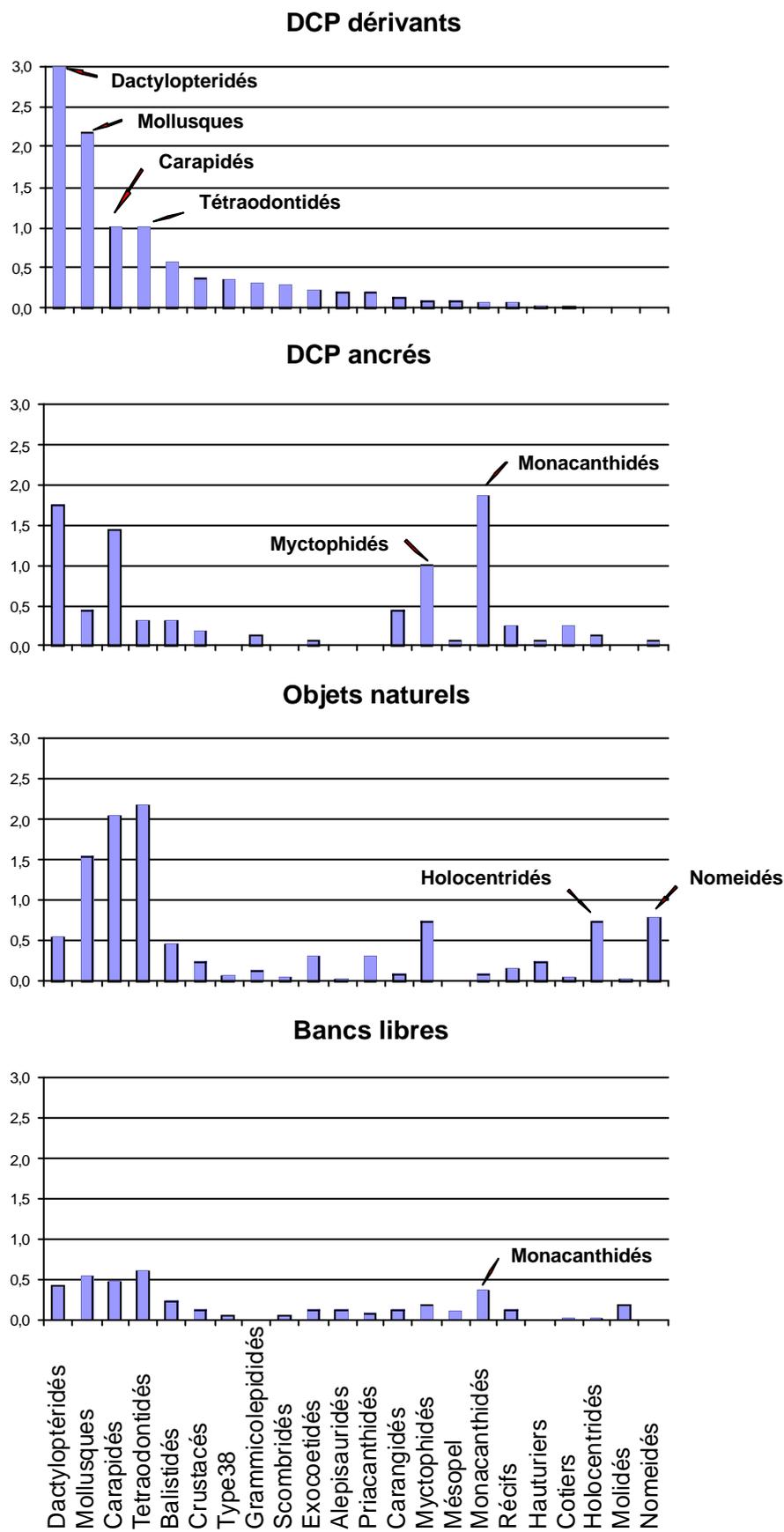


Figure 3.9 : Importance relative des familles de proies (en nombre moyen d'individus par estomac), selon le type d'agrégation.

Une Analyse en Composante Principale (ACP) centrée a été réalisée afin d'analyser l'importance trophique de chaque famille de proies en fonction du type d'agrégation (Figure 3.10). Les DCP dérivants, les objets naturels et les bancs libres sont responsables de l'axe 1 (57.8 % de l'inertie totale). Cet axe est essentiellement lié à trois familles de poissons épipélagiques non agrégées (Tetraodontidés, Dactyloptéridés et Exocoetidés) et à deux familles de proies à migration nyctémérale (Ommastrephidés et Carapidés). Les DCP ancrés sont responsables de l'axe 2 (28.7 % de l'inertie totale). Outre les Dactyloptéridés et les Carapidés, cet axe est caractérisé par deux familles de proies agrégées (Carangidés et Monacanthidés). Par opposition avec les trois autres types d'agrégation, l'axe 2 révèle la très faible importance des Tétraodontidés, voire même des calmars et des Exocoetidés dans le régime alimentaire de la dorade coryphène agrégée sous DCP ancrés. La figure 3.11 permet de préciser les caractéristiques du régime alimentaire selon les différents types d'agrégation. On note que c'est en l'absence des proies les plus importantes (calmars sous DCP dérivants et Tétraodontidés sous objets naturels et bancs libres) que la proportion de proies agrégées augmente considérablement (carangidés au premier rang des proies sous DCP ancrés). Par ailleurs, on observe que c'est sous objets naturels et en bancs libres que les indices d'importance trophique présentent les plus fortes similarités. La similitude entre objets naturels et bancs libres peut être liée à un biais dans l'expérimentation car les dorades coryphènes comptabilisées dans les bancs libres sont principalement issues de pêche à la palangre. Pour ce type de pêche, il est certain que les captures ne sont associées ni aux DCP dérivants ni aux DCP ancrés. Par contre, compte tenu de la taille des palangres, il est possible qu'une partie des dorades aient été capturées dans le rayon d'agrégation d'un objet naturel.

D. Discussion

L'étude du régime alimentaire des poissons agrégés aux DCP reste un thème de recherche encore peu développé. Parmi les 406 références de FADbase, une dizaine de publications concernent le régime alimentaire des poissons agrégés aux DCP et seulement 4 d'entre elles traitent spécifiquement ou partiellement de la dorade coryphène (Pipitone *et al.* 2000, Deudero 2001, Olson & Galvan-Magana 2002, Dempster 2004). Parallèlement, plusieurs auteurs ont étudié le régime alimentaire de la dorade coryphène (Ommanney 1953, Williams 1956, Hida, 1973, Rose & Hassler 1974, Bannister, 1976, Manooch *et al.* 1984, Zavala-Camin, 1991, Sakamoto *et al.* 1993, Buckley 1992, Campos *et al.* 1993, Massuti *et al.* 1998, Potoschi *et al.* 1998, Oxenford & Hunte 1999) mais sans spécifiquement tenir compte de leur situation à l'égard de l'agrégation aux objets flottants. L'originalité de notre étude repose sur l'utilisation complémentaire d'analyses de contenus stomacaux et d'inventaires sous-marins. Les estomacs étudiés proviennent de dorades coryphènes capturées le plus souvent en fin de campagne en mer, c'est à dire à l'issue d'une période d'une dizaine de jours, au cours de laquelle plusieurs inventaires journaliers ont été réalisés. Les proies agrégées, potentiellement disponibles dans le milieu pour les prédateurs, ont donc bien été répertoriées.

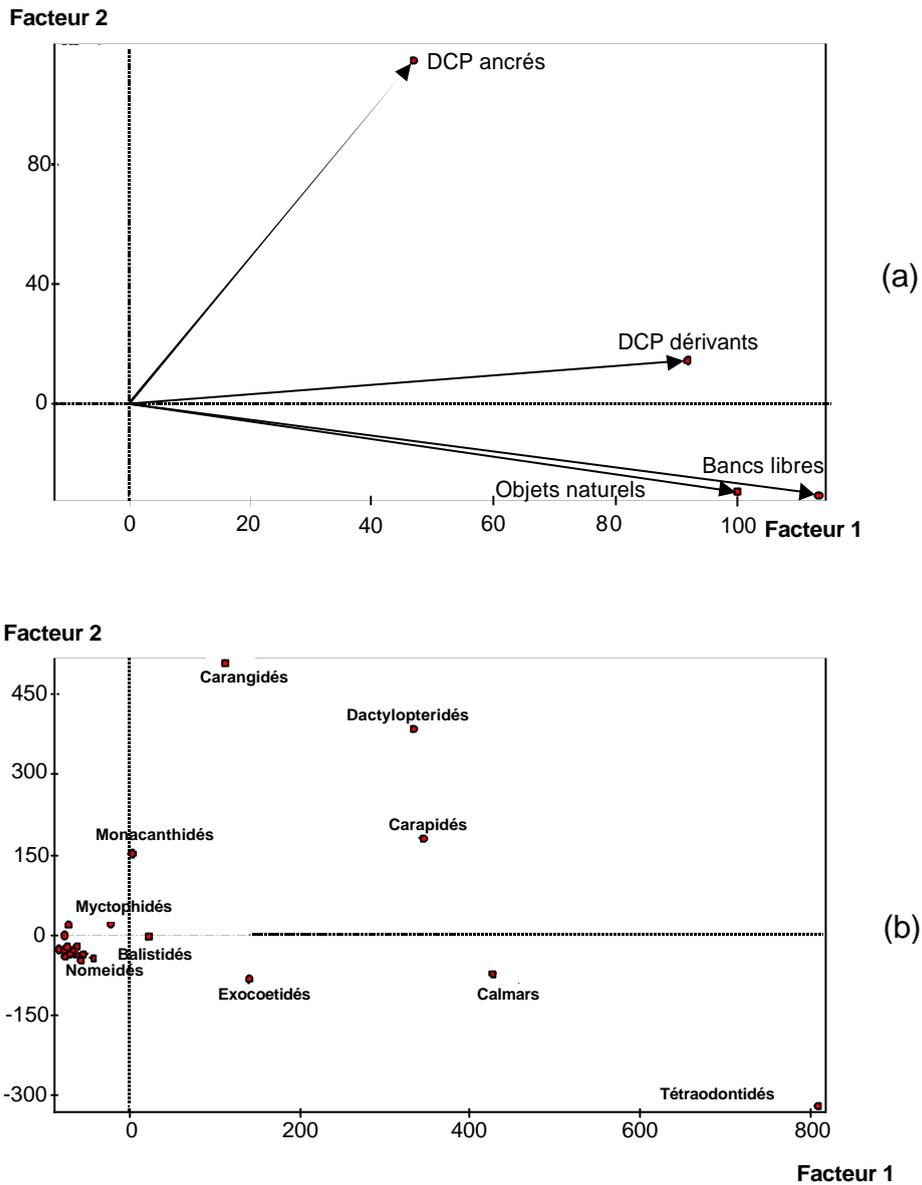


Figure 3.10 : Variation de l'importance relative des familles de proies dans le régime alimentaire des dorades coryphènes en fonction du type d'agrégation. Projection (a) des types d'agrégation et (b) des indices IRI (en poids) des familles de proies sur le premier plan factoriel de l'ACP centrée (axe 1 : 57.8 %, axe 2 : 28.7%).

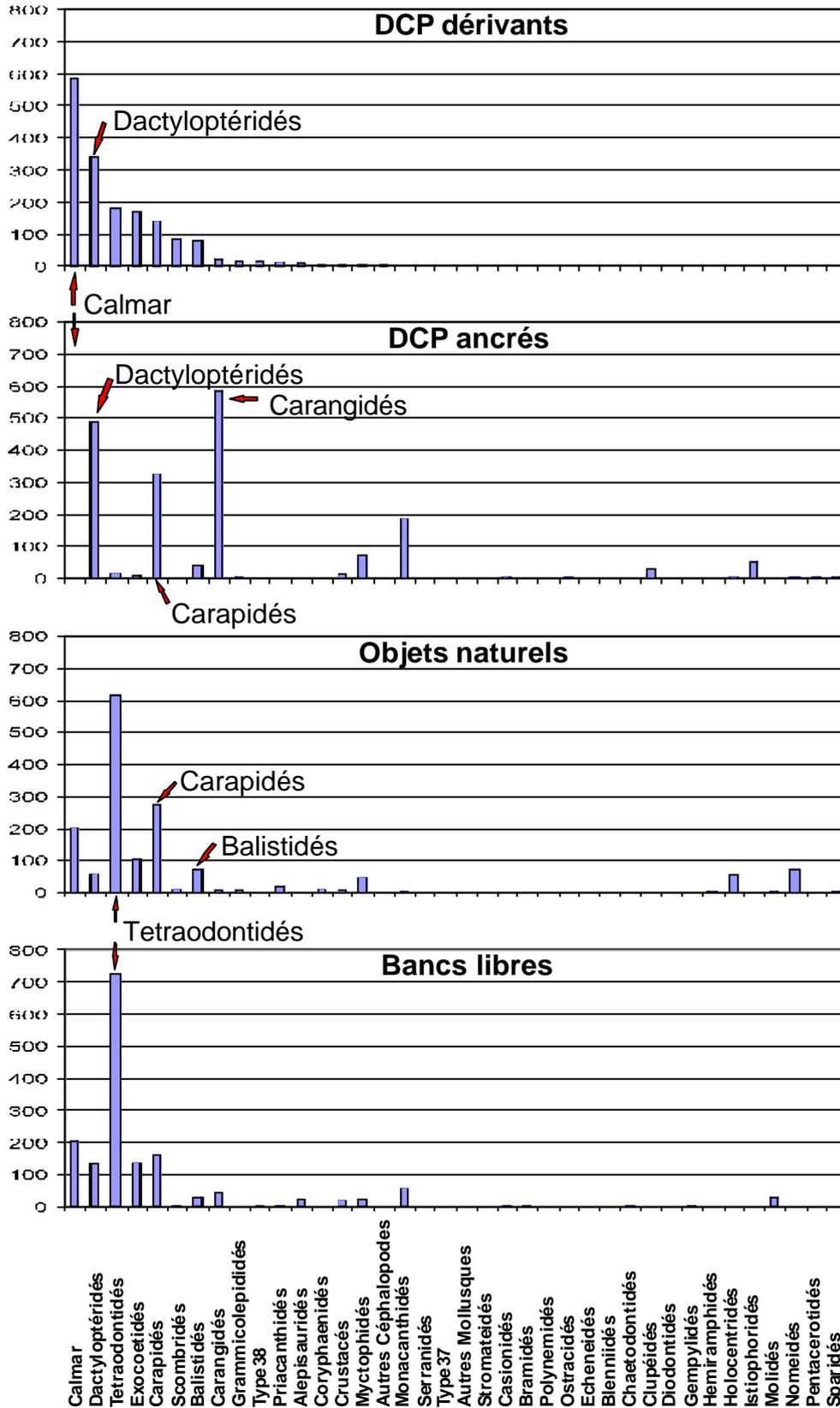


Figure 3.11 : Importance relative des familles de proies, exprimée par les valeurs de l'indice IRI en poids, en fonction du type d'agrégation.

1. Principales caractéristiques du régime alimentaire de la dorade coryphène.

Plusieurs descripteurs peuvent être utilisés pour comparer le comportement trophique de la dorade coryphène dans différentes régions du monde. Le pourcentage d'estomacs vides est l'un des descripteurs disponibles dans la plupart des études sur le comportement alimentaire des poissons. Sa valeur dans notre étude (8.4%) pour les deux sexes confondus, est assez voisine de celle obtenue par Oxenford et Hunte (1999) dans les Caraïbes (10 à 11 %). Elle est également comparable pour les dorades coryphènes de Caroline du Nord au cours de deux années d'études (7 à 10 % - Rose & Hassler 1974) mais les auteurs précisent qu'une troisième année d'étude a mis en évidence un pourcentage d'estomacs vides bien plus élevé (40 %) dû à l'absence de « ligne de marée »² cette année là. Dans d'autres régions, la proportion d'estomacs vides est importante, 27% aux Baléares (Massuti *et al.* 1998), 50% sur la côte est de l'Australie (Dempster 2004) et 54% sur la côte est du Pacifique (Olson & Galvan-Magana 2002). Une caractéristique générale de ce descripteur est sa forte variabilité suivant les lieux, les heures, les saisons de prélèvements mais aussi en fonction de la taille des dorades coryphènes considérées. Il faut noter qu'à l'exception de la pêche à la palangre, toutes les autres techniques de prélèvements des échantillons de dorades coryphènes reposent sur l'usage d'objets flottants naturels ou artificiels (dérivants : Olson & Galvan-Magana 2002 ; ou ancrés : Dempster 2004, Massuti *et al.* 1998). La variabilité du régime alimentaire observé peut donc être fortement influencée par la nature et la position (côte *versus* large) du dispositif d'agrégation. Le nombre, la fréquence d'apparition, la taille et le poids des proies ingérées représentent quatre autres descripteurs intéressants pour évaluer l'activité trophique d'un prédateur. Ils sont généralement calculés pour chaque type de proies avec des regroupements taxinomiques de niveaux variables. Le niveau « famille » est le taxon le plus souvent utilisé. Il correspond à un bon compromis entre les possibilités d'identification des proies partiellement digérées et la cohésion des caractéristiques écologiques des sous taxons ainsi regroupés. Comme dans les Caraïbes (Oxenford & Hunte 1999) et en Australie (Dempster 2004), nos résultats confirment l'importance, dans l'océan Indien, des juvéniles de poissons de la famille des Dactylopteridés (grondins volants : 1^{er} rang en nombre) dans l'alimentation de la dorade coryphène. Dans notre région, les poissons volants (Exocoetidés) arrivent au 1^{er} rang en poids. Cela correspond bien également aux habitudes alimentaires des dorades coryphènes dans d'autres régions du monde (Caraïbes : Oxenford & Hunte 1999 ; Caroline du Nord : Rose et Hassler 1974 ; Pacifique Est : Olson & Galvan-Magana 2002). Pour les deux autres régions de référence étudiées (les Baléares et la côte est australienne) les poissons volants ne sont pas classés parmi les proies préférentielles. Il faut toutefois noter que les études dans ces deux dernières régions ont été réalisées sur des échantillons de coryphènes juvéniles (Lf < 60 cm : 87% pour les Baléares et 99% pour la côte est de l'Australie). Cette remarque est très importante, car selon Rose et Hassler (1974) il

² Les «lignes de marée» encore appelées «lignes de courant » ou « Rèl » en créole, sont des lieux d'accumulation de débris, d'algues et d'objets flottants. Ils forment un sillage que les pêcheurs remontent à la recherche de poissons pélagiques (dorades coryphènes, wahoo, voiliers, ...).

existe une corrélation positive entre la taille des dorades coryphènes et la taille de leurs proies. Ces auteurs précisent que les poissons volants et les petits thonidés (Scombridés) n'intéressent que les plus grosses coryphènes. Les individus de petite taille n'ont probablement pas les capacités physiques et énergétiques suffisantes pour s'attaquer à des proies aussi rapides. Bien que nos observations aient porté sur une large majorité de coryphènes de taille moyenne et toujours supérieure à 60 cm de longueur à la fourche (voir figure 3.4), c'est bien chez les plus grands individus que l'on trouve les poissons volants. L'intérêt des dorades coryphènes pour les poissons volants peut trouver une explication possible dans le comportement agrégatif de ces derniers. En effet, la plupart des espèces de poissons volants pondent des œufs démersaux (sauf genre *Exocoetus*) qui doivent donc être déposés sur un support flottant lorsque la ponte a lieu au large (Hunte *et al.* 1995, Stevens *et al.* 2003). Leur reproduction est donc entièrement dépendante des objets flottants. Il est possible que les jeunes dorades coryphènes, connues pour leur très forte tendance à l'agrégation au stade juvénile (Beardsley 1967, Palko *et al.* 1982), côtoient les poissons volants lors de leur phase de reproduction sans avoir les aptitudes physiques pour les chasser. Après avoir acquis un stade de développement suffisant (LF > 60 cm), les dorades coryphènes deviendraient capables de chasser les poissons volants et ainsi quitteraient plus facilement les petits objets flottants présents en zone côtière pour effectuer de plus grandes migrations vers les zones océaniques. Cette hypothèse est cohérente avec les observations réalisées en Caraïbes (Oxenford & Hunte 1983, Murray 1985, Taquet *et al.* 2000) et en Méditerranée (Morales-Nin *et al.* 2000). Dans ces études, le suivi mensuel de la croissance des cohortes de jeunes individus, montre une relative sédentarité de l'espèce dans les zones côtières concernées avant un départ en migration vers les zones océaniques hauturières.

Les calmars constituent également des proies très importantes dans notre région (2^{ème} rang en poids et 4^{ème} en nombre). Ce type de proie est également très important dans le Pacifique Est (Olson & Galvan-Magana 2002) et dans une moindre mesure dans les Caraïbes. Or, dans ces études comme dans le présent travail, une partie des échantillons provient de zones océaniques au large où les calmars sont plus abondants qu'en zone côtière (Roper *et al.* 1984). La différence d'importance trophique des calmars, observée dans les diverses études, pourraient donc provenir des caractéristiques océanographiques de la zone de prélèvement (côte ou large). Plus qu'un réel changement de comportement alimentaire en fonction des régions étudiées, elle refléterait donc une différence de l'abondance ou de la disponibilité de ce type de proie. Les crustacés apparaissent seulement au 9^{ème} rang en nombre et sont insignifiants en poids. Cette position des crustacés dans le régime alimentaire des dorades coryphènes doit être reliée également à la taille des individus traités. Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait qu'un changement de régime alimentaire intervient entre la phase juvénile (LF < 60 cm) et la phase adulte (Rose & Hassler 1974, Massuti *et al.* 1998, Olson & Galvan-Magana 2002). Les crustacés prennent une part beaucoup plus importante chez les petites dorades coryphènes, en particulier des petits crustacés qui s'agrègent aux objets, aux algues et aux débris flottants. La fréquence de divers débris et de morceaux d'algues flottantes dans les estomacs des jeunes coryphènes montre qu'à ce stade de développement, les proies agrégées jouent un rôle important dans le régime alimentaire de l'espèce (Rose et Hassler 1974, Massuti *et al.* 1998, Oxenford & Hunte 1999). Il existerait

donc un changement de comportement trophique qui pourrait correspondre à un changement de comportement agrégatif entre les phases juvéniles et adultes (Taquet *et al.* 2000). Tous les auteurs s'accordent désormais à reconnaître la capacité de la dorade coryphène à s'alimenter aussi bien de nuit que de jour. Certaines proies classées dans les espèces profondes à migration nyctémérale (Myctophidés, Carapidés, Alépisauridés) confirment ce comportement. De plus, nos observations visuelles de nuit autour du navire de recherche, en dérive, nous permettent de confirmer une importante activité trophique des dorades coryphènes pendant la majeure partie de la nuit. Cette activité trophique a pu être favorisée à certains moments, par la présence de quelques sources lumineuses à bord (feux de sécurité du navire). Mais des tests sur de longues périodes, tous feux éteints, ont montré que l'activité persistait même avec une très faible lueur de lune.

2. Les coryphènes se nourrissent-elles de proies agrégées ?

L'observation *in situ* de toutes les espèces agrégées autour du DCP, au cours des inventaires sous-marins réalisés juste avant la capture des échantillons de dorades coryphènes, apporte un éclairage nouveau sur le comportement agrégatif de l'espèce. En effet, selon certains auteurs, la dorade coryphène ne serait pas un prédateur sélectif (Gibbs et Collette 1959). Elle s'attaquerait à toutes les proies disponibles. Dès lors, la différence des régimes trophiques observés, refléterait principalement la différence de composition des assemblages d'espèces dans les diverses régions étudiées (Manooch *et al.* 1984). Comme le précise Rose et Hassler (1974), la non sélectivité du comportement trophique de la dorade coryphène, soutenue par Gibbs et Collette, mérite d'être reconsidérée car il faut connaître les espèces de proies réellement disponibles dans le milieu pour s'assurer que la dorade coryphène opère une sélection. Nos résultats sur ce point ne laissent aucun doute. Plusieurs familles ou espèces de proies très abondantes et omniprésentes sous les DCP, ne sont jamais attaquées ou seulement en très petite proportion par les coryphènes (Kyphosidés, Pomacentridés, Carangidés de l'espèce *Caranx sexfasciatus* notamment). Au-delà de cette sélectivité, nous formulons l'hypothèse suivante : **à l'âge adulte, la dorade coryphène ne se nourrit de proies agrégées que d'une manière opportuniste, lorsque les proies libres préférées ne sont pas disponibles.**

En effet, nos résultats montrent que le nombre de proies agrégées, comme les Nomeidés, augmente en absence de Dactylopteridés (nourriture préférentielle mondiale de la dorade coryphène). On observe également que l'importance (en poids) des proies agrégées de la famille des Carangidés augmente considérablement lorsque les calmars sont absents. Le nombre de Myctophidés, proies provenant de migrations nyctémérales, augmente également en absence de calmar.

Les proies de la dorade coryphène proviennent donc en grande majorité, soit de poissons épipélagiques non agrégés (Exocoetidés, Dactyloptéridés), soit d'espèces profondes issues de migrations nyctémérales.

3. Différence de régime alimentaire en fonction des types d'agrégation

La faible activité trophique observée pour les dorades coryphènes en bancs libres pourrait être la conséquence d'une recherche active d'objets flottants. Il faut toutefois rappeler que les dorades répertoriées en bancs libres ont été, dans une large proportion, capturées à la palangre dérivante de surface. Les dorades coryphènes capturées sur l'engin en début de pêche poursuivent leur digestion pendant toute la période de calée et de virage à bord de l'engin, sans toutefois s'alimenter. Dès lors, une réduction du nombre de proies et du poids du contenu de l'estomac peut intervenir par digestion entre la capture et le prélèvement de l'estomac.

Les différences de régime trophique entre les diverses situations d'agrégation étudiées confirment la capacité de la dorade coryphène à compenser l'indisponibilité de ses proies préférées par un report vers d'autres proies habituellement moins convoitées et notamment vers des espèces agrégées.

Parmi les 4 types d'agrégation, 2 sont d'origine anthropique (dérivants et ancrés) et deux autres sont d'origine naturelle (objets naturels et bancs libres). On observe une différence assez nette de régime trophique entre les situations naturelles (bancs libres et objets naturels) et les situations d'agrégation générées par l'homme. La différence de comportement trophique observée pourrait être le résultat d'une contrainte écologique subie par l'espèce du fait de sa propension à l'agrégation. Le pourcentage élevé d'estomacs vides dans certaines situations (Massuti *et al.* 1998, Dempster 2004, Olson & Galvan-Magana 2002) peut révéler un effet du « Piège écologique » (Marsac *et al.* 2000, Taquet *et al.* 2000). Les DCP d'origine anthropique pourraient être implantés dans des zones naturellement peu favorables à l'alimentation des dorades coryphènes. Cette hypothèse est confortée par les temps de résidence particulièrement faibles et le taux de renouvellement élevé des dorades coryphènes généralement observé autour des DCP ancrés (voir Chapitre n°2).

Chapitre 4 : Synthèse et perspectives

A. Synthèse du comportement agrégatif et trophique de la dorade coryphène

L'étude du comportement agrégatif de la dorade coryphène nous a conduit à nous intéresser à la composition spécifique des assemblages d'espèces sous les DCP dérivants. La similitude des listes faunistiques obtenues dans des zones de caractéristiques océaniques pourtant nettement différentes, montre que le phénomène agrégatif est d'une surprenante stabilité du point de vue de la présence des principales espèces concernées. En revanche, l'abondance de certaines espèces comme *Canthidermis maculatus*, *Kyphosus sp.*, *Elagatis bipinnulata*, *Coryphaena hippurus* est plus forte dans les eaux hétérotrophes que dans les eaux oligotrophes. Si cette relation mérite d'être examinée plus en détail, ce résultat montre pour la première fois que l'abondance relative de certaines espèces sous DCP (particulièrement intranatants et extranatants) pourrait servir comme indicateur de richesse des zones océaniques inter tropicales. La notion d'indicateurs de l'état de certains écosystèmes est devenue une priorité (cf. symposium international, « *Quantitative ecosystem indicators for fisheries management* »³ Paris, avril 2004) et nous apportons ici une nouvelle voie de recherche par la mise en œuvre, par exemple, de DCP dérivants standardisés.

1. L'hypothèse du "garde manger"

Le rôle protecteur du DCP, déjà suggéré par plusieurs auteurs, a été confirmé par des observations comportementales sous-marines enregistrées sur support vidéo dans le cadre de cette étude. Il a été mis en évidence pour diverses échelles de taille du couple prédateur proie, allant jusqu'aux prédateurs apicaux (Globicephale, coryphène). Pourtant, la protection contre le prédateur ne semble efficace pour la proie chassée que lorsque sa taille lui permet de se cacher réellement à l'intérieur de l'objet flottant (donc pour les petits intranatants). Cette efficacité, bien réelle au stade juvénile pour la plupart des espèces agrégées, aurait pu conduire à une sélection naturelle de ce comportement au cours de l'évolution. La tendance de certains poissons adultes, présents au stade juvénile autour de DCP, à rechercher la protection des objets flottants en cas d'attaque d'un prédateur serait alors l'héritage de ce comportement juvénile, conséquence d'un meilleur taux de survie de la part des jeunes poissons ayant le mieux développé cette stratégie de protection.

Pour étudier le comportement agrégatif de la dorade coryphène, objectif central de cette thèse, nous avons privilégié l'approche descriptive, pré requis indispensable à toute étude future pour comprendre et expliquer le comportement. Des émetteurs acoustiques détectés par des stations d'écoute, habituellement utilisés sur des dispositifs ancrés, ont pour la première fois été utilisés sous des objets dérivants pour étudier le comportement de la dorade coryphène. Ces outils nous ont permis notamment d'acquérir les premières données et connaissances sur le lien qui existe entre la dorade coryphène et l'objet flottant. La durée d'agrégation globale autour d'un même objet dérivant observée au cours de cette étude se situe en moyenne

³ <http://www.ioccg.org/workshop/quantitative.pdf>

entre 3 et 4 jours. Cette durée présente toutefois une grande variabilité, la plus longue agrégation étant de 15 jours. Par contre, pendant cette période d'agrégation, la dorade coryphène reste très fidèle à son objet flottant. **Elle reste à moins de 300-400 m de cet objet flottant pendant plus de 75% de sa durée d'agrégation.**

Par ailleurs, nos résultats montrent que les dorades coryphènes effectuent de temps à autres des excursions qui les éloignent à plus de 700 mètres du DCP. L'existence même de ces excursions à plusieurs centaines de mètres de l'objet flottant apporte une réponse formelle à une interrogation majeure en terme de comportement agrégatif. La dorade coryphène semble, en effet, capable de se ré-associer à un objet flottant et donc de le retrouver à partir d'une distance très largement supérieure à la portée maximale visuelle dans l'eau. Cela signifie qu'il existe chez cette espèce un processus sensoriel qui lui permet de s'orienter pour revenir au DCP et que ce processus fonctionne sur une échelle supérieure ou égale à 700m. Ces excursions, qui ne présentent pas de rythme particulier en fonction de l'heure du jour, pourraient avoir un lien direct avec l'activité trophique de l'espèce. En effet, l'étude du comportement trophique a montré que la dorade coryphène se nourrit principalement de proies épipelagiques non agrégées (poissons volants notamment). Nous émettons donc l'hypothèse suivante : **les excursions fréquentes, de courtes durées, effectuées par les dorades coryphènes loin de leur DCP, correspondraient à la poursuite de proies épipelagiques de passage dans la zone périphérique de l'agrégation.** Cette hypothèse formulée sur la base des résultats du marquage électronique et de l'analyse des contenus stomacaux, est confortée par les caractéristiques des chasses réalisées par les dorades coryphènes à plusieurs centaines de mètres du DCP et observées en surface du bord, notamment pendant les opérations de pêche expérimentale à la traîne.

Le caractère sélectif du comportement trophique de la dorade coryphène constituait un point de désaccord dans la littérature scientifique. La combinaison de deux méthodes d'observations complémentaires (observations sous-marines et analyse des contenus stomacaux) nous a permis d'apporter une contribution à ce débat. Nos résultats montrent que la dorade coryphène est capable de changer de proies en fonction de leur disponibilité dans le milieu (Noméidés - Dactylopteridés, Carangidés - calmars) mais que certaines proies potentielles omniprésentes sous les DCP comme les Kyphosidés, sont systématiquement délaissées. De plus, il apparaît très clairement que les proies agrégées ne représentent certainement pas la source d'alimentation préférée des dorades coryphènes (seulement 14% en nombre et 27% en poids). L'écologie des différentes proies consommées par la dorade coryphène lorsqu'elle est agrégée nous a conduit à formuler l'hypothèse suivante : **à l'âge adulte, la dorade coryphène ne se nourrit de proies agrégées que d'une manière opportuniste, lorsque les proies libres préférées ne sont pas disponibles.** Le DCP pourrait donc jouer un rôle de **réserve alimentaire** pour la dorade coryphène, utilisée uniquement en cas de faibles abondances de proies non agrégées, qu'elles soient épipelagiques ou migrantes (DSL, *Deep Scattering Layer*). Cette nouvelle proposition, concernant le comportement agrégatif de la dorade coryphène, que nous pourrions désigner sous l'appellation d'« **hypothèse du garde-manger** » (figure 4.1), correspond bien au comportement observé de l'espèce qui après avoir chassé avec succès des poissons épipelagiques de passage, revient fidèlement à proximité immédiate de son objet dérivant.

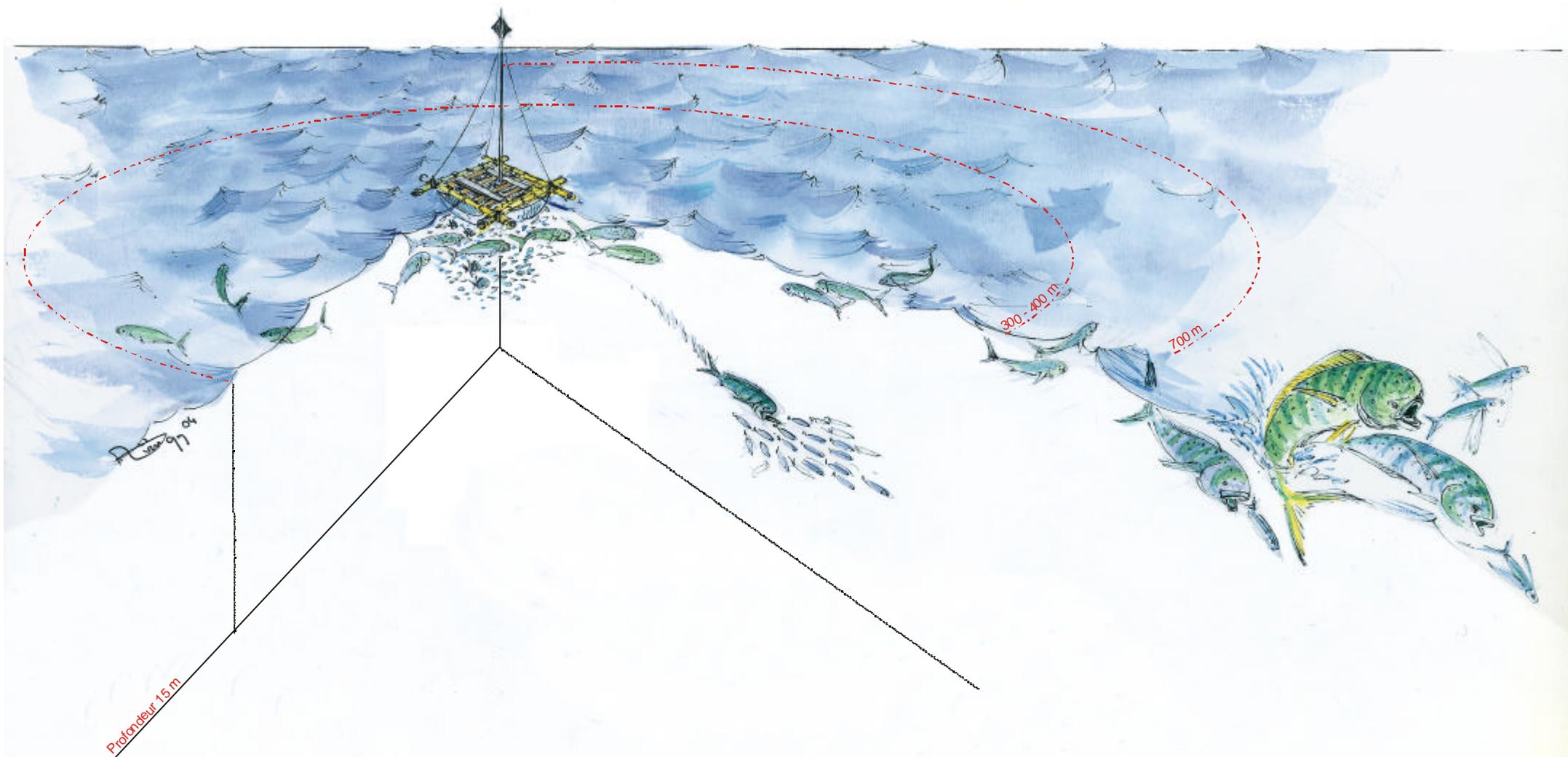


Figure 4.1 : Le comportement agrégatif et trophique de la dorade coryphène, l'hypothèse du "Garde manger" illustrée par une aquarelle réalisée par Alain Diring.

Cette hypothèse peut alimenter le débat sur les différentes théories de l'agrégation. Elle rejoint l'hypothèse du log-indicator (Stuntz 1981, Hall 1992, Bakun 1996), qui indique que le DCP peut être un indicateur d'une zone favorable. Les prédateurs présents sous un DCP ne s'alimenteraient pas sur les proies agrégées, mais sur les proies présentes dans la zone océanique dans laquelle se trouve le DCP. Ceci correspondrait exactement au comportement trophique des dorades coryphènes. Les dorades coryphènes seraient-elles capables de récolter des informations sur la richesse d'une zone, à partir de l'examen des intranatants et extranatants présents autour d'un DCP, tout comme nous l'avons remarqué à une échelle différente ? Même si nous ne pouvons pas aller trop loin dans cette voie, cela conforte l'idée d'étudier de manière plus approfondie les possibles relations entre, d'une part, la composition spécifique et abondance autour des DCP et, d'autre part, les caractéristiques biotiques et abiotiques de la zone où ils se trouvent.

Si l'hypothèse du « meeting point » (Dagorn & Fréon, 1999 ; Fréon & Dagorn, 2000) constitue l'autre théorie la mieux soutenue actuellement par la communauté scientifique pour expliquer l'agrégation des espèces grégaires comme les thons, nos résultats montrent que cette théorie n'est pas immédiatement transposable aux dorades coryphènes. En effet, les bancs agrégés sont très probablement constitués d'individus ou de plusieurs petits groupes d'individus qui s'agrègent et se désagrègent de manière asynchrone sans que nous ayons pu montrer que ce processus puisse jouer un rôle structurant dans la constitution d'un nouveau banc de taille plus importante. Cependant, si ces dynamiques de groupe apparaissent complexes, nous n'avons pas pu mesurer exactement la taille des groupes arrivant au DCP ou le quittant. Des études plus poussées sur le comportement grégaire de cette espèce sont nécessaires, en particulier pour mieux examiner si le DCP, en plus de son rôle de garde-manger, ne pourrait pas également intervenir sur le comportement grégaire.

Le caractère épipélagique de la dorade coryphène agrégée a pu être mesuré par des observations directes *in situ*. Les résultats confirment que l'espèce est présente dans les 5 premiers mètres sous la surface pendant plus de 95% de son temps lorsqu'elle est agrégée à un DCP dérivant. Une partie au moins des rares excursions en profondeur enregistrées peut être reliée également à un comportement de chasse sur des proies présentes à plus grande profondeur. Toutefois, nous avons observé et filmé à plusieurs reprises une attitude spécifique exprimée généralement par un petit groupe d'individus (mâles + femelles) qui consiste à nager très lentement, couché sur le flanc, en effectuant de lentes descentes et remontées entre 0 et 30 mètres. Cette attitude spécifique pourrait faire partie d'un comportement lié à la reproduction mais malheureusement rien ne permet, à ce stade, de confirmer cette hypothèse.

2. Ontogénie du comportement agrégatif de la dorade coryphène

Si notre étude permet de décrire le comportement des dorades coryphènes autour des DCP, il reste à trouver quelle est l'ontogénie de ce comportement.

Les algues et les débris flottants jouent un rôle majeur pour la survie des juvéniles de plusieurs espèces de poissons en leur offrant à la fois une protection physique contre les prédateurs et en concentrant un grand nombre de petites proies indispensables à leurs besoins trophiques (Ida *et al.* 1967, Mitchell & Hunter 1970, Dooley 1972, Manooch *et al.* 1984). La dorade coryphène fait partie des espèces qui profitent de

cette opportunité dès les premiers stades de sa vie. Le taux de survie des jeunes dorades coryphènes qui ont la chance de rencontrer des objets flottants doit nécessairement être plus élevé compte tenu de ce double avantage en terme de protection et d'alimentation. Au cours de l'évolution, la sélection naturelle a très probablement favorisé le développement de ce comportement agrégatif qui procure un avantage certain en terme de survie pour les poissons de petite taille pour lesquels, d'une part, la protection est réellement efficace et, d'autre part, la taille et le nombre de proies agrégées offrent une contribution significative à leurs besoins trophiques. Pour la dorade coryphène qui présente une des croissances les plus rapides de tous les poissons, le besoin trophique devient important dès les premiers mois de vie. L'augmentation de ce besoin trophique pourrait conduire les individus à se déplacer d'un objet flottant à l'autre pour assurer leur survie. Ce comportement qui consiste à remonter les « lignes de marée » (ou Rèl en créole), en passant d'un débris flottant à l'autre, a été constaté pour les jeunes dorades coryphènes dans diverses régions du monde (Rose & Hassler 1974, Taquet *et al.* 2000). Ce comportement pourrait conduire les jeunes dorades coryphènes à avoir une distribution plus côtière que les adultes, là où les débris et les objets flottants sont généralement plus nombreux et plus concentrés. Il expliquerait cette relative sédentarité des individus dans une région donnée qui offre la possibilité de suivre des cohortes dans les pêcheries côtières de juvéniles aux Caraïbes et en Méditerranée notamment (Oxenford & Hunte 1983, Murray 1985, Morales-Nin *et al.* 2000, Taquet *et al.* 2000). Au delà d'une certaine taille, le besoin trophique ne pourrait plus être satisfait par les petites proies agrégées sous les objets flottants en zone côtière. Les individus les plus voraces pourraient dans un premier temps, s'éloigner de l'objet flottant en effectuant de temps à autres des excursions à la poursuite de proies de passage. Puis, comme le suggère Rose et Hassler (1974), les individus les plus robustes pourraient alors quitter définitivement les objets flottants des zones côtières (lignes de marée) pour aller chasser plus au large des proies plus grosses (Rose & Hassler 1974). Les poissons volants (Exocoetidés, nourriture importante pour la dorade coryphène à l'échelle mondiale) pourraient jouer un rôle majeur dans ce changement de comportement agrégatif. En effet, ces derniers utilisent les débris flottants comme support pour leurs œufs. Les gros individus s'approchent donc des objets flottants au moment de la ponte. Il pourrait exister un seuil de taille à partir duquel les dorades coryphènes auraient les capacités physiques suffisantes pour s'attaquer aux poissons volants et pourraient donc commencer à les poursuivre au-delà des agrégations. D'un point de vue évolutif, ce comportement sélectionnerait encore plus les individus à forte croissance, ce qui est compatible avec la biologie de l'espèce caractérisée par une croissance exceptionnellement rapide.

L'ensemble du processus décrit, du stade post larvaire au stade adulte, pourrait conduire à sélectionner naturellement les individus ayant le comportement réellement observé au cours de cette étude, c'est-à-dire : une forte tendance à l'agrégation (survie initiale des juvéniles), de bonnes capacités de détection des objets flottants (processus sensoriel adapté) et enfin un comportement trophique opportuniste basé à la fois sur des poissons épipelagiques en bancs libres, de proies issues de migrations nyctémérales et d'espèces agrégées.

Le taux de renouvellement des dorades coryphènes, assez élevé et variable d'une agrégation à l'autre, pourrait être la conséquence de compétitions trophiques intra et interspécifiques sous les DCP dérivants. L'évolution du rapport nombre de proies/nombre de prédateurs, pouvant s'établir pour des niveaux d'abondances absolues très variables, serait à la base des fluctuations d'abondances observées dans les agrégations de dorades coryphènes.

B. Impact potentiel du comportement agrégatif sur l'exploitation

Les résultats obtenus sur le comportement agrégatif de la dorade coryphène permettent de discuter des conséquences possibles de ce comportement en terme d'exploitation de l'espèce.

Comme notre objectif était l'étude de l'agrégation, nos résultats portent essentiellement sur les phases agrégées de l'espèce. Ils permettent d'évaluer les impacts de ce comportement agrégatif à une échelle locale en termes d'accessibilité et de vulnérabilité principalement.

1. Influence sur l'accessibilité

Le comportement agrégatif de la dorade coryphène augmente considérablement son **accessibilité** (taux de présence sur les lieux de pêche : Laurec & Le Guen 1981). L'objet flottant, qu'il soit fixe ou dérivant (naturel ou artificiel) sert de point de repère au pêcheur et peut donc, soit être détecté à grande distance, soit avoir une position parfaitement connue. Les avancées technologiques en matière de communications radio ou de suivi par satellites permettent déjà de suivre un DCP équipé d'une balise d'un bout du monde à l'autre. Il y a donc, du fait de l'agrégation, une identification aisée de la part du pêcheur, des lieux de pêche favorables à la capture de l'espèce. Le temps de résidence global autour d'un même objet flottant, de l'ordre de quelques jours, favorise sa rétention dans ces lieux de pêche de dimensions très restreintes particulièrement favorables. C'est la raison pour laquelle la grande majorité des captures mondiales ciblées de dorades coryphènes sont effectuées sous les objets flottants.

2. Influence sur la vulnérabilité

Le comportement agrégatif de la dorade coryphène favorise également sa **vulnérabilité** (interactions entre engins et poissons : Laurec & Le Guen 1981, Gascuel 1995). Nous avons évalué le rayon d'agrégation de l'espèce à moins de 300-400 m. Cette proximité avec l'objet pendant plus de 75 % du temps total d'agrégation facilite naturellement la capture des individus notamment à l'aide de sennes tournantes. Sa distribution bathymétrique, entre 0 et 5 mètres (95% du temps) lorsqu'elle est agrégée autour d'un DCP dérivant, ne peut que renforcer encore sa vulnérabilité, tant pour les techniques industrielles, que pour les techniques artisanales. Cette répartition très épipelagique associée à ses couleurs vives permettent au pêcheur de détecter très facilement sa présence autour d'un objet flottant.

Nous avons démontré que la dorade coryphène avait un comportement agrégatif très marqué et une grande fidélité à l'objet auquel elle est agrégée, mais nous ne connaissons pas la proportion de temps entre les phases d'agrégation et les phases « libres ». Si la dorade coryphène passait rapidement d'un objet à l'autre, son

attachement spatial et temporel aux objets flottants lui conférerait une très grande disponibilité (accessibilité + vulnérabilité) qui pourrait alors induire un risque potentiel pour l'espèce dans le cas d'une augmentation massive de l'usage des DCP dérivants dans les trois océans. Si au contraire, les périodes d'agrégation de la dorade coryphène représentent une faible proportion de son existence par rapport au temps qu'elle consacre à la nage en eaux libres, alors les risques de surexploitation dues à son comportement agrégatif sont moins importants. L'étude de cette proportion est donc déterminante pour l'évaluation du risque sur cette espèce, qui bénéficie par ailleurs de caractéristiques halieutiques très favorables, comme une croissance très rapide, une reproduction très précoce, une grande fécondité. L'étude de l'agrégation est aussi déterminante pour la compréhension de la dynamique spatiale des stocks de dorades coryphènes. Nous avons démontré l'existence d'une influence, sur plusieurs centaines de milles, de la circulation océanique des objets flottants sur les déplacements de l'espèce. Plus la proportion du temps d'agrégation est importante par rapport au temps de nage en eaux libres, plus l'influence de la dérive des objets flottants est déterminante pour la distribution et les migrations de la dorade coryphène.

3. Abondance et distribution spatiale

Tous les DCP dérivants expérimentaux mouillés dans le cadre de cette étude ont donné lieu à une agrégation de dorades coryphènes dans un délai inférieur à une semaine. L'espèce est donc largement distribuée dans toutes les zones étudiées. Son abondance varie néanmoins d'une zone géographique à l'autre et suivant les saisons. Comme à Hawaii (Kraul 1999), on enregistre à La Réunion, une distribution de fréquence des captures bi-modale avec un pic de mai à juin et un autre de septembre à novembre. Cette différence d'abondance saisonnière peut être liée à des facteurs environnementaux (températures de la mer), à un rythme saisonnier de la reproduction ou de survies des larves, mais aussi à la circulation océanique des objets flottants qui, dans les régions tropicales, est étroitement liée au climat (cyclones, dépression, moussons et tempêtes).

Une agrégation systématique de dorades coryphènes sous un délai aussi court (<une semaine) dans 100 % des dérives des DCP expérimentaux implique qu'il y ait un grand nombre d'individus disponibles dans le milieu, prêts à s'agrèger. Cette disponibilité implique aussi que les dorades coryphènes doivent pouvoir se désagrèger facilement afin de se rendre libre à nouveau pour d'autres DCP. La durée relativement courte du temps d'agrégation observée durant cette étude (quelques jours) est bien compatible avec ce critère. L'étude des facteurs influençant la désagrégation (augmentation de la compétition trophique, baisse de la richesse trophique de la masse d'eau dans laquelle le DCP dérive, fuite sous la menace de prédateurs, etc.) mériterait d'être approfondie. Lorsqu'une dorade coryphène vient de se désagrèger, cherche-t-elle immédiatement un autre objet flottant à proximité, dans la même masse d'eau, pour s'agrèger à nouveau ? ou bien quitte-t-elle la zone pour aller coloniser un nouveau DCP dans une masse d'eau différente ? Cette question est déterminante pour mesurer à quel point la distribution de la dorade coryphène est liée à la dynamique des objets flottants. Enfin, la colonisation rapide d'un nouveau DCP ne peut s'expliquer que par la combinaison de deux facteurs : l'abondance et la propension à l'agrégation. Dans une zone géographique donnée, cette colonisation rapide peut en effet résulter, d'une forte abondance de l'espèce, associée à une propension d'agrégation non nulle, ou bien, d'une abondance non

nulle associée à une forte propension à l'agrégation. Mieux évaluer le niveau de **dépendance** des dorades coryphènes par rapport aux objets flottants permettrait donc d'utiliser l'agrégation comme un indice d'abondance de l'espèce.

C. Priorités et perspectives de recherche

L'analyse de FADbase souligne l'important décalage existant entre le volume et la valeur des prises de thons sous DCP (estimation de 2003 : quantité ~ 1.2 million tonnes, valeur débarquée ~ 720 millions €, Alain Fonteneau comm. pers.) et le volume des recherches conduites sur l'usage et les impacts des DCP. Sur les 400 publications contenues dans FADbase, on peut considérer qu'une centaine seulement sont réellement consacrées aux interactions entre les poissons et les DCP. Concernant les DCP dérivants, seulement quelques publications (n = 12) apportent des connaissances nouvelles permettant de mieux comprendre l'agrégation sous ce type d'objet. Cela ne représente qu'une toute petite fraction des résultats de la recherche globale sur les thons et autres espèces de grands poissons pélagiques. Une recherche dans la base ASFA combinant les mots clefs « Tuna » et « Fisheries » ou « Fishery » illustre bien cette proportion puisque plus de 6 700 articles ont été publiés sur ce thème depuis 1978.

Alors que le nombre d'objets flottants d'origine anthropique de tout type continue de progresser dans l'océan mondial (DCP dérivants : Fonteneau *et al.* 2000a ; DCP ancrés : Fréon et Dagorn 2000 ; plates-formes pétrolières Franks 2000 ; cages aquacoles : Dempster *et al.* 2002 ; déchets : Riera *et al.* 1999), l'amélioration des connaissances sur leur distribution, sur les processus sensoriels impliqués dans la détection de ces objets, sur les conséquences écologiques potentielles des agrégations de poissons autour de ces structures, devient indispensable pour la gestion des stocks de poissons sauvages. Bien que les études descriptives aient grandement contribué à faire progresser notre compréhension du comportement agrégatif des poissons pélagiques autour d'objets flottants, nous savons encore trop peu de choses à propos des mécanismes de sélection naturelle et des processus sensoriels impliqués dans l'attraction des poissons. Pour atteindre ces besoins urgents de recherche, il faut inverser la tendance actuelle en consacrant plus de moyens aux approches expérimentales qu'aux études à caractère descriptif. Il faut également favoriser le développement d'outils d'observation autonomes (i .e. bouées dérivantes instrumentées munies de capteurs capables de transmettre leurs données par satellite), permettant d'acquérir un grand nombre de paramètres environnementaux (biotiques et abiotiques) afin de mieux comprendre quels sont les facteurs naturels impliqués dans les processus d'agrégation et de désagrégation.

1. DCP ancrés / DCP dérivants

L'étude bibliographique révèle que la grande majorité des recherches a été réalisée sur les DCP ancrés, principalement du fait de la plus grande facilité à étudier ce type de DCP ancrés près des côtes plutôt que les dispositifs dérivant à des centaines de milles de tout port d'attache. Or, les poissons pélagiques pourraient montrer des caractéristiques comportementales différentes suivant qu'ils se trouvent autour de DCP ancrés ou dérivants (Holland *et al.* 1990, Fréon & Dagorn 2000). De plus, il est possible que les processus sensoriels impliqués dans la détection de ces deux types de DCP soient différents. En conséquence, les données sur l'éco-éthologie des poissons pélagiques agrégés aux DCP ancrés ne sont peut être pas directement

extrapolables aux DCP dérivants. Par conséquent, et malgré les difficultés techniques inhérentes à ce type de travail, la recherche sur les DCP dérivants apparaît comme prioritaire, tant sur le plan fondamental, pour la compréhension du comportement des poissons, que d'un point de vue pratique, pour la gestion des pêcheries. Les projets de recherche comme FADIO, ayant pour objectif la mise au point d'outils innovants, basés sur des moyens modernes de communication par satellites, devraient favoriser l'étude du phénomène agrégatif des grands poissons pélagiques. Les données qui seront collectées par ces nouveaux outils sont essentielles pour fournir des indicateurs écosystémiques indépendants des données de pêche. L'objectif sera d'estimer les effets des DCP sur le comportement (spatial, alimentaire, reproductif) des espèces associées qui, couplées à des études sur les pêcheries, permettront d'évaluer les conséquences de l'usage intensif des DCP dérivants par les flottilles de thoniers senneurs au niveau mondial.

2. Besoin d'études physiologiques

Les données sur les capacités sensorielles des poissons pélagiques, et plus précisément sur les sens qui leur permettent de détecter les DCP, sont quasiment inexistantes. Les études physiologiques constituent une première étape nécessaire pour comprendre comment les poissons détectent les DCP. Sans ces données de base, les chercheurs peuvent travailler sur des mécanismes potentiels qui sont bien au-delà des capacités sensorielles des poissons. Par exemple, le son est couramment désigné comme un sens potentiel pour la détection des DCP par les poissons (Marsac & Cayré 1998, Dempster & Kingsford 2003). Cependant, Les capacités auditives des grands poissons pélagiques comme les thons ou les dorades coryphènes ne sont pas connues (fréquence, distance). Il n'est pas certain que les poissons soient capables d'entendre les sons émis par les DCP et/ou par les bancs d'autres poissons qui y sont agrégés.

Lorsque les capacités physiologiques des poissons agrégés aux DCP seront mieux connues, des expérimentations *in situ*, basées sur l'émission de divers bruits produits par les DCP, ou sur la modification des capacités sensorielles des poissons, pourront être réalisées et couplées avec des enregistrements automatiques de données issues de marquages électroniques. La méthodologie et les analyses développées par Leis *et al.* (2002), qui ont étudié le comportement de pré-recrues de poissons de récif en réponse aux sons dans l'environnement océanique, peuvent être très instructives sur la manière de conduire des études similaires sur de plus grands poissons pélagiques. De manière similaire, les DCP peuvent faire l'objet de modifications expérimentales en les dotant d'une odeur, d'une émission sonore ou encore d'un champ magnétique spécifique, et observer le comportement des poissons autour de ces dispositifs particuliers. Des expérimentations modifiant les capacités sensorielles des poissons peuvent également apporter des résultats majeurs (Lecchini *et al.*, *sous presse*). Ces actions doivent être menées avec une attention particulière, pour éviter tout stress excessif, pouvant altérer le comportement. Par exemple, la vision peut être modifiée par un bandage temporaire des yeux du poisson, l'odorat peut être bloqué pour une période limitée par injection d'un produit biologiquement neutre dans les narines (Dempster & Kingsford 2003), la magnéto-réception peut être altérée par apposition temporaire d'aimants sur le poisson. Pour toutes ces expériences, il est nécessaire de développer les témoins appropriés.

3. Besoin d'études biologiques

Dans les régions où la dorade coryphène représente un apport important pour la pêche artisanale comme en Méditerranée, en Atlantique Centre Ouest ou à Hawaii, la biologie de l'espèce a fait l'objet de plusieurs études (Gibbs & Collette 1959, Beardsley 1967, Palko *et al.* 1982, Kraul 1990, Massuti & Morales-Nin 1995, Potoschi *et al.* 1999, Castro *et al.* 1999, Oxenford 1999, Arocha *et al.* 1999). La reproduction et la croissance ont été étudiées en référence à la distribution géographique et au caractère migrateur de l'espèce. En Méditerranée, plusieurs auteurs ont décrit une forte saisonnalité des pêcheries de dorades coryphènes et identifiés les périodes de reproduction en observant l'évolution mensuelle des stades de maturité et du rapport gonadosomatique (Massuti & Morales-Nin 1995, Potoschi *et al.* 1999). Cette saisonnalité de la reproduction a également été mise en évidence par Castro *et al.* (1999) aux Iles Canaries (Espagne). Il semble que cette saisonnalité de la reproduction soit beaucoup moins marquée dans la zone intertropicale (cf. revue de la biologie de la dorade coryphène : Oxenford 1999). Les dorades coryphènes capturées par les palangriers vénézuéliens ont une saison de ponte qui s'étend de mai à novembre et qui correspond d'une part, à des conditions trophiques favorables au développement de leur gonades en début de saison et, d'autre part, à des conditions optimales jusqu'au mois de novembre pour la survie des larves (Arocha *et al.* 1999). Il est possible que la température des eaux superficielles puisse jouer un rôle important dans le processus de maturation et de ponte. Parallèlement, les expériences menées en captivité ont montré que cette espèce avait des capacités de reproduction exceptionnelles (une femelle d'un an pouvant pondre jusqu'à 200 000 œufs par jour tous les deux jours, tout au long de l'année – Kraul 1990) ce qui démontre une adaptabilité remarquable aux conditions de vie. La biologie de la reproduction de la dorade coryphène a été particulièrement bien étudiée mais les résultats montrent une grande hétérogénéité en fonction des zones géographiques et des conditions environnementales rencontrées. Il en est de même de la croissance. Cette situation rend délicat tout transfert de connaissance d'une région à l'autre et impose donc que des études particulières soient développées pour chaque zone géographique considérée. L'étude de la biologie de la dorade coryphène (croissance et reproduction notamment) reste donc une priorité dans l'océan Indien où peu de travaux ont été développés dans ce domaine. Comme nous avons cherché à comprendre le rôle des relations trophiques dans le déterminisme du comportement agrégatif de la dorade coryphène, il apparaît tout aussi indispensable désormais d'évaluer l'importance du facteur reproduction dans le comportement d'association aux objets flottants. Ces objets pourraient en effet favoriser la rencontre de congénères de sexe différents et ainsi jouer un rôle déterminant pour la survie de l'espèce. Le sexe ratio apparaît déséquilibré au profit des femelles pour les groupes de dorades coryphènes capturées en situation d'agrégation mais nous ne savons pas encore si ce résultat reflète une proportion bien réelle, optimale pour le succès de la reproduction, ou s'il est la conséquence d'une sélectivité des engins de capture, d'un meilleur taux de survie d'un sexe par rapport à l'autre ou tout simplement d'une proportion d'origine inégale au moment de la ponte.

4. Besoin d'études génétiques

Pour une espèce aussi largement distribuée géographiquement que la dorade coryphène, la connaissance de la structure des stocks est un pré-requis

indispensable pour la gestion des pêcheries. Bien que les premières hypothèses sur la répartition des différents stocks régionaux reposent principalement sur la saisonnalité des captures et sur des différences d'ordre biologique entre les échantillons issus des différentes zones géographiques considérées (Atlantique Centre Ouest : Oxenford & Hunte 1986), l'outil génétique pourrait offrir de nouvelles perspectives de résultats dans ce domaine (Pla & Pujolar 1999). Néanmoins, il faut noter que les premières analyses génétiques ont montré que la dorade coryphène présentait, comme d'autres espèces de grands poissons pélagiques, une grande diversité génétique sans que des différences notables puissent être attribuées à une zone géographique particulière (Méditerranée et Iles Canaries : Pla & Pujolar 1999). Les progrès dans ce domaine sont si rapides qu'il est malgré tout important d'assurer une veille scientifique sur les nouvelles méthodes qui pourraient permettre de répondre efficacement aux questions fondamentales qui restent en suspens en matière de structure des stocks de dorades coryphènes.

5. Deux axes prioritaires déjà engagés

Pour évaluer plus précisément les risques potentiels qui pèsent sur la dorade coryphène du fait de son comportement agrégatif, nous avons retenu deux axes complémentaires qui nous paraissent désormais prioritaires : (1) l'étude de la dynamique spatiale de la dorade coryphène non agrégée (entre deux DCP) et (2) l'étude de ses capacités sensorielles de « retour au gîte » (dans notre cas le DCP). Concernant le premier point, l'équipe halieutique de l'Ifremer de La Réunion peut désormais relever ce nouveau défi en poursuivant les collaborations scientifiques et techniques déjà engagées dans le cadre du projet DORADE avec des partenaires comme la société SERPE-IESM (groupe MARTEC). Cette société française travaille en effet à la mise au point de marques électroniques spécifiques permettant d'assurer un suivi à distance des poissons marqués, sur de longues périodes, dépassant les temps de suivis en télémétrie acoustique active. Parallèlement, les travaux concernant l'étude des capacités de retour au gîte de la dorade coryphène, ont d'ores et déjà débuté dans le cadre d'une thèse réalisée au sein du projet européen FADIO.

Conclusion Générale

Chaque espèce, chaque poisson quelle que soit sa taille, joue un rôle important pour l'équilibre des assemblages agrégés. En terme de gestion halieutique, il apparaît indispensable d'accorder beaucoup plus d'importance aux captures accessoires et accidentelles. Une meilleure connaissance de leur niveau actuel dans chaque pêcherie s'avère absolument indispensable. Pour cela, Il serait souhaitable de favoriser le développement de programmes d'observateurs embarqués au sein des indispensables Systèmes d'Information Halieutique (SIH) afin que ces captures accessoires soient enregistrées pour le plus grand nombre possible d'opérations de pêche. La recherche pourrait alors se concentrer sur l'analyse de ces données dans le but d'évaluer l'impact direct de la pêche sur les espèces potentiellement vulnérables ainsi que sur les interactions négatives pour les flottilles artisanales de proximité. Au-delà des captures accessoires, il est important de mesurer le risque pour les armements de grande pêche industrielle, de ne pas être en mesure d'évaluer scientifiquement l'importance de leurs captures accidentelles d'espèces sensibles comme les requins et les tortues marines. En effet, les organisations internationales de protection de l'environnement et l'application systématique du principe de précaution pourraient remettre en cause les pratiques de certaines activités halieutiques industrielles qui ne seraient pas en mesure de limiter, voire d'éliminer leur impact sur ces espèces en danger.

S'agissant d'un poisson épipelagique océanique, la gestion des stocks de dorades coryphènes ne peut pas être effectuée à une échelle locale. Pourtant, actuellement aucune des grandes commissions régionales chargées de gérer les stocks de grands poissons pélagiques ne s'intéresse réellement à la dorade coryphène. A notre connaissance, il n'existe pas de groupe de travail permanent sur l'espèce dans aucune de ces commissions malgré une pression de pêche accessoire importante au niveau international de la part des thoniers senneurs notamment. L'ouvrage de référence produit par le groupe de travail sur la dorade coryphène organisé par le CSIC/UIB, l'IEO et la Direction Générale des Pêches des Baléares en 1997, (Massuti & Morales-Nin 1999), illustre bien l'intérêt d'échanger et de partager les résultats scientifiques à une large échelle géographique. L'intérêt économique de l'espèce pour les petites pêcheries tropicales de proximité et l'impact potentiel des captures accessoires de la part des pêcheries industrielles, mériteraient que l'on consacre plus d'attention à l'exploitation durable de cette ressource.

Nous formulons le souhait que les commissions thonières internationales comme la CTOI (Commission des Thons de l'Océan Indien), l'ICCAT (Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique), l'IATTC (Commission Inter-Américaine du Thon Tropical) ou encore la future commission thonière du Pacifique (WCPFC), prennent désormais en considération cette espèce dans leur travaux scientifiques.

Parce qu'elle constitue un modèle biologique de choix, tant pour l'étude du phénomène agrégatif, que pour la gestion des captures accessoires, la prise en compte de la dorade coryphène par les commissions thonières internationales contribuerait à l'application d'une gestion des pêches plus respectueuse des écosystèmes.

Bibliographie

- Aloncle H., Delaporte F. (1973) L'I.S.T.P.M. et la recherche thonière. *Pêche Marit*, 437-441.
- Anderson J., Gates P.D. (1997) Manuel de la Commission du Pacifique Sud sur les Dispositifs de concentration de poissons (DCP). Programme pêche côtière, section techniques de pêche. Planification de programmes DCP, Vol. 1, 46 p.
- Antoine L., Garces A. G. (1983) Considération sur l'état du stock de germon (*Thunnus alalunga*) de l'Atlantique Nord, d'après les données des flottilles franco-espagnoles. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, Vol. 18, 2, 411-420.
- Arocha F., Marcano L. A., Larez A., Altuve D., Alio J. (1999) The fishery, demographic size structure, and oocyte development of dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in Venezuela and adjacent waters, *Sci. Mar.* 63(3-4), 401-409.
- Bakun A. (1996) Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. University of California Sea Grant, San Diego, USA and Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico.
- Bannister J. V. 1976. The length-weight relationship, condition factor and gut contents of the dolphinfish *Coryphaena hippurus* (L.) in the Mediterranean. *J. Fish Biol* 9,335-338.
- Bard F. X. (1981) Le thon germon *Thunnus alalunga* (Bonnaterre, 1788) de l'océan Atlantique : de la dynamique des populations à la stratégie démographique. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 330 p.
- Bard F. X., Stretta J. M., Slepoukha M. (1985) Les Epaves artificielles comme auxiliaires de la pêche thonière en océan Atlantique. Quel avenir ? *Pêche Marit.*, 655-659.
- Beardsley G. L. (1967) Age, growth and reproduction of the dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the Straits of Florida. *Copeia* 1967, 2, 441-451.
- Bergstrom M. (1983) Review of experiences with and present knowledge about fish aggregating devices. Bay of Bengal Programme, Development of Small-Scale Fisheries. FAO report BOBP/WP/23, 57 p.
- Biais G., Taquet M. (1990b) Dispositifs de concentration de poissons autour de l'île de la Réunion. Rapport interne de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER, RIDRV-90.05-RH/La Réunion, 34 p.
- Biais G., Taquet M. (1990a) Dispositifs de concentration de poissons à la Réunion. *Equinoxe* 34, 20-26.
- Blanc L., Aliaume C., Zerbi A., Lassere G. (2001) Spatial and temporal co-structure analyses between ichthyofauna and environment: an example in the tropics. *C.R. Acad. Sci.* 324, 635-646.
- Blaxter J.H.S., Batty R.S. (1985) Herring behaviour in the dark: responses to stationary and continuously vibrating obstacles. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 65(4), 1031-1049.
- Brill R.W., Block B.A., Boggs C.H., Bigelow K.A., Freund E.V., Marcinek D.J. (1999) Horizontal movements and depth distribution of large adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) near the Hawaiian Islands, recorded using ultrasonic telemetry: implications for the physiological ecology of pelagic fishes. *Mar. Biol.* 133, 395-408.
- Brock R.E. (1985) Preliminary study of the feeding habits of pelagic fish around Hawaiian fish aggregation devices or can fish aggregation devices enhance local fisheries productivity? *Bull. Mar. Sci.* 37(1), 40-49.
- Brodeur R.D. (1998) In situ observations of the association between juvenile fishes and scyphomedusae in the Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 163, 11-20.
- Buckley T.W., Miller B.S. (1994) Feeding habits of yellowfin tuna associated with fish aggregation devices in American Samoa. *Bull. Mar. Sci.* 55, 445-459.
- Buckley, T. (1992). Guide to the Identification of Yellowfin Tuna and Masimasi Diets.
- Campos, J. A., Segura A., Lizano O., Madrigal E. (1993) Basic ecology of *Coryphaena hippurus* (Pisces: Coryphaenidae) and abundance of other large pelagic organisms in the Pacific of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 41,783-790.

- Castro J.J., Santiago J.A., Hernandez-Garcia V. (1999) Fish associated with fish aggregation devices off the Canary Islands (Central-East Atlantic) *Sci. Mar.* 63(3-4), 191-198.
- Castro J.J., Santiago J.A., Hernandez-Garcia V., Pla C. (1999) Growth and reproduction of the dolphinfish (*Coryphaena equiselis* and *Coryphaena hippurus*) in the Canary Islands, Central-East Atlantic (preliminary results) *Sci. Mar.* 63(3-4), 317-325.
- Castro J.J., Santiago J.A., Santana-Ortega, A.T. (2002) A general theory on fish aggregation to floating objects: an alternative to the meeting point hypothesis. *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 11(3), 255-277.
- Cayré, P. (1991) Behaviour of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around fish aggregating devices (FADs) in the Comoros Islands as determined by ultrasonic tagging. *Aquat. Liv. Resour.* 4, 1-12.
- Cayré, P., Chabanne J. (1986). Sonic tracking experiments and behaviour of tropical tunas (yellowfin tuna: *Thunnus albacares*, and skipjack tuna: *Katsuwonus pelamis*) in the vicinity of a fish aggregating device. *Oceanogr. Trop.* 21,167-183.
- Cayré, P., Marsac F. (1993) Modelling the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) vertical distribution using sonic tagging results and local environmental parameters. *Aquat. Living Resour.* 6,1-14
- Cillauren E. (1994) Daily fluctuations in the presence of *Thunnus albacares* and *Katsuwonus pelamis* around fish aggregating devices anchored in Vanuatu, Oceania. *Bull. Mar. Sci.* 53(2-3), 581-591.
- Collette B. B., Nauen C. E. (1983) FAO species catalogue. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. *FAO Fish. Synop.*, 125-2, 137 p.
- D'Anna G., Badalamenti F., Riggio S. (1999) Traditional and experimental floating fish aggregating devices in the Gulf of Castellammare (NW Sicily): results from catches and visual observations. *Sci. Mar.* 63 (3-4), 209-218.
- Dagorn L. (1994) Le comportement des thons tropicaux modélisé selon les principes de la Vie Artificielle. Thèse, ENSAR, ORSTOM, 250 p.
- Dagorn L., Freon P. (1999) Tropical tuna associated with floating objects: a simulation study of the meeting point hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56, 984-993.
- Dagorn L., Josse E., Bach P. (2000a) Individual differences in horizontal movements of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in nearshore areas in French Polynesia, determined using ultrasonic telemetry. *Aquat. Liv. Resour.* 13, 193-202.
- Dagorn L., Josse E., Bach P. (2001). Association of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) with tracking vessels during ultrasonic telemetry experiments. *Fish. Bull.* 99,40-48.
- Dagorn L., Josse E., Bach P., Bertrand A. (2000b) Modeling tuna behaviour near floating objects: from individuals to aggregations. *Aquat. Liv. Resour.* 13, 203-211.
- Dempster T. (2003) Association of pelagic fish with floating structures: patterns, processes and ecological consequences. PhD thesis, University of Sydney.
- Dempster T. (2004) Biology of fish associated with fish aggregation devices (FADs): implications for the development of a FAD-based fishery in New South Wales, Australia. *Fish. Res.* Vol. 68 n°1-3, 189-201.
- Dempster T., Kingsford M.J. (2003) Homing of pelagic fish to fish aggregating devices (FADs): an investigation of the role of sensory cues. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 258, 213-222.
- Dempster T., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J.T., Giménez-Casalduero F., Valle C. (2002). Attraction of wild fish to sea-cage fish farms in the south-western Mediterranean Sea: spatial and short-term temporal variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 242, 237-252.
- Dempster T., Taquet M. (2004) Analysis of the literature on fish aggregation devices (FAD) research; gaps in current knowledge and future research directions for studies of FAD-associated fish. *Rev. Fish. Biol. Fish.* Vol. 4, 21-40.

- Desurmont A. (2000) FAD models developed by SPC: review and future prospects. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Peche thoniere et dispositifs de concentration de poisons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 276-289.
- Desurmont A., Chapman L. (2000) The use of anchored FADs in the area served by the Secretariat of the Pacific community (SPC): Regional synthesis. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Peche thoniere et dispositifs de concentration de poisons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 108-140.
- Detolle J. P. (1996) Etude en vue d'optimiser le coût et la longévité des Dispositifs de Concentration de Poissons de l'île de La Réunion : Approche technico-économique. Ifremer RIDRV-96, 73p.
- Deudero S. (2001) Interspecific trophic relationships among pelagic fish species underneath FADs. *J. Fish. Biol.* 58, 53-67.
- Deudero S., Merella P., Morales-Nin B., Massuti E., Alemany F. (1999) Fish communities associated with FADs. *Sci. Mar.* 63(3-4), 199-207.
- Dickson J. O., Natividad A. C. (2000) Tuna fishing and a review of "payao" in the Philippines. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Peche thoniere et dispositifs de concentration de poisons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 141-158.
- Dolédec S., Chessel D. (1989) Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. II. Prise en compte et élimination d'effets dans un tableau faunistique. *Acta Oecologica, Oecol.Gener.*, 10, 207-232
- Dooley J. K. (1972) Fishes associated with the pelagic Sargassum complex, with a discussion of the Sargassum community. Department of Zoology, University of South Florida, Contributions in Marine Science, Vol. 16, 32 p.
- Døving K., Stabell O.B. (2002) Trails in open water: sensory cues in salmon migration. *In: Collin S.P. and Marshall N.J. (eds), Sensory processing in aquatic environments*. Springer-Verlag, New York, pp. 39-52.
- Druce B.E., Kingsford M.J. (1995) An experimental investigation of the fishes associated with drifting objects in coastal waters of temperate Australia. *Bull. Mar. Sci* 57(2), 378-392.
- Dunn B., Goadby P. (2000) Saltwater Game Fishes of the World. An Illustrated History. Australian Fishing Network.
- Essington T.E., Schindler D.E., Olson R.J., Kitchell J.F., Boggs C. and Hilborn R. (2002) Alternative fisheries and the predation rate of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. *Ecol. App.* 12(3), 724-734.
- FAO (2002) Fishstat Plus. Capture production 1970-2002. FAO, Rome. www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp.
- Farrugio H. (1981) Exploitation et Dynamique des Populations de Thon Rouge *Thunnus thynnus* (Linné, 1758) Atlanto-Méditerranéennes. Thèse de l'Université de Montpellier, 325p.
- Fonteneau A. (1973) La pêcherie des thons tropicaux dans l'Atlantique, le rôle de l'ORSTOM. *Pêche Marit.*, n°1143, 443-445.
- Fonteneau A., Ariz J., Gaertner D., Nordstrom V., Pallares P. (2000b) Observed changes in the species composition of tuna schools in the Gulf of Guinea between 1981 and 1999, in relation with the Fish Aggregating Device fishery. *Aquat. Liv. Resour.* 13, 253-257.
- Fonteneau A., Pallares P., Pianet R. (2000a) A worldwide review of purse seine fisheries on FADs. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Peche thoniere et dispositifs de concentration de poisons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 15-34.
- Franks J.S. (2000) A review: pelagic fishes at petroleum platforms in the northern Gulf of Mexico; diversity, interrelationships and perspectives. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Peche thoniere et dispositifs de concentration de poisons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 502-515.
- Freon P., Dagorn L. (2000) Review of fish associative behaviour: toward a generalisation of the meeting point hypothesis. *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 10, 183-207.

- Fromentin J. M., Fonteneau A., Farrugio H. (2000) Biological references points and natural long-term fluctuations: the case of eastern Atlantic bluefin tuna. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT Vol. 51 n°1*, 2072-2084.
- Gaertner D., Menard F., Develter C., Ariz J., de Molina A.D. (2002) Bycatch of billfishes by the European tuna purse-seine fishery in the Atlantic ocean. *Fish. Bull.* 100(4), 683-689.
- Gaertner D., Pagavino M., Marcano J. (1996) Use of generalized linear models to investigate the fishing strategies of tuna purse seiners, in presence of floating objects in the western Atlantic Ocean. *Aquat. Living Resour.*, vol. 9, n°4, 305-323.
- Gaertner J. C. (1997) Organisation des assemblages démersaux dans le golfe du Lion : structures spatiales et stabilité temporelle. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille II, 149 p.
- Gaertner J. C., Chessel D., Bertrand J. (1998) Stability of spatial structures of demersal assemblages : a new approach. *Aquat. Living Resour.*, 11, 75-85.
- Galea J.A. (1961) The 'Kannizzati' Fishery. *Proc. Gen. Fish. Counc. Med.* 55, 85-91.
- Gascuel D. (1995) Efforts et puissance de pêche : redéfinition des concepts et exemple d'application. In Gascuel D., Durand J.L., Fonteneau A. (éds) – Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources et des systèmes halieutiques. Actes du Premier Forum Halieumétrique, Rennes, 29 juin au 1^{er} juillet 1993, 405 p.
- Gibbs R. H., Collette B. B. (1959) On the identification, distribution, and biology of the dolphins *Coryphaena hippurus* and *C. equiselis*. *Bull. Mar. Sci. Gulf Carrib.* 9, 117-152.
- Girard C., Benhamou S., Dagorn L. (2004) FAD: Fish Aggregating Device or Fish Attracting Device ? A new analysis of yellowfin tuna movements around floating objects. *Animal Behaviour*, 67, 319-326.
- Gooding R.M., Magnusson J.J. (1967) Ecological significance of a drifting object to pelagic fishes. *Pac. Sci.* 21, 486-497.
- Greenblatt P.R. (1979). Associations of tuna with flotsam in the eastern tropical Pacific. *Fishery Bulletin* 77(1), 147-155.
- Guillou A., Bruyère F., Lagin A. (1995) Activités nouvelles de pêche autour des DCP profonds à la Martinique : comparaison des résultats obtenus avec ceux de la pêche au large traditionnelle à Miquelon. Rapport IFREMER/Comité des Pêches - Région Martinique n° 94/1212127, 58 p.
- Hall M. A. (1992) The association of the tunas with floating objects and dolphins in the eastern Pacific ocean. VII. Some hypotheses on the mechanisms governing the association of tunas with floating objects and dolphins. Inter-American Tropical Tuna Commission, La Jolla, CA., USA. 6p.
- Hall M. A. (1996) On bycatches. *Rev. Fish Biol. Fish.* 6, 319-352.
- Hall M. A. (1998) An ecological view of the tuna – dolphin problem : impacts and trade-offs. *Rev. Fish Biol. Fish.* 8, 1-34.
- Hallier J. P. (1994) Purse seine fishery on floating objects: What kind of fishing effort ? What kind of abundance indices ? *In: Ardill J. D., (Ed), Proc. 5th Expert Consultation on Indian Ocean Tunas, Mahé Seychelles*, 192-198.
- Hampton J., Bailey K. (1999) Fishing for tunas associated with floating objects: a review of the Western Pacific fishery. *In: Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. and Schaefer K.M. (eds.), Proceedings of the international Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11-13, 1992.* Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report 11, La Jolla, California, pp. 222-284.
- Hassler W. W., Hogarth W. T. (1977) The growth and culture of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in North Carolina. *Aquaculture*, 12, 115-122.
- Hawkins A.D. (1993) Underwater sound and fish behaviour. *In: Pitcher T.J. (ed.), Behaviour of teleost fishes.* 2nd ed. Chapman and Hall, London, pp. 129-169.

- Heyerdahl T. (1950) The Kon-tiki expedition: by raft across the south seas. George Allen and Unwin Ltd, London.
- Hida, T. S. (1973) Food of tunas and dolphins (Pisces: Scombridae and Coryphaenidae) with emphasis on the distribution and biology of their prey *Stolephorus baccaneeri* (Engraulidae). Fish. Bull. Natl. Oceanic Atmos. Adm. **71**,135-143.
- Higashi G.R. (1994) Ten years of fish aggregation device (FAD) design development in Hawaii. Bull. Mar. Sci. **55**(2-3), 651-666.
- Holland K. N., Kleiber P., Kajiura S. M. (1999) Different residence times of Yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and bigeye tuna, *Thunnus obesus*, found in the mixed aggregations over a seamount. Fish. Bull. US **97**, 392-395.
- Holland K.N., Brill R.W., Chang R.K.C. (1990) Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tunas associated with Fish Aggregating Devices. Fish. Bull. **88**, 493-507.
- Holland K.N., Jaffe A., Cortez W. (2000) The fish aggregating device (FAD) system of Hawaii. In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Peche thoniere et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. **28**, 55-62.
- Hunte W., Oxenford H., Mahon R. (1995) Distribution and relative abundance of flyingfish (*Exocoetidae*) in the eastern Caribbean. 2. Spawning substrata, eggs and larvae. Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol **117**, n°1-3, 25-37.
- Hunter J.R., Mitchell C.T. (1967) Association of fishes with flotsam in the offshore waters of central America. Fish. Bull. **66**(1), 13-29.
- Hunter J.R., Mitchell C.T. (1968) Field experiments on the attraction of pelagic fish to floating objects. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. **31**(3), 427-434.
- Ibrahim S., Kawamura G., Ambak M.A. (1990) Effective range of traditional Malaysian FAD as determined by fish releasing method. Fish. Res. **9**, 299-306.
- Ida, H., Hiyama Y., Kusaka, T. (1967) Study on fishes gathering around floating seaweed – I. Abundance and species composition. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **33**(10), 923-929.
- Itano D.G., Holland K.N. (2000) Movement and vulnerability of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in relation to FADs and natural aggregation points. Aquat. Liv. Resour. **13**, 213-223.
- Iversen R.T.B. (1969) Auditory thresholds of the scombrid fish, *Euthynnus affinis*, with comments on the use of sound in tuna fishing. FAO Fish. Rep. **62** (3), 849-859.
- Jones J. (1772) Oppian's Halieuticks of the Nature of Fishes and Fishing of the Ancients in V. Books. Translated from the Greek by J.Jones, with an account of Oppian's Life & Writings, and a Catalogue of his Fishes, Oxford.
- Josse E., Dagorn L., Bertrand A. (2000) Typology and behaviour of tuna aggregations around fish aggregating devices from acoustic surveys in French Polynesia. Aquat. Liv. Resour. **13**, 183-192.
- Kakuma S. (2000a) Synthesis on moored FADs in the North West Pacific region. In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Peche thoniere et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. **28**, 63-77.
- Kakuma S. (2000b) Current, catch and weight composition of yellowfin tuna with FADs off Okinawa Island, Japan. In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Peche thoniere et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. **28**, 492-501.
- Kaneda Y. (1986) Nohon gyogu gyoho zusetu (Fishing gears and methods in Japan). Seisando, Japan.
- Kingsford M., Leis J., Shanks A., Lindeman K., Morgan S., Pineda J. (2002) Sensory environments, larval abilities and local self-recruitment. Bull. Mar. Sci. **70**(1), 341-375.
- Kingsford M.J. (1992) Drift algae and small fish in the coastal waters of northeastern New Zealand. Mar. Ecol. Prog. Ser. **80**, 41-55.

- Kingsford M.J. (1993) Biotic and abiotic structure in the pelagic environment: importance to small fish. *Bull. Mar. Sci.* 53, 393-415.
- Kingsford M.J. (1995) Drift algae: a contribution to near-shore habitat complexity in the pelagic environment and an attractant for fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 116, 297-301.
- Kingsford M.J. (1999) Fish attraction devices (FADs) and experimental designs. *Sci. Mar.* 63(3-4), 181-190.
- Kingsford M.J., Choat J.H. (1986) Influence of surface slicks on the distribution and onshore movements of small fish. *Mar. Biol.* 91, 161-171.
- Klima E.F., Wickham D.A. (1971) Attraction of coastal pelagic fishes with artificial structures. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 100(1), 86-99.
- Klimley A.P., Holloway C.F. (1999) School fidelity and homing synchronicity of yellowfin tuna *Thunnus albacares*. *Mar. Biol.* 133, 307-317.
- Kojima S. (1956) Fishing for dolphins in the western part of the Japan Sea. II. Why do the fish take shelter under floating materials? *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 21, 1049-1052.
- Kraul S. (1990) Review and current status of aquaculture potential for the mahimahi, *Coryphaena hippurus*. Conference Advances in Tropical Aquaculture, Tahiti (French Polynesia), 20 Feb - 4 Mar 1989, Actes de Colloque Ifremer n°9, 445-459.
- Kraul S. (1999) Seasonal abundance of the Dolphinfin, , in Hawaii and the tropical Pacific Ocean. *Sci. Mar.* 63(3-4), 261-266.
- Laurans M., Taquet M., Reynal L., Lagin A. (2000) Observations sous-marines des communautés de poissons agrégées autour des DCP en Martinique : Résultats préliminaires. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 516-527.
- Laurec A., Le Guen J. C. (1981) Dynamique des populations marines exploitées. Tome I, Concepts et Modèles. CNEXO, Centre Océanologique de Bretagne, 118p.
- Lecchini D., Shima J., Banaigs B., Galzin R. (sous presse) Larval sensory abilities and mechanisms of habitat selection of a coral reef fish during settlement. *Oecologica*.
- Le Gall J. Y. (1973) Disponibilité des données et des enseignements des pêcheries palangrières thonières primordiales en Atlantique (Japon, Corée, Formose). *Pêche marit.*, 433-436.
- Le Gall J.-Y., Cayre P., Taquet M. (2000) Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28., 688p.
- Le Guen J.C., Poinard F., Troadec J.P. (1965) La pêche de l'Albacore (*Naothunnus albacares*, Bonnaterre) dans la zone orientale de l'Atlantique intertropical. Etude préliminaire, Doc. Scient. Centre ORSTOM, Point Noire, n°263, 27p.
- Lehodey P (1990) Comparaison des contenus stomacaux des thonidés pêchés sous et hors DCP (résultats préliminaires). *SPC/Fisheries* 22, 6p.
- 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.
- Lennert-Cody, Hall M. A. (2000) The development of the purse seine fishery on drifting aggregating devices in the Eastern Pacific Ocean : 1992 – 1998. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 78-107.
- Leproux E. (2000) Technological evolution of Fish Aggregating Devices (FADs) in French Polynesia. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 290-303.
- Liorzou B., Bigot J. L. (1995) Bluefin tuna growth from Mediterranean French purse seiners data. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, Vol 44, n°1, 268-282.
- Manly B.F.J. (1991) Randomization and Monte Carlo methods in biology. Chapman and Hall, London, 281 p.

- Mann D.A., Lu Zhongmin, Popper A.N. (1997) A clupeid fish can detect ultrasound. *Nature*, Vol. 389, n°6649 p. 341.
- Manooch, C.S., Mason D.L., Nelson R.S. (1984) Food and gastrointestinal parasites of dolphin *Coryphaena hippurus* collected along the southeastern and Gulf coasts of the United States. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish./Nissuishi*. **50**,1511-1525.
- Marsac F., Cayre P. (1998) Telemetry applied to behaviour of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*, Bonnaterre, 1788) movements in a network of fish aggregating devices. *Hydrobiologia* 371/372, 155-171.
- Marsac F., Fonteneau A., Menard F. (2000) Drifting FADs used in tuna fisheries: an ecological trap? *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 537-552.
- Marcille J., Bour W. (1981) La pêche des thons à la senne et à la canne dans l'océan Pacifique tropical. Editions de l'Orstom, Paris, 259 p.
- Massuti E., Morales-Nin B. (1995) Seasonality and reproduction of dolphin-fish (*Coryphaena hippurus*) in the western Mediterranean. Conference Int. Symp. on Middle-Sized Pelagic Fish, Las Palmas de Gran Canaria, Gran Canaria, Canary Islands (Spain), 24-28 Jan 1994, 357-364.
- Massuti E., Morales-Nin B. (1999) Biology and fishery of dolphinfish and related species. *Sci. Mar.* 63(3-4), 181-475.
- Massuti, E., Deudero S., Sanchez P., Morales-Nin B. (1998) Diet and feeding of dolphin (*Coryphaena hippurus*) in western Mediterranean waters. *Bull. Mar. Sci.* 63, 329-341.
- Massuti, E., Morales-Nin B., Deudero S. (1999) Fish fauna associated with floating objects sampled by experimental and commercial purse nets. *Sci. Mar.* 63 (3-4), 219-227.
- Masuda H., Amaoka K, Araga C., Uyeno T., Yoshino T. (1994)The fishes of Japanese Archipelago. Tokai University Press, Tokyo, Japan.
- McPhaden, M. J., Freitag P., Servain J., Josse E. (2000). Effects of fishing activity on tropical moored buoy arrays. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, p.683.
- Menard F, Stequert B., Rubin A., Herrera M., Marchal E. (2000) Food consumption of tuna in the Equatorial Atlantic ocean: FAD-associated versus unassociated schools. *Aquat. Liv. Resour.* 13, 233-240.
- Minet J.P., Taquet M. (1993) La pêche artisanale mahoraise - Implantation des dispositifs de concentration de poissons. - Rapport de convention Ifremer/Collectivité Territoriale de Mayotte no. 91/1211331F, 20 p.
- Mitchell C.T., Hunter J.R. (1970) Fishes associated with drifting kelp, *Macrocystis pyrifera*, off the coast of southern California and northern Baja California. *Calif. Fish and Game* 56(4), 288-297.
- Morales-Nin B., Cannizzaro L., Massuti E., Potoschi A., Andaloro F. (2000) An overview of the FADs fishery in the Mediterranean Sea. *In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 184-207.
- Murdy E.O. (1980) The commercial harvesting of tuna-attracting payaos: a possible boon for small-scale fishermen. *ICLARM Newsletter* 1, 10-12.
- Murray, P. A. (1985) Growth and mortality in the dolphin-fish *Coryphaena hippurus* caught off Saint Lucia, W.I. *FAO Fish. Rep.*, 327, 147-153.
- Nakamae A. (1991) Artificial reef projects in Japan. Symposium on Artificial Reefs and Fish Aggregating Devices as Tools for the Management and Enhancement of Marine Fishery Resources. Colombo, Sri Lanka, 14-17 May, 1990. Rapa Report 1991/11, 244-250.
- Nelson P. A. (2003) Marine fish assemblage associated with fish aggregating devices (FADs) : effects of fish removal, FAD size, fouling communities, and prior recruits. *Fish. Bull.* 101, 835-850.
- Norton J.G. (1999) Apparent habitat extensions of dolphin-fish (*Coryphaena hippurus*) in response to climate transients in the California Current. *Sci. Mar.* 63(3-4), 239-260.

- Ohta I, Kakuma S., Kanashiro K. (2001) Aggregating Behaviour of Yellowfin and Bigeye Tuna Tagged with Coded Ultrasonic Transmitters Around FADs in Okinawa, Japan. Proceedings of the Symposium on Tagging and Tracking Marine Fish with Electronic Devices (February 7-11, 2000) University of Hawaii, USA, 131-145.
- Olson, R. J., Galvan-Magana F. (2002) Food habits and consumption rates of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the eastern Pacific Ocean. *Fish. Bull.* **100**,279-298.
- Ommanney F.D. (1953) Report on the Mauritius-Seychelles Fisheries Survey 1948-1949. Part II, the Pelagic Fishes. Colonial Office, London : Her Majesty's Stationery Office, Fishery Publication Vol. I, n° 3, 58-95.
- Oxenford H.A. (1999) Biology of the dolphin-fish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic. *Sci. Mar.* 63(3-4), 277-301.
- Oxenford H.A., Hunte W. (1983) - Age and growth of dolphin, *Coryphaena hippurus*, as determined by growth rings in otoliths. *Fish. Bull.*, U.S., 81, 906-909.
- Oxenford H.A., Hunte W. (1986) - A preliminary investigation of the stock structure of the dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in the western central Atlantic. *Fish. Bull.*, U.S., 84, 451-460.
- Palko, B. J., Beardsley G. L., Richards W. J. (1982) Synopsis of the biological data on dolphin-fishes, *Coryphaena hippurus* Linnaeus and *Coryphaena equiselis* Linnaeus. NOAA-TR-NMFS-CIRC443.
- Papi F. (1992) General aspects. In: Papi F (ed.) *Animal Homing*. Chapman and Hall, London, pp. 1-18.
- Parin N.V., Fedoryako B.I. (1999) Pelagic fish communities around floating objects in the open ocean. In: Scott M.D., Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E. and Schaefer K.M. (eds.), *Proceedings of the international Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11-13, 1992*. Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report 11, La Jolla, California, pp. 447-458.
- Partridge B.L. (1982) The structure and function of fish schools. *Sci. Am.* 246(6), 90-99.
- Pepperell J. (2001) Fatal Attraction (<http://www.bluewatermag.com.au/dec02feature2.asp>) In: *Bluewater magazine*.
- Pianet R. (1973) Le rôle de l'ORSTOM de Pointe-Noire dans la recherche thonière. *Pêche Marit.*, n°1143, 448-451.
- Pincock D.G., Voegeli F.A. (1990) Quick course in underwater telemetry system. Vemco Limited,
- Pinkas L., Oliphant M.S., Iverson I.L.K. (1971) Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in Californian waters. *Calif. Fish & Game*, 152, 1-105.
- Pipitone, C., Andaloro F., Campagnuolo S., Romanelli M., Potoschi A. (2000) Trophic relationships between some FADs associated fishes. In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, p.679.
- Pla C., Pujolar J.M. (1999) Genetic homogeneity of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western Mediterranean and the eastern Atlantic. *Sci. Mar.* 63 (3-4), 337-341.
- Plante R. (1997).The coelocanthe: a reprieve for a fossil. *Oceanorama* 27, 16-18.
- Poisson F., Guyomard D. (2001) Description de la technique et de la stratégie de pêche de la flottille palangrière réunionnaise. In Poisson F. & Taquet M. (éds), *L'espadon : de la recherche à l'exploitation durable*. Programme Palangre Réunion, Ifremer, rapport final, 248 p.
- Poisson F., Taquet M. (2001) *L'espadon : de la recherche à l'exploitation durable*. Programme Palangre Réunion, Rapport Ifremer, 248 p.
- Popper A., Fay R., Platt C., Sand O. (2002) Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes. In: Collin S.P. and Marshall N.J. (eds), *Sensory processing in aquatic environments*. Springer-Verlag, New York, pp. 3-38.
- Postel E. (1949) Les thnidés d'Afrique occidentale. *Bull. Elev. Industr. Anim. A.O.F.*, Dakar, Vol. 2, n°4.

- Potoschi A., Renones O., Cannizzaro L. (1999) Sexual development, maturity and reproduction of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western and central Mediterranean. *Sci. Mar.* 63(3-4), 367-372.
- Preston G.L. (1991) Fish Aggregation Devices in the Pacific Islands region. Symposium on Artificial Reefs and Fish Aggregating Devices as Tools for the Management and Enhancement of Marine Fishery Resources, Colombo, Sri Lanka, 14-17 May 1990. Rapa Report 1991/11, 279-294.
- Reynal L., Taquet M. (2002). Le redéploiement de la pêche antillaise vers les grands poissons pélagiques, *In* Blanchet G., Gobert B., Guérédrat J. A., (Eds), *La pêche aux Antilles*, IRD Editions, Paris, pp 73-86.
- Reynal L., Van Buurt G., Taquet M. (2000) Prospects for the development of anchored FADs in the Lesser Antilles. The case of three islands: Guadeloupe, Martinique and Curacao. *In*: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 36-54.
- Riera F., Grau A., Grau A.M., Pastor E., Quetglas A., Pou S. (1999) Ichthyofauna associated with drifting floating objects in the Balearic Islands (western Mediterranean). *Sci. Mar.* 63(3-4), 229-235.
- Rissik D., Suthers I.M. (1996) Feeding in a larval fish assemblage: the nutritional significance of an estuarine plume front. *Mar. Biol.* 125, 233-240.
- Roger C. (1994) The plankton of the tropical western Indian Ocean as a biomass indirectly supporting surface tunas (Yellowfin, *Thunnus albacares* and Skipjack, *Katsuwonus pelamis*). *Environ. Biol. Fishes* Vol. 39 (2), 161-172.
- Romanov E.V. (2002) Bycatch in the tuna purse-seine fisheries of the western Indian Ocean. *Fish. Bull.* 100(1), 90-105.
- Romesburg H.C. (1985) Exploring, confirming and randomization tests. *Comp. Geog.*, 11, 19-37.
- Roos, D., Tessier E., Berthier P., Berthier L. (2000) Fishing in Reunion Island: description and evolution of the fishing techniques with Fish Aggregating Devices (FADs). *In*: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 333-345.
- Roper C., Sweeney M., Nauen C., (1984) Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries. FAO FISH. SYNOP. no. 125, 277 p.
- Rose C.D., Hassler W.W. (1968) Age and growth of the dolphin, *Coryphaena hippurus* (Linnaeus), in North Carolina Waters. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 97, 271-276.
- Rose, C.D., Hassler W.W. (1974) Food habits and sex ratios of dolphin *Coryphaena hippurus* captured in the western Atlantic Ocean off Hatteras, North Carolina. *Trans. Am. Fish. Soc.* **103**, 94-100.
- Roullot J., Venkatasami A., Soondron S. (1988) Dispositifs de concentration des poissons (DCP), l'expérience Mauricienne. *In*: Collective volume of working documents presented at the expert consultation on the stock assessment of tunas in the Indian Ocean, Colombo, Sri Lanka, 4-8 December 1986. Doc. No. TWS/86/26. FAO/IPTP, Colombo, Sri Lanka, pp. 233-250.
- Rountree R.A. (1990) Community structure of fishes attracted to shallow water fish aggregation devices off South Carolina, USA. *Env. Biol. Fish.* 29, 241-262.
- Safran P., Omori M. (1990) Some ecological observations of fishes associated with drifting seaweed off Tohoku coast, Japan. *Mar. Biol.* 105, 395-402.
- Sakamoto R., Taniguchi N. (1993) Stomach contents of dolphinfish *Coryphaena hippurus* caught around bamboo rafts in Tosa Bay, the waters southwestern. *Japan Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr./Suisan Kaiyo Kenkyu*, 57 (2), 17-29.
- Sanchez-Mata A., Mora J. (2000) A review of marine aquaculture in Spain: production, regulations and environmental monitoring. *J. App. Ichthyol.* 16, 209-213.
- Schaefer K.M., Fuller D.W. (2002) Movements, behaviour, and habitat selection of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern equatorial Pacific, ascertained through archival tags. *Fish. Bull.* 100, 765-788.

- Schekter R.C. (1982) Mariculture of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) Is it feasible ? Proc. Gulf Carrib. Fish. Inst., 35, 27-32.
- Shanks A.L. (1983) Surface slicks associated with tidally forced internal waves may transport pelagic larvae of benthic invertebrates and fishes shorewards. Mar. Ecol. Prog. Ser. 24, 289-295.
- Smith M.M., Heemstra P.C. (1986) Smith's Sea Fishes. Eds Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo, 1047 p.
- Stéquert B., Marsac F. (1991) Pêche thonière à la senne : évolution de la technique et bilan de dix années d'exploitation dans l'océan Indien. Editions ORSTOM, Paris, pp 39.
- Stéquert F., Marsac F. (1986) La pêche de surface des thonidés tropicaux dans l'océan Indien. FAO Tec. Rep. N°282, 213 p.
- Stevens P.W., Bennett C.K., Berg J.J. (2003) Flyingfish spawning (*Parexocoetus brachypterus*) in the Northeastern Gulf of Mexico. Environ. Biol. Fish., Vol 67 n°1, 71-76.
- Stuntz W.E. (1981) The tuna-dolphin bond: a discussion of current hypothesis. Southwest Fisheries Center. National Marine Fishery Service, NOAA, La Jolla CA. Administrative Rep. LJ, 19p.
- Takahashi M., Urakawa T., Kasahara F., Kanda A. (1988) JAMARC's activities on tagging on tunas in Indian Ocean. Expert consultation on stock assessments of tunas in the Indian Ocean, Mauritius, 22-27 June 1988. IPTP Collect. Vol. Work. Doc. 3, 208-223.
- Taquet M. (1998) The fish aggregating device (FAD): an alternative to the great fishing pressure on reef resources in Martinique. Proc. Gulf Carrib. Fish. Inst. 50, 248-261.
- Taquet M. (2000) Grands pélagiques et Dispositifs de Concentration de Poissons (DCP) en Martinique (Antilles françaises). Mémoire pour l'obtention du diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, 90 p.
- Taquet M., Reynal L., Laurans M. (2000) Do FADs influence the geographical distribution of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*)? In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Peche thoniere et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 528-536.
- Tessier E., Rey-Valette H., Ah-Nieme D., Bargain R.M., Venkatasamy A., Wendling B. (2000) Halieutic systems and FADs in the Indian ocean: a review of the various trials carried out and the results obtained in terms of integration and overall benefits. In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Peche thoniere et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 159-183.
- Theodorou J. (1999) Greece focuses on marketing seabass and seabream. Seafood Int. 14, 35-36.
- Torres A. (2000) Guam Fish Aggregating Device programme. In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Peche thoniere et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 304-318.
- Van Buurt G. (2000) Implementation of an ongoing FAD programme in Curacao (Netherlands Antilles) during the period 1993-2000. In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 230-249.
- Walker M.M. (1984) Learned magnetic field description in the yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. J. Comp. Physiol. A 155, 673-679.
- Walker M.M., Diebel C.E., Haugh C.V., Pankhurst P.M., Montgomery J.C., Green C.R. (1997) Structure and function of the vertebrate magnetic sense. Nature 390, 371-376.
- Walker M.M., Kirschvink J.L. and Dizon A.E. (1984) A candidate magnetic sense organ in the yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. Science 224, 751-753.
- Wendling B., Le Calvé S. (2000) Technology and use of anchored FADs in the territorial water from the French Republic's Collectivity of Mayotte (Indian Ocean). In: Le Gall J.-Y., Cayre P. and Taquet M. (eds), *Peche thoniere et dispositifs de concentration de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 28, 261-275.
- Wickham D.A., Russell G.M. (1974) An evaluation of mid-water artificial structures for attracting coastal pelagic fishes. Fish. Bull. Vol 72, n°1, 181-191.

- Williams F. (1956) Preliminary Survey of the Pelagic Fishes of East Africa. Colonial Office, London: Her Majesty's Stationery Office, Fishery publication n°8, 67 p.
- Winger P. D., Walsh S. J. (2001) Tagging of Atlantic cod (*Gadus morhua*) with intragastric transmitter: effects of forced insertion and voluntary ingestion on retention, food consumption and survival. *J. Appl. Ichthyol.* 17, 234-239.
- Yu L.S. (1992) Characteristics of formation and behaviour of associated aggregations of tunas in the Western Indian Ocean. Background document for the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11-13, 1992, La Jolla, California. Available from Inter-American Tropical Tuna Commission, 8604 La Jolla Shores Dr., La Jolla, CA 92037. pp. 3.
- Zavala-Camin, L. A., Grassi R. T. B., von Seckendorff R. W., Tiago G. G. (1991) Occurrence of epipelagic fishery resources on the position 22 degree 11'S-039 degree 55'W, Brazil. *Bol. Inst. Pesca Sao Paulo* 18,13-21.

Listes des illustrations

Liste des figures

- Figure 2.1 : DCP opérationnel utilisé par les thoniers senneurs européens dans l'océan Indien.
- Figure 2.2 : DCP expérimental utilisé par l'Ifremer dans le cadre de cette étude.
- Figure 2.3 : Nappe de filet faisant office d'ancre flottante et de matériel attractif opérationnel sous un DCP opérationnel utilisé par les thoniers senneurs européens dans l'océan Indien.
- Figure 2.4 : Sac de riz faisant office d'ancre flottante et de matériel attractif sous un DCP expérimental utilisé par l'Ifremer dans le cadre de cette étude.
- Figure 2.5 : Schéma et principales caractéristiques des DCP ancrés implantés actuellement par les pêcheurs autour de l'île de La Réunion.
- Figure 2.6 : Quelques exemples d'objets flottants permettant l'agrégation de grand poissons pélagiques.
- Figure 2.7 : Le « Portus Veneris » (9,50 mètres) navire support des campagnes côtières DORADE de l'Ifremer autour des DCP ancrés à La Réunion.
- Figure 2.8 : Le palangrier CAP MORGANE (25 mètres) navire support des campagnes hauturières DORADE de l'Ifremer.
- Figure 2.9 : Le navire de recherche Indian Ocean Explorer, basé aux Seychelles.
- Figure 2.10 : Projections (a) des zones et (b) des espèces sur l'axe de l'ACPC inter zones.
- Figure 2.11 : Civière utilisée pour immobiliser, hisser à bord et marquer les dorades coryphènes.
- Figure 2.12 : Station d'écoute positionnée sous un DCP dérivant.
- Figure 2.13 : Distribution de fréquence des profondeurs de nage des dorades coryphènes agrégées sous les DCP dérivants enregistrée à l'aide d'émetteurs acoustiques V16P et de stations d'écoute (N= nombre de détections enregistrées par la station d'écoute pour le poisson considéré)
- Figure 2.14 : Profil bathymétrique de la dorade n°4314 suivie pendant plus de 70 heures sous le DCP dérivant n°1, influence des périodes de jour et de nuit.
- Figure 2.15 : Profil bathymétrique de la dorade n°4263 suivie pendant 78 heures sous le DCP dérivant n°14, influence des périodes de jour et de nuit.
- Figure 2.16 : Profil bathymétrique de la dorade n°4315 suivie pendant 88 heures sous le DCP dérivant n°543, influence des périodes de jour et de nuit.
- Figure 2.17 : Durée d'observation des dorades coryphènes en fonction de la technique de marquage utilisée.

- Figure 2.18 : Durées moyennes des périodes d'agrégation et d'excursion pour chaque dorade coryphène marquée sous les DCP dérivants.
- Figure 2.19 : Proportion du temps d'agrégation en fonction du temps total d'observation des dorades coryphènes sous les DCP dérivants.
- Figure 2.20 : Rythme d'alternance des périodes d'association (en jaune) et d'excursions (en bleu) des dorades coryphènes, comparaison de tous les DCP dérivants étudiés.
- Figure 2.21 : Rythme d'alternance des périodes d'association (en jaune) et d'excursions (en bleu) des dorades coryphènes sous le DCP dérivant n°13.
- Figure 2.22 : Rythme d'alternance des périodes d'association (en jaune) et d'excursions (en bleu) des dorades coryphènes sous le DCP dérivant n°543.
- Figure 2.23 : Rythme d'alternance des périodes d'association (en jaune) et d'excursions (en bleu) des dorades coryphènes sous le DCP dérivant n°789, avant et après séparation.
- Figure 3.1 : Carte des positions des opérations de prélèvements.
- Figure 3.2 : Distribution des dorades coryphènes échantillonnées en fonction de la technique de pêche.
- Figure 3.3 : Distribution des dorades coryphènes échantillonnées en fonction du type d'agrégation.
- Figure 3.4 : Composition en taille de l'échantillon de dorades coryphènes.
- Figure 3.5 : Comparaison du poids du contenu stomacal en fonction de la classe de taille des dorades coryphènes observées. (1) $L_f < 85$ cm, (2) $85 \text{ cm} \leq L_f < 100$ cm, (3) $100 \text{ cm} \leq L_f < 110$ cm, (4) $L_f \geq 110$ cm.
- Figure 3.6 : Comparaison en nombre d'individus des familles observées dans les estomacs de coryphènes et dans le milieu naturel (* non poissons).
- Figure 3.7 : Proportions en nombre (a) et en poids (b) des proies de la dorade coryphène agrégée, en fonction du compartiment écologique d'origine de ces proies.
- Figure 3.8 : Distribution du poids (en g) des contenus stomacaux de la dorade coryphène en fonction du type d'agrégation : (1) DCP dérivants, (2) DCP ancrés, (3) épaves naturelles, (4) bancs libres.
- Figure 3.9 : Importance relative des familles de proies (en nombre moyen d'individus par estomac), selon le type d'agrégation.
- Figure 3.10 : Variation de l'importance relative des familles de proies dans le régime alimentaire des dorades coryphènes en fonction du type d'agrégation. Projection (a) des types d'agrégation et (b) des indices IRI (en poids) des familles de proies sur le premier plan factoriel de l'ACP centrée (axe 1 : 57.8 %, axe 2 : 28.7%).

Figure 3.11 : Importance relative des familles de proies, exprimée par les valeurs de l'indice IRI en poids, en fonction du type d'agrégation.

Figure 4.1 : Le comportement agrégatif et trophique de la dorade coryphène, l'hypothèse du « Garde-manger » illustrée par une aquarelle réalisée par Alain Diringer.

Liste des tableaux

- Tableau 2-I : Inventaires sous-marins réalisés sous le DCP n°11.
- Tableau 2-II : Inventaires sous-marins réalisés sous le DCP n°10
- Tableau 2-III : Inventaires sous-marins réalisés sous le DCP n°12.
- Tableau 2-IV : Nombre de dorades coryphènes et nombre d'espèces inventoriées sous les DCP dérivants classés par ordre croissant d'âges du dispositif au moment de la première observation. Les DCP n°7, 8 et 9 (en grisé) constituent à l'origine un seul ensemble agrégatif, séparé par la suite en 3 DCP dérivants distincts.
- Tableau 2-V : Comparaison des listes faunistiques issues des campagnes DORADE (au large de La Réunion) et des campagnes FADIO (au large des Seychelles).
- Tableau 2-VI : Comparaison des inventaires faunistiques issus de trois types d'agrégation : DCP dérivants, DCP ancrés et épaves naturelles.
- Tableau 2-VII : Récapitulatif des marquages acoustiques réalisés sur les dorades coryphènes, caractéristiques des marquages et durées d'agrégation totale.
- Tableau 3-I : Inventaires des familles de proies potentielles (a) et des prédateurs (b) rencontrées sous les divers DCP étudiés.
- Tableau 3-II : Compartiment écologique des familles de proies observées dans les estomacs des dorades coryphènes.
- Tableau 3-III : Valeurs de l'indice IRI en taille pour les principales familles de proies observées dans les estomacs de dorades coryphènes.
- Tableau 3-IV : Valeurs de l'indice IRI en poids pour les principales familles de proies observées dans les estomacs de dorades coryphènes.

Annexes

Annexe 1 : Historique des principales expériences DCP dans le monde (5 pages)

Annexe 2 : Parcours des DCP expérimentaux de l'Ifremer (11 pages)

Annexe1 : Historique des principaux projets d'implantation de DCP

Océan Indien
Type : Payao - Année : 1920 Lieu : Sud est de l'inde (Tamil Nadu) 1er réf : M. Bergstrom (83)
Type : DCP côtier (70-80m) - Année : en 1956 Lieu : Anjouan-Comores 1er Réf : Venkatasami (91) Symposium Colombo (90)
Type : DCP côtier (60-100m) - Année : vers 1960 Lieu : Anjouan-Comores 1er Réf : Cayré (91) Symposium Colombo (90)
Type : DCP semi lourd (fao) - Année : en 1980 Lieu : Maldives 1er Réf : rapport maldives Inspiré des expérience Hawai (Bergstrom 83) rapport jaune
Début des années 80 début des senneurs à partir des Seychelles. Suite à des essais japonais, des expérimentations de coup de senne autour de DCP ancrés entre les Seychelles et les Chagos et les Maldives sont opérées entre 86-87. Ventkatasami (91) Symposium Colombo
Type : 5 DCP (1500m) posés par ORSTOM - Année : en 1982 Lieu : Seychelles 1er Réf : Venkatasami (91) Symposium Colombo (90)
Type : DCP modèle Maldives - Année : en 1982 Lieu : Sri Lanka 1er Réf : Atapattu A.R. Symposium Colombo 91
Type : DCP (350m) - Année : en 1982 Lieu : Grande-Comore 1er Réf : De San (82) in Venkatasami (91) Symposium Colombo (90)
Type : DCP semi lourd - Année : en 1983 Lieu : Maurice 1er Réf : Roullot & Venkatassami
Type : 2 DCP lourd bouées chalut (250 litres) - Année : en 1984 Lieu : Zanzibar 1er Réf : Venkatasami (91) Symposium Colombo
Type : 15 DCP Bamboo SFA - Année : en 1984 Lieu : Seychelles 1er Réf : Venkatasami (91) Symposium Colombo
Type : DCP semi lourd - Année : en 1984 Lieu : Comores 1er Réf : Le Touz et al. 89 Cayré (91) Colombo
Type : 2 DCP modèle Mauricien (1700-1800m) - Année : en 1986 Lieu : Anjouan-Comores 1er Réf : Venkatasami (91) Symposium Colombo (90)
Type : 2 DCP Bouées de Chalut SFA - Année : en 1986 Lieu : Seychelles 1er Réf : Venkatasami (91) Symposium Colombo
Type : DCP semi lourd - Année : en 1988 Lieu : La Réunion 1er Réf : Biais et Taquet 90
Type : 6 DCP SFA - Année : en 1988 Lieu : Seychelles 1er Réf : Venkatasami (91) Symposium Colombo
Type : 7 DCP profond+ 2 shallow water modèle Mauricien - Année : en 1989 Lieu : Nosy Bé - Madagascar 1er Réf : De San 92 et Venkatasami 92 (précision sur Types) Symposium Colombo 90
Type : DCP semi lourd - Année : en 1991 Lieu : Mayotte 1er Réf : Taquet 91

Atlantique Ouest	(Suite)
Type : 1 - DCP Bamboo Bundle ancré - Année : 1968 Lieu :Curacao Durée de vie: 5 jours Réf. Wolf 74, MFReview n°36 78-87. Projet UNDP-FAO	Type : 22 DCP (14m) petits pelagiques - Année : en 1985 Lieu : Caroline du sud USA 1er Réf : R.A. Rountree 90
Type : 1 - DCP Bamboo Bundle ancré - Année : 1968 Lieu :Bonaire Durée de vie: 5 jours Réf. Wolf 74, MFReview n°36 78-87.	Type :16 DCP McIntosh (plan joint) (90m) - Année : en 1985 Lieu : St Kitts (carte de situation) Réf : Melvin H. Goodwin (PhD) 1986.
Type : 4 - DCP Bamboo bundle - Année : 1969 Lieu :Barbados Durée de vie: 7 jours Puis 5 autre entre février et juin 71 (dont fishing fish pot) Réf. Wolf 74, MFReview n°36 78-87.	Type : DCP 2 ligne de 3 dispositifs lourd (90 m) - Année : en 1986 Lieu : Puerto Rico 1er Réf : Feigenbaum et al (39 GCFI) Prado (91) Symposium Colombo
Type : DCP cotiers (p. pélagiques) (9- 18 m) - Année : en 1970 Lieu : Panama City (Floride) Réf : Wickham & Russel 74 Fish. Bull.	Type : DCP - Année : en 1986 Lieu : Virginie USA 1er Réf : Feigenbaum et al (39 GCFI)
Type : DCP dérivants avec fish pot - Surface Année : du 19/05 au 5/06/71 Lieu :du large de Barbados à ste Lucie Durée de vie: 18 jours Pêches expérimentales Réf. Wolf 74, MFReview n°36 78-87.	Type : DCP type McHintosh-C.Langlais - Année : en 1988 Lieu : Bouillante (Guadeloupe) Réf : Paulmier 92 - Rap. Mis.
Essai de midwaters FAD fait de nasses en roseau expérimenté en Jamaïca avant 82 . De Silva 82 in Workman et al 85	Type : DCP - Année : en 1988/89/90 Lieu : Dominique 1er Réf : Prado (91) Symposium Colombo Harold Guiste com.pers. Enquête Caraïbe
En 79, l'introduction de DCP dans les petits états caraïbes est évoquée. Conf. On Envir. Management et Economic Growth of smaller caribbean islands Mcintosh (1982) 37 GCFI	Type : DCP Tenue quelques mois seulement - Année : vers 1989/90 Lieu : Haïti 1er Réf : Prado (91) Symposium Colombo
Type : DCP midwaters (coastal pelagic fishes) - Année : en 1980 Lieu : St Thomas U.S. Virgin island 1er Réf : Clavijo, Laplace et Tobias 87	Type : DCP - Année : en 1989 Lieu : Puerto Rico 1er Réf : Friegenbaum et al. 89 in Polovina (91) Symposium colombo
Type : 2 DCP (120-250 m) posés par un pêcheur sportif - Année : en 1980 Lieu : San Juan (Puerto Rico) Réf : Campos com.pers in McIntosh (37 GCFI)	Type : DCP flotteur catamaran - Année : en mai 1989 Lieu : Grenade 1er Réf : Prado (91) Symposium Colombo
Type : DCP midwaters - Année : entre 1983 et 1984 Lieu : St Croix U.S. Virgin island 1er Réf : McIntosh (37 GCFI)	Type : DCP - Année : Recently 1990 ? Lieu : Haïti 1er Réf : Prado (91) Symposium Colombo
En 83, Le 36 eme GCFI, défini le developpement des DCP comme une haute priorité en Caraïbe.M. Goodwin 86	Type : quelques DCP experimentaux - Année : entre 1990 et 1996 Lieu : Cuba Réf : Carlos Carles Martin - Enq. Caraïbes - Enq.Caraïbes
DCP introduit au USA en 1970 -(Myatt & Myatt 1982) Avec 2 types differents: 1- Océanique (Hawai : Matsumoto et al. 1981) 2- Côtier (Caroline du sud : Hammond et al . 1977) Myatt & Myatt 1982, 1985	Type : 1 DCP modele FAO - Année : en 1991 Lieu : Grenada Réf : Baldeo - Enq.Caraïbes
Type : DCP lourd - Année : décembre 1982 Lieu : Martinique 1er Réf : Sacchi et Lagin 83 Idée vient de lecture article EVAAM	Type : DCP Lourds - Année : en 1993 Lieu : Curacao Réf : Gerard van Buurt
Divers programmes DCP de Virginie en Caraïbe voir (De Silva 1982, Mc Intosh 1985 et 1986) (Murray et al. 1985, Myatt 1985, Clavijo et al. 1987) Référence in Feigenbaum (39ème GCFI)	Type : 2 DCP modele local en Bambou - Année : en 1996 Lieu : Grenada Réf : Baldeo - Enq.Caraïbes
Type : differents types de DCP + ARS associés - Année : entre 1984 et 1986 Lieu : St Thomas U.S. Virgin island 1er Réf : Friedlander et Beets (41 GCFI)	Type : 1 DCP modele japonais - Année : en 1994 Lieu : Grenada Réf : Baldeo - Enq.Caraïbes
Type : DCP en bambou (100-450m) - Année : en 1985/86 Lieu : Brésil 1er Réf : Prado (91) Symposium Colombo	Type : DCP modele Martinique - Année : en 1997 Lieu : St Lucia Réf : Peter A. Murray Enq.Caraïbes
Type : DCP expérimentation avec Epave et Ars - Année : 1985 18 m de fond à 20 km au large Lieu : Onslow Bay -Caroline du Nord USA 1er Réf : Stephan & Linguist 89 Bull. Of Mar. Science	Type : DCP lourd ancré - Année : 90 Lieu : Flottille Thonière Vénézuëla Réf : Van Buurt Com.pers.

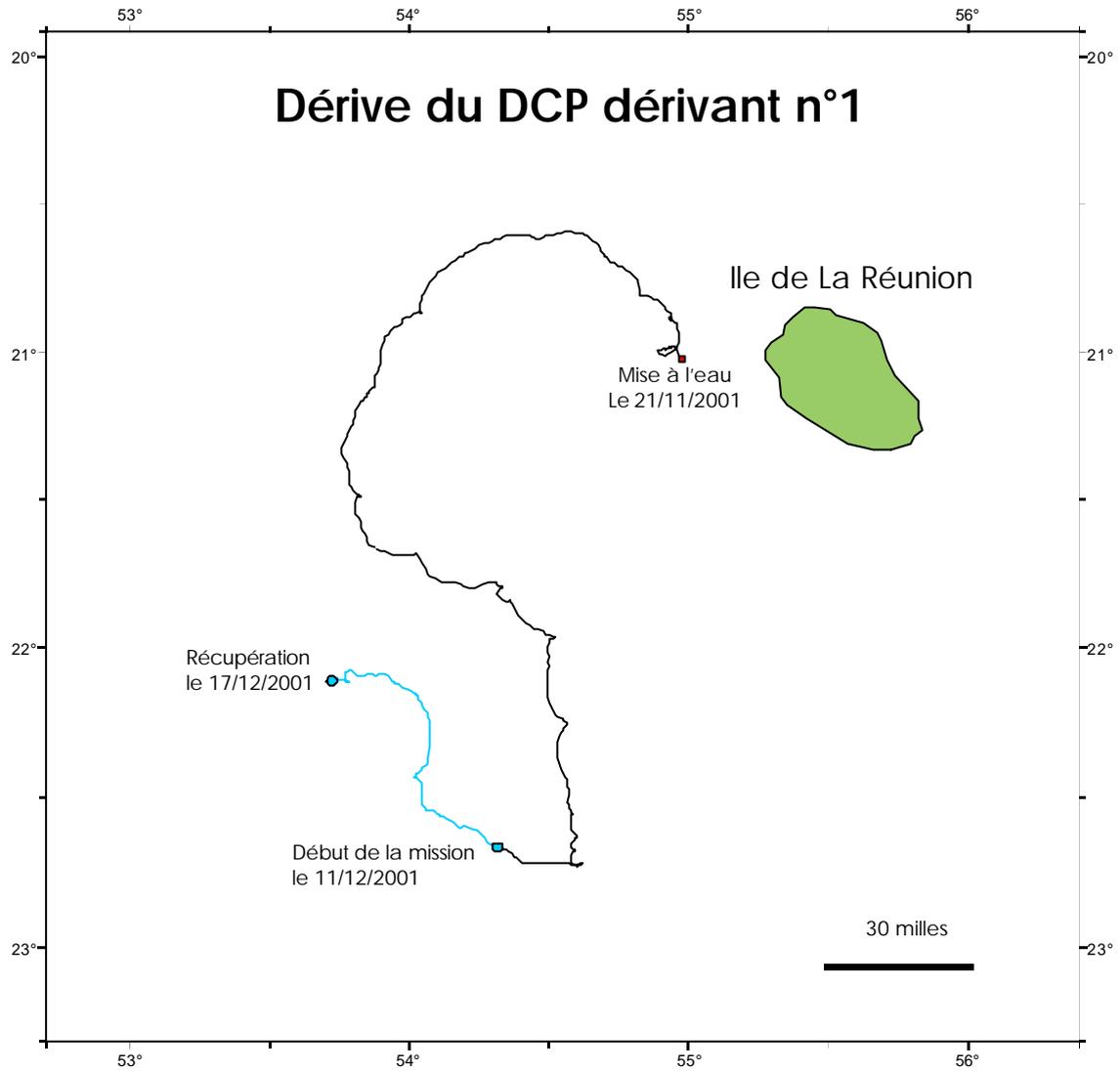
Atlantique Est	Méditerranée
Type : DCP subsurface à 30 nm de la côte Année : fin ou après 1983 Lieu : Large de Lagos (Nigeria) Réf : T.O. Ajayi et al. (94) - res. Bull. Marine Scie.	Type : DCP fait de fagots de roseaux ancrés avec une pierre. 200 ans avant J.C. - Oppian in Halieutica (traduit du Grec par J. Jones 1722)
Type : DCP (200m) expérience ORSTOM Année : en 1982 Lieu : au sud de l'équateur 1er Réf : Bard et al (85) Pech. Marit.	Type : Kannizzati (dorades) (150 - 800m) plan et détails Année : en 1960 30% des captures annuelles en 3 mois sous les Kannizzati Lieu : Malte 1er Réf : Galea (61) doc FAO n°6
Type : 14 DCP dérivants expérience CRO-ORSTOM Année : en 1983-84 Lieu : large du Libéria 1er Réf : Bard et al (85) Pech. Marit.	Type : Kannizzati (dorades) Année : Temps anciens 30% des captures annuelles en 3 mois sous les Kannizzati Lieu : Malte 1er Réf : Relini et al. (94) Bull of Marine Science Prado (91) Symposium Colombo
Type : DCP local + japonais Année : en 1989 Lieu : Cap Vert 1er Réf : Prado (91) Symposium Colombo	Type : Cannizzati ou canizzi (dorades) Année : ? Lieu : Sicile 1er Réf : Relini et al. (94) Bull of Marine Science
Type : 2 lignes de 5 DCP midwater (20m) + comparaison avec Ars associés Année : en 1990 Lieu : Iles Canaries Réf : Bortone et al. 94 - Bull Of Marine Science	Type : Capcer (dorades) Année : ? Lieu : Majorca 1er Réf : Relini et al. (94) Bull of Marine Science
	Type : Bouee Oceano (1100m) Année : en 1987 Lieu : 35 miles au large de Genes 1er Réf : Relini et al. Bull off Marine science 94
	Type : DCP légers Année : en usage actuellement Lieu : Malte, Tunisie, Sicile, Baléares 1er Réf : Morales-Nin et Massuti (99)

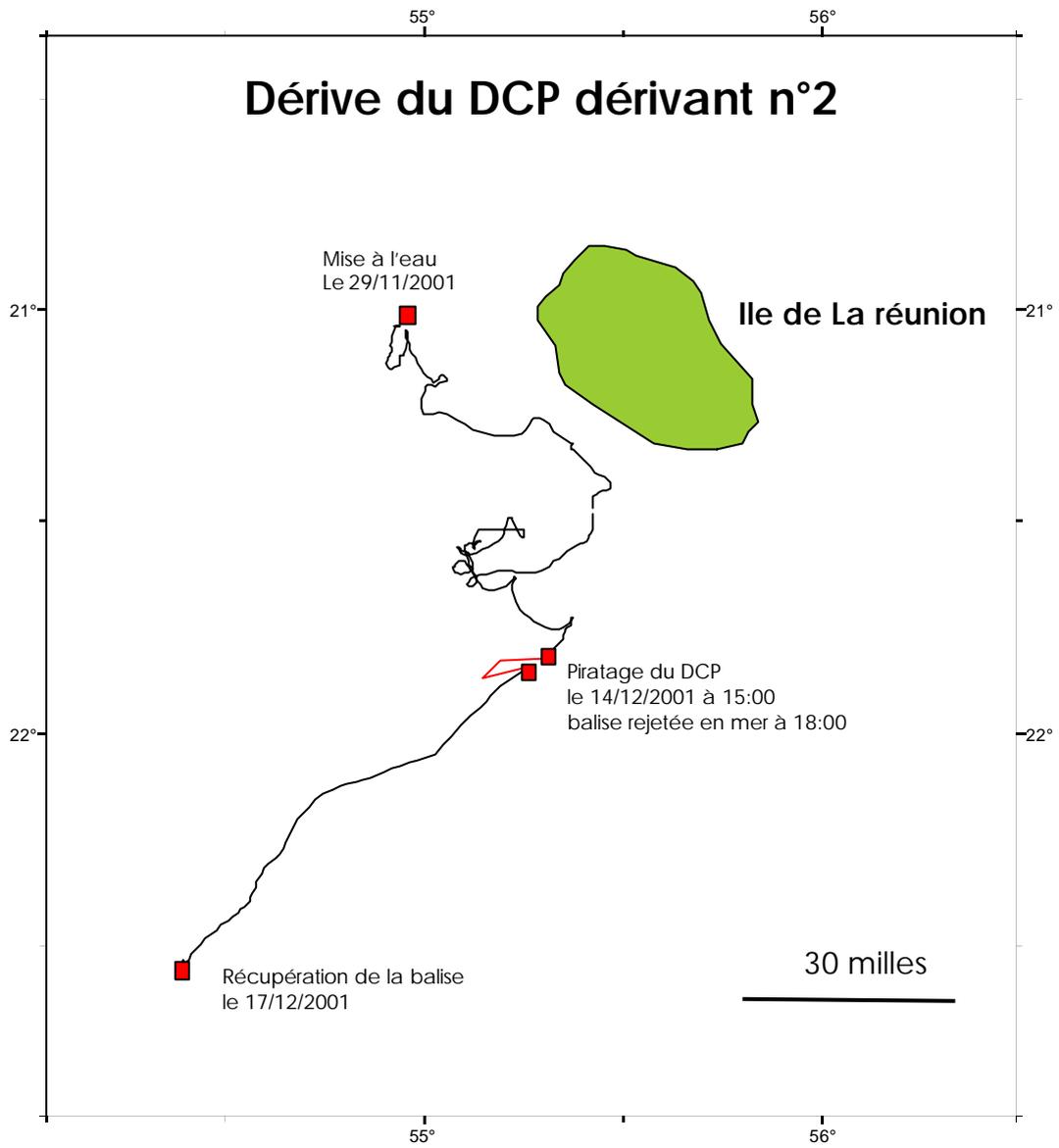
Asie du Sud-Est	Pacifique Ouest
Type : Payao Année : début du 20ème siècle Lieu : Indonésie et Philippines 1er réf : Anderson et Gates (98) Hardjono (91) Colombo cite Van Kompen 1909 in Hudenberg 1932 cité par Bailey et al 87	Premier AR officiellement connu au Japon avant 1650, (Nakamae, 91) Colombo. Pour les DCPs, Les "Shiira Tsuke" seraient utilisés dans la région (Japon mer de Chine) avant le début du 20ème (100 ans ago 1990)
Type : Payao Année : avant la 2ème Guerre mondiale Lieu : Philippines 1er réf : Virginia L. Aprieto (1991) Symposium Colombo 91	Type : Shiira tsuke (Dorades, Serioles) (séries de DCP ancrés) Année : avant 1962 Lieu : Japon 1er Réf : F. Simard (91) Symposium Colombo Précision : depuis 62 nécessité d'une licence pour poser et une pour exploiter
Type : Payao pour la Pêche thonière Année : 1976 Lieu : Philippines 1er réf : Virginia L. Aprieto (1991) Symposium Colombo 91 <u>note : avant 76, payao plutôt utilisé pour la pêche côtière</u>	Type : Moored Raft of Bambou (dorades) Année : avant 1955 Lieu : Japon 1er Réf : Kojima 55 in Hunter & Mitchell n°66: 1
Terminologie des DCP côtiers dans cette région Philippines : Payao Malaisie : Unjang Indonésie : Rumpon	Type : Tsukegi (dorades) Année : avant 1964 Lieu : Japon 1er Réf : Kojima 60
	En 1983, Marcille (Pech. Marit.) évoque l'utilisation de radeau en bambou pour la pêche à la senne

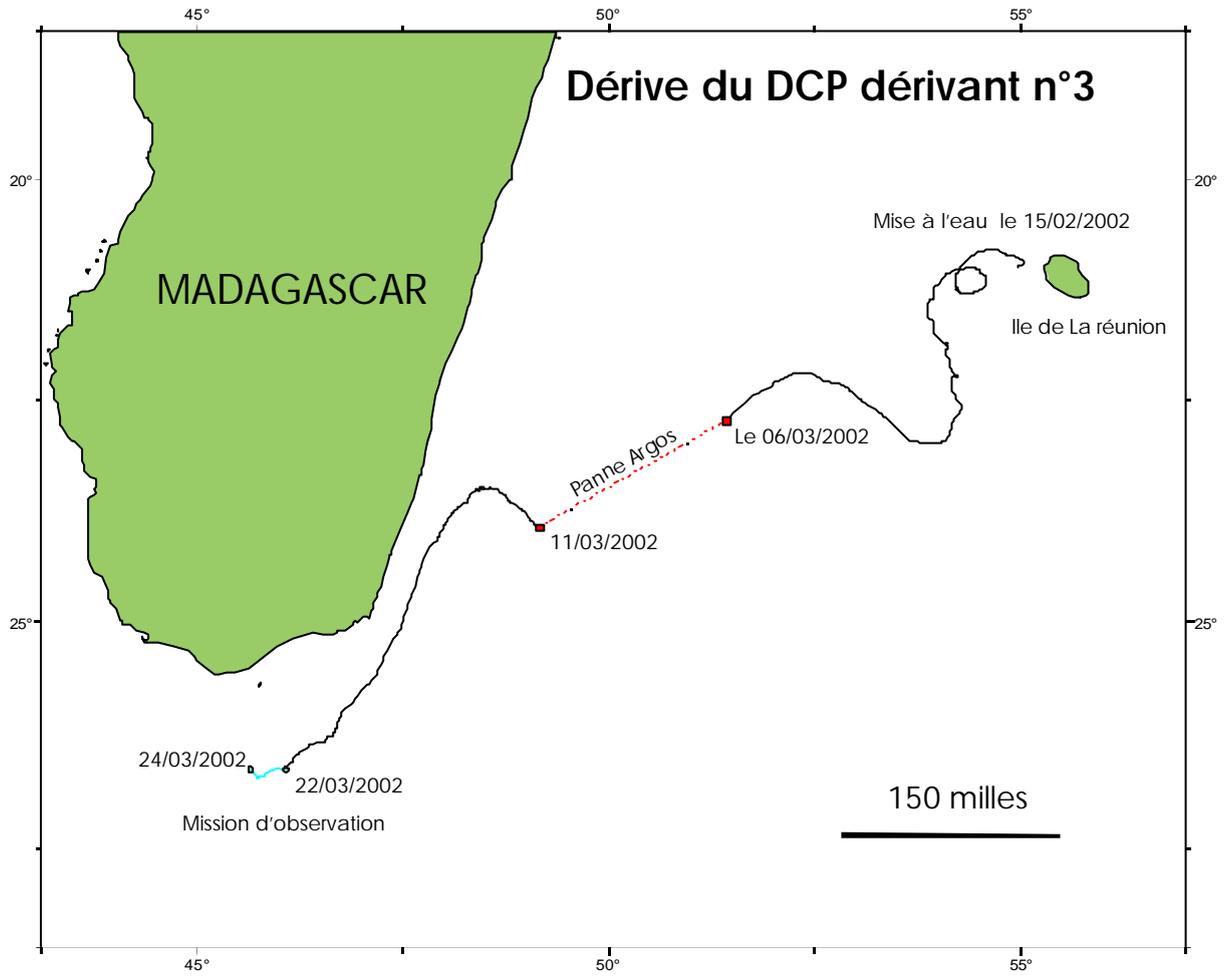
Pacifique Sud
Type : DCP - Année : vers 1970 Lieu : Pacifique sud 1er Réf : IWAKA 81 in Pascal Bach AICA 92
Preston (91) Colombo C'est la combinaison des bons résultats obtenus à Hawaï sur les DCP et les informations sur les Payaos aux Philippines qui a favoriser l'introduction et le développement des DCP dans le Pacifique sud.
Type : DCP ? - Année : en 1979 Lieu : Guam 1er Réf : Rapport GUAM ?
Type : DCP - Année : en 1979 Lieu : Guam 1er Réf : Bergstrom 83
Marcille 79 La Peche Maritime 1219 : 590-594 Recommande l'usage de DCP pour les DOM -TOM
Type : DCP - Année : en 1980 Lieu : Palau 1er Réf : Bergstrom 83 (avec précision techniques)
Type : DCP - Année : en 1979/80 Lieu : Samoa Réf : Thèse Nguyen Bergstrom 83 (avec plan DCP) Buckley et al.(89) Bull. Marine science
Type : DCP - Année : en 1980 Lieu : Marianas 1er Réf : Bergstrom 83
Type : DCP - Année : en 1980 Lieu : Rarotonga 1er Réf : Neil Sims (Workshop Nouméa 88)
Type : DCP - Année : en 1981 Lieu : Tahiti 1er Réf : Ugolini et Robert
Type : DCP - Année : en 1981 Lieu : Samoa 1er Réf : Bergstrom 83
Type : DCP - Année : en 1981 Lieu : Australia 1er Réf : Bergstrom 83 Avec plan
Type : DCP - Année : en 1982 Lieu : New Zeland 1er Réf : Bergstrom 83 Avec plan

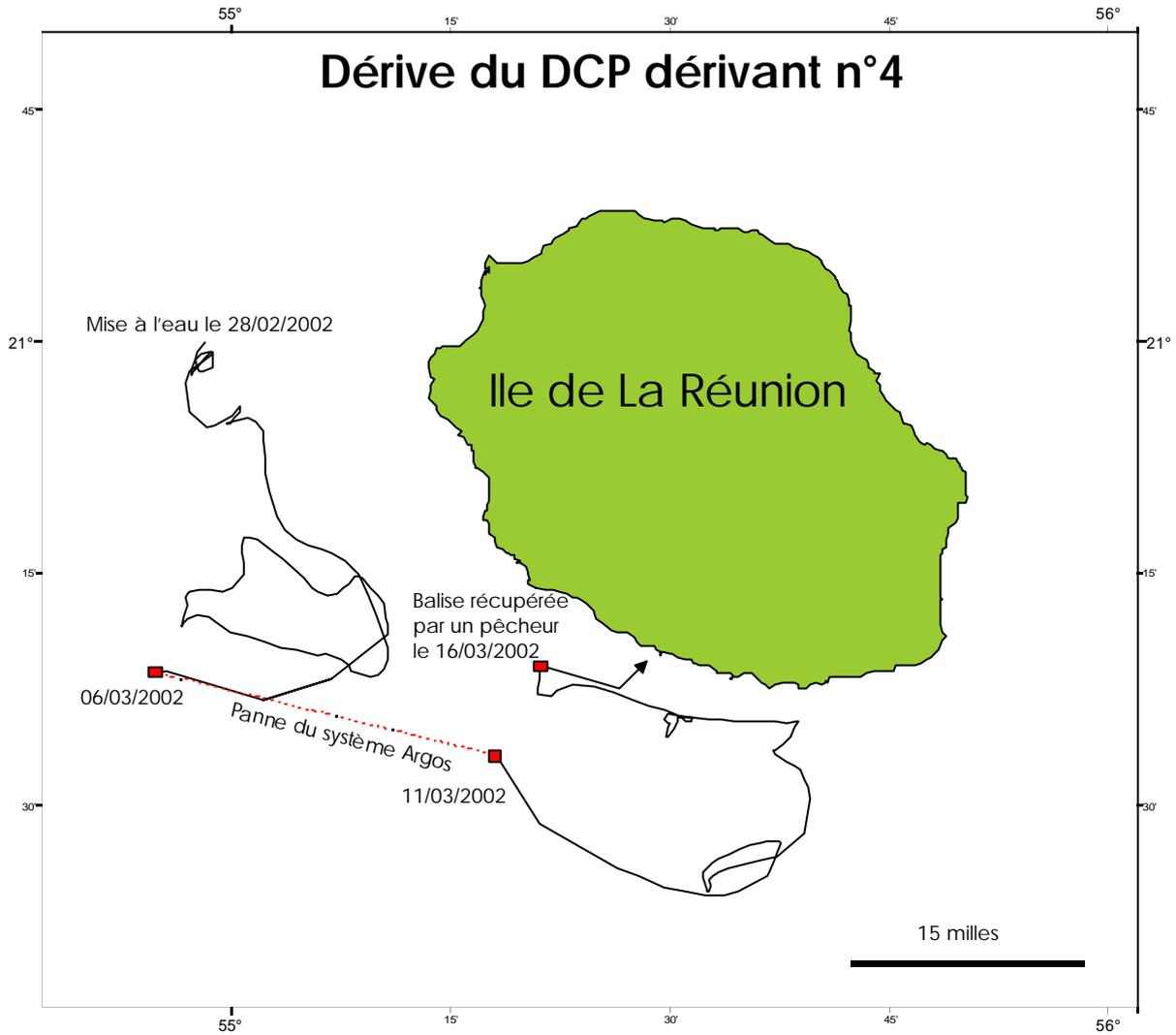
Pacifique Centre et Est
Type : DCP leger (100m) 7milles au large - Année : en 1963 expérimental durée de vie de 15 h à 46 jour Lieu : Costa Rica (Côte Pacifique) Réf : Hunter & Mitchell 1966 - Fishery Bull vol 66n°1
Début des essais de pêche du thon à la senne sur épaves dérivantes naturelles par les américains dans le pacifique central et ouest en 1976. Marcille(79)
Type : DCP lourd (450-650 m) SFC/NMFS - Année : en mai 1977 Lieu : Hawaiï Réf : Marcille (79) la Pêche Marit. Matsumoto et al. 81
Type : 26 DCP lourds (146-2761 m) - Année : en 1980 Lieu : Hawaii (main island) 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.
Type : 26 DCP lourds - Année : en 1981 pentashere remplacement des précédents Lieu : Hawaii (main island) 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.
Type : DCP midwater - Année : en 1981 Lieu : Hawaii (Oahu) 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.
Type : 3 DCP sphere en test - Année : en 1982 Lieu : Hawaii (Maui and Hawaiï) 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.
Type : DCP spheres - Année : en 1983 remplacent tous les autres DCP Lieu : Hawaii (Maui and Hawaiï) 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.
Type : 1 DCP ? experimental - Année : vers 198? Lieu : Etat de Washington Réf : Buckley (94) bull. of Marine Science
Type : 24 DCP spheres supplémentaires - Année : en mai 1985 Lieu : Hawaii (toutes îles) 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.
Type : 10 DCP midwater - Année : en mai 1986 Lieu : Hawaii (Waianae, Oahu) 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.
Type : 5 DCP midwater + 8 surface DCP - Année : en 1989 Lieu : Hawaii 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.
Type : 12 DCP midwater - Année : en décembre 1989 Lieu : Hawaii 1er Réf : Higashi (1994) Bull. Mar. Scien.

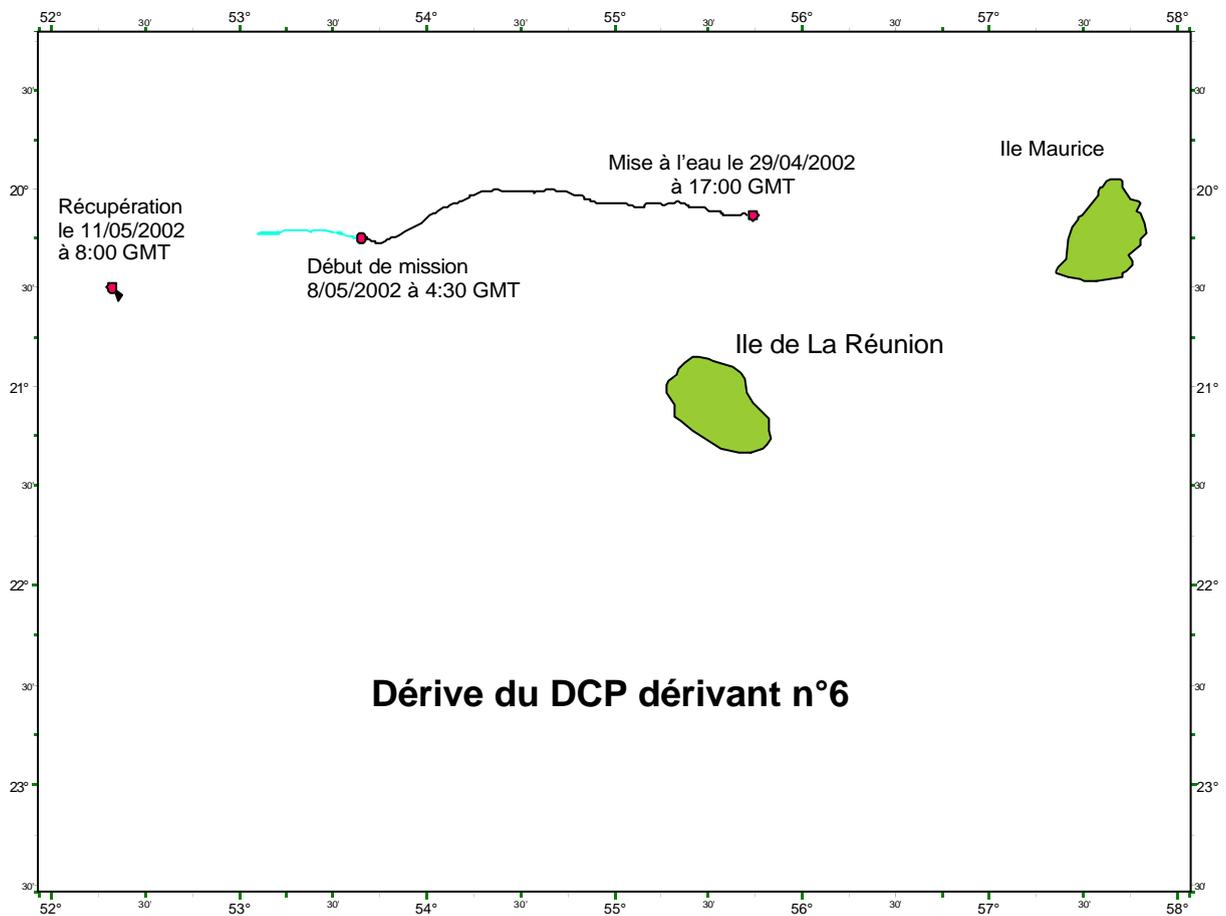
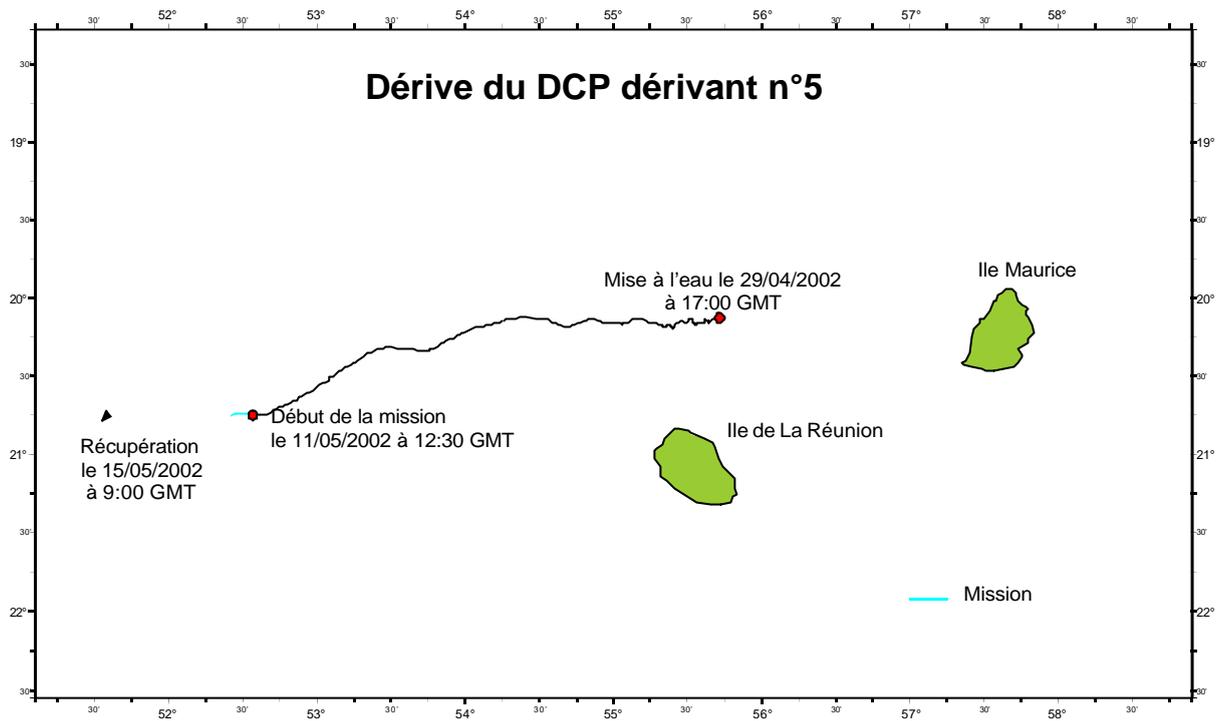
Annexe 2 : Dérives des DCP expérimentaux de l'Ifremer

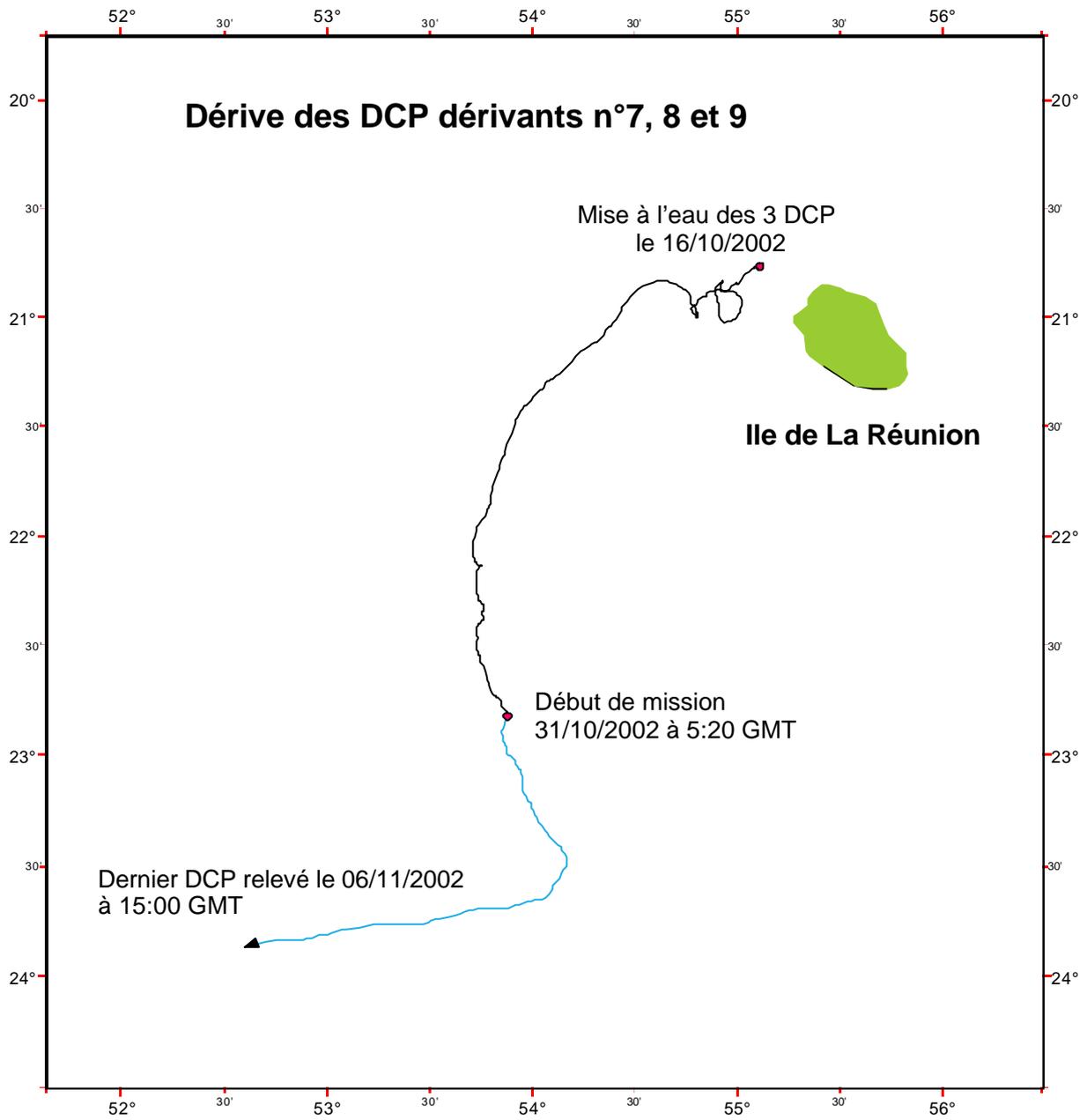


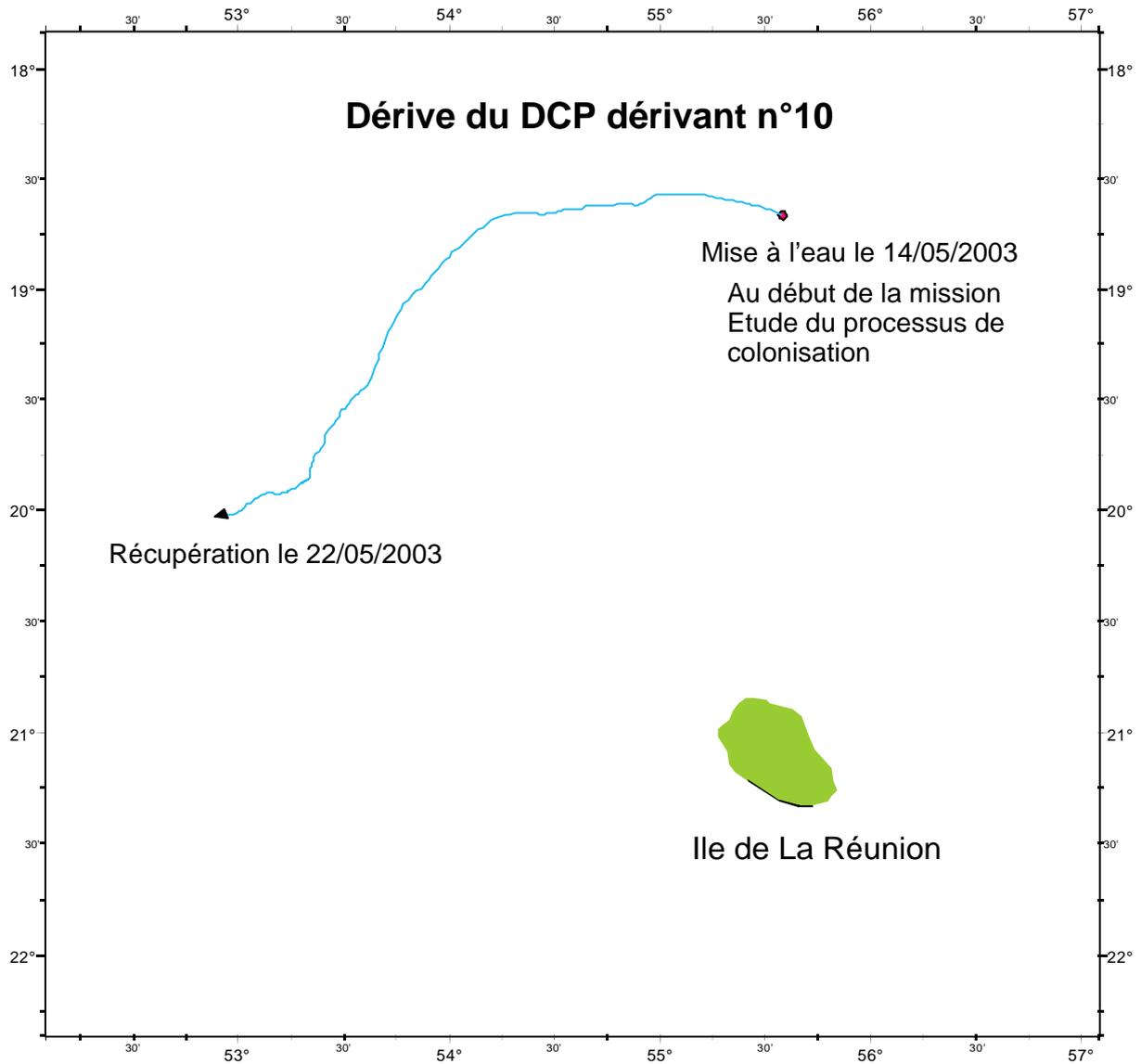


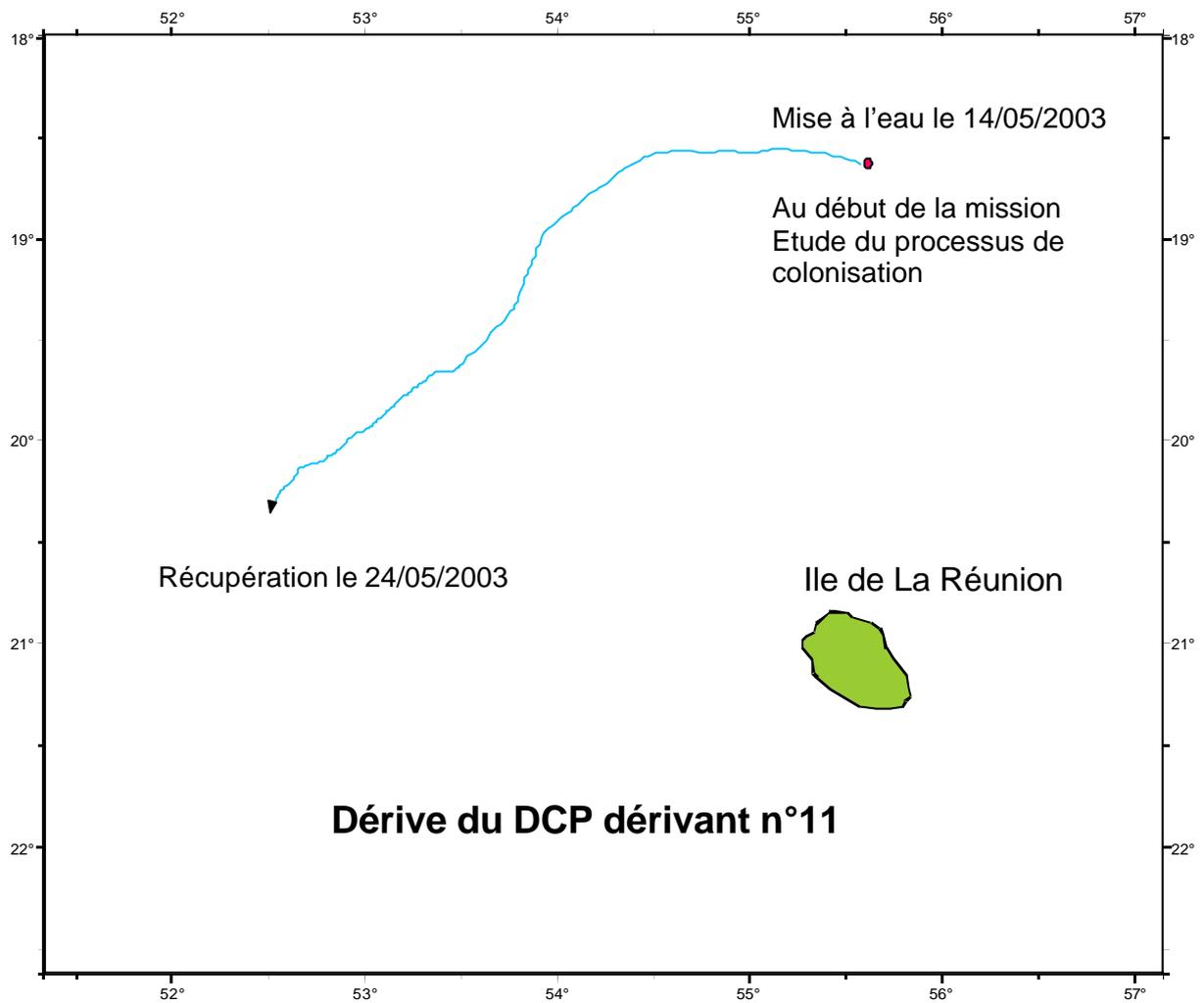


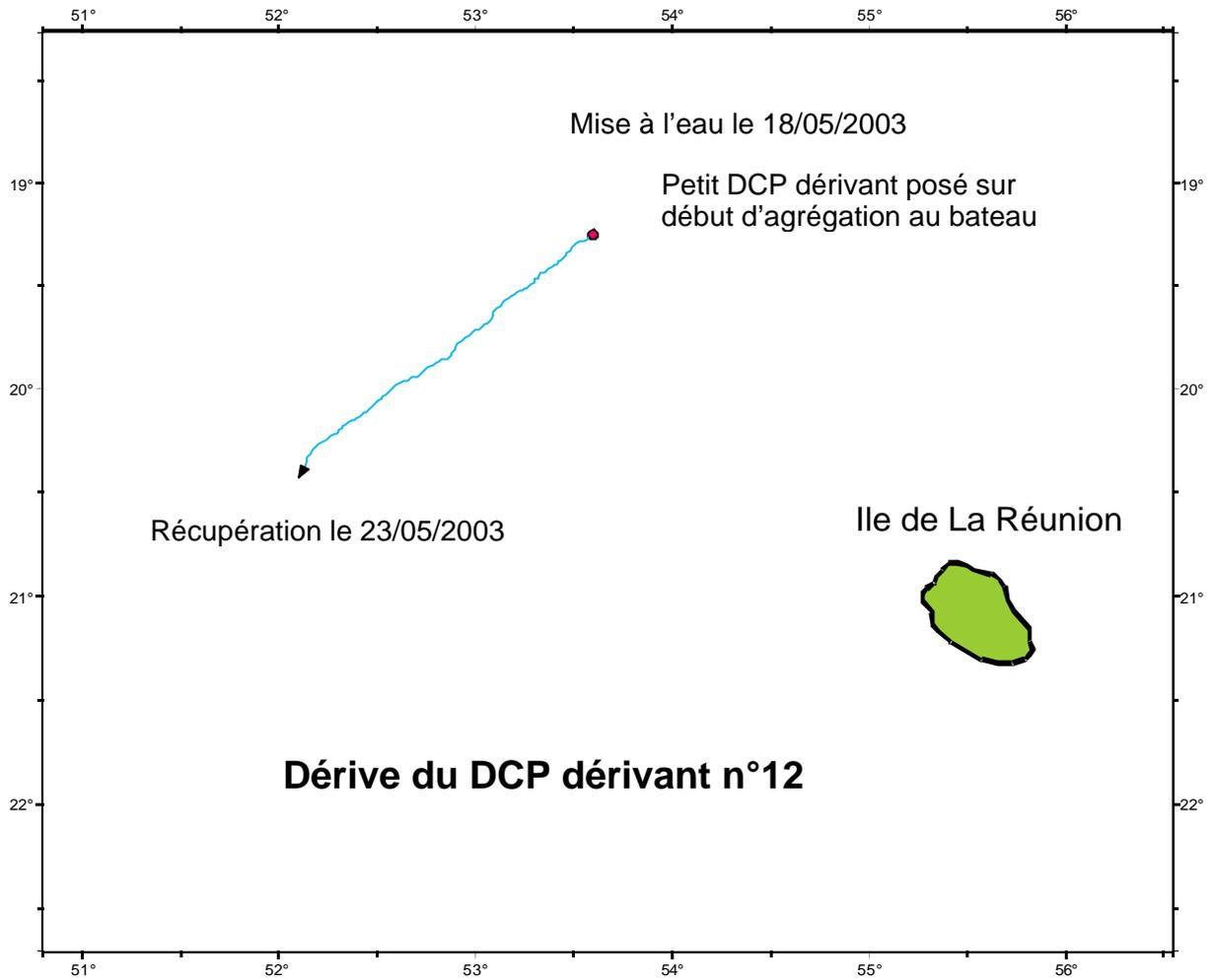


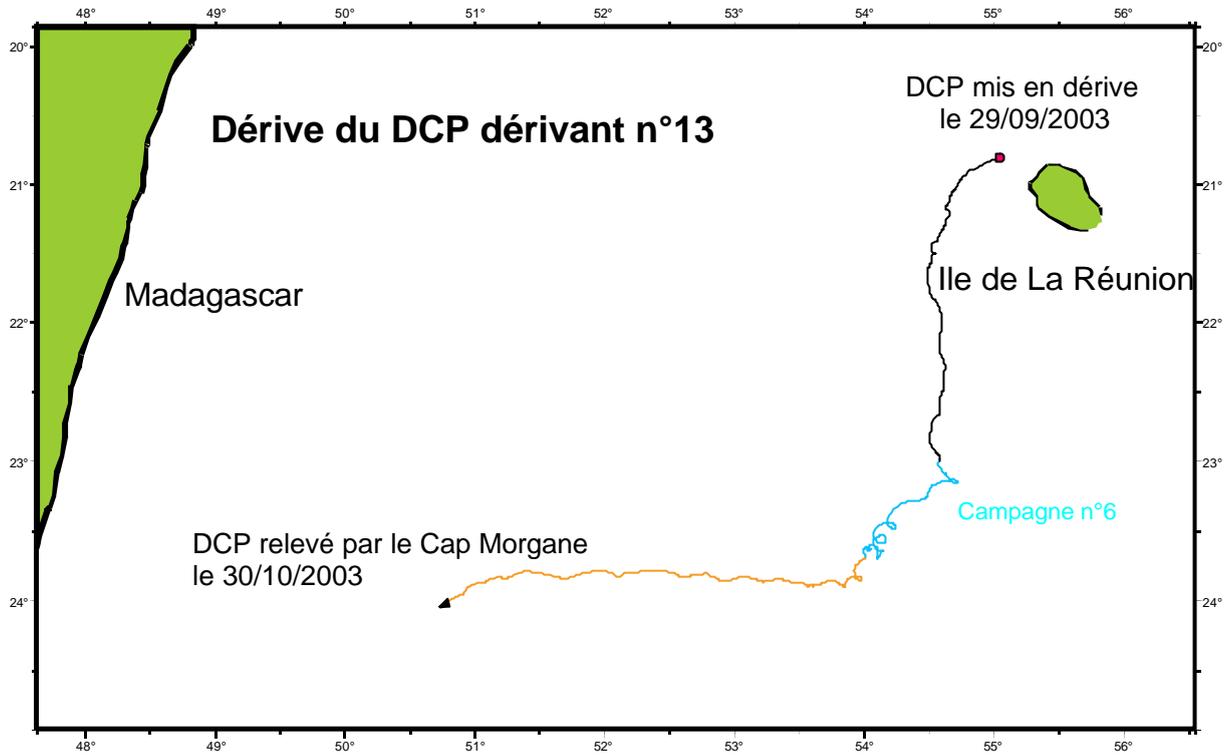


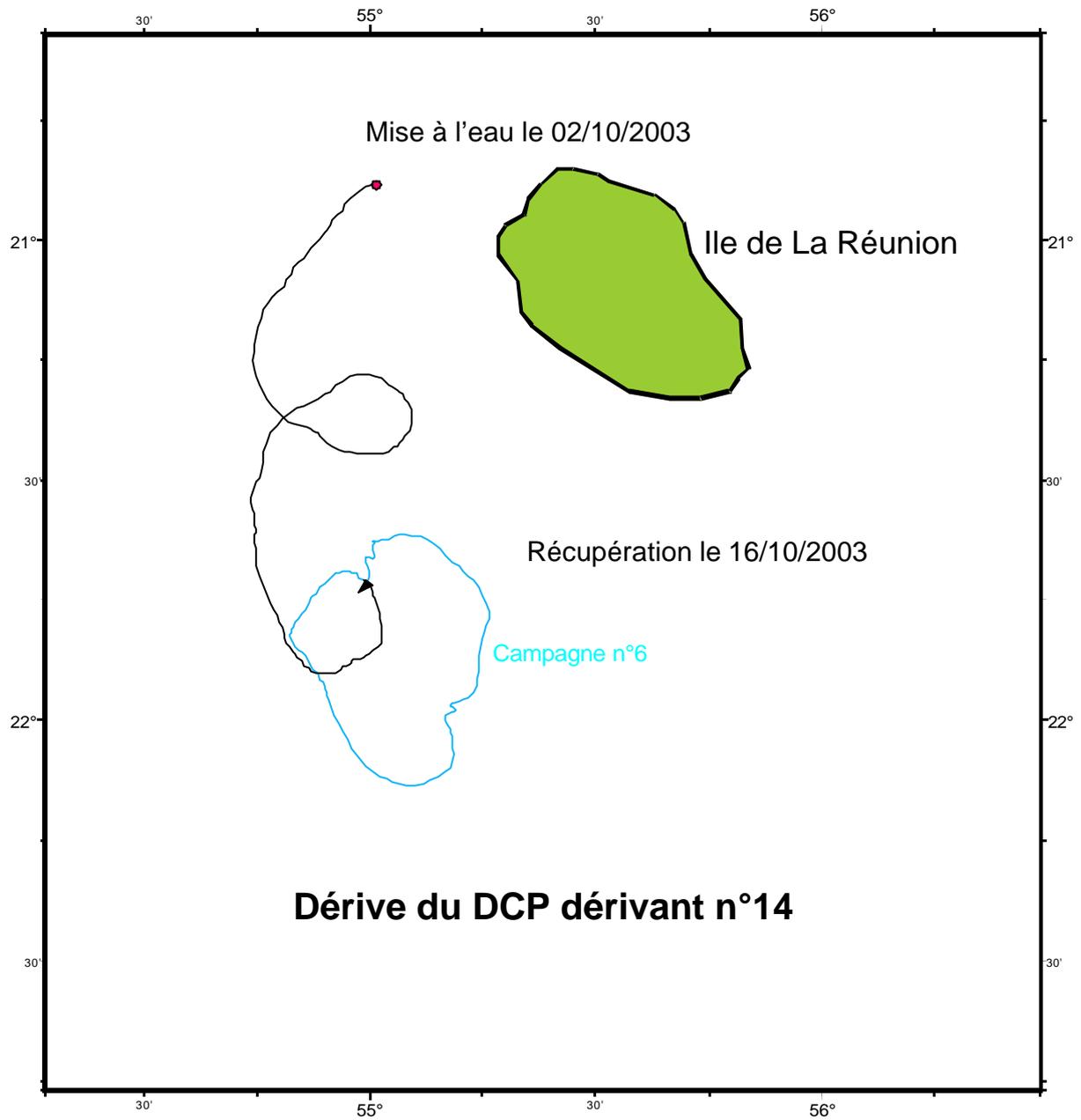












Résumé étendu

Utilisée dès l'antiquité par les pêcheurs artisans de Méditerranée, l'agrégation des grands poissons pélagiques autour des objets flottants constitue désormais un phénomène majeur pour les pêcheries thonières mondiales. L'usage de dispositifs de concentration de poissons dérivants (DCP), radeaux de bambou mis volontairement en dérive par les thoniers senneurs océaniques pour les besoins de la pêche, s'est fortement développé dans les 20 dernières années. Actuellement, les prises annuelles de thons sous ces épaves dérivantes représentent 1.2 million de tonnes pour les trois océans auxquelles il faut ajouter plusieurs centaines de milliers de tonnes d'espèces accessoires. Paradoxalement, le phénomène agrégatif des grands poissons pélagiques reste encore peu étudié. Si des hypothèses ont récemment été avancées pour tenter d'expliquer le déterminisme de ce comportement chez les thons, ces hypothèses reposent en majorité sur des travaux scientifiques développés autour de DCP ancrés. Or ces deux types de DCP (ancrés et dérivants) présentent des singularités qui rendent délicate toute transposition des résultats d'un type de DCP à l'autre. Les enjeux en terme de gestion des stocks concernés sont également bien différents. C'est pourquoi nous avons choisi d'orienter principalement nos travaux sur les agrégations autour des DCP dérivants. La dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*) est l'une des espèces les plus abondantes dans les captures accessoires de la grande pêche industrielle thonière à la senne. Parallèlement, c'est une espèce à fort potentiel halieutique et économiquement importante pour toutes les flottilles tropicales de proximité, notamment celles des DomTom français. Nous avons donc choisi de concentrer notre effort de recherche sur l'étude du comportement agrégatif de la dorade coryphène avec pour objectif principal de mieux connaître et de mieux comprendre ce comportement afin d'en évaluer les impacts potentiels en terme d'exploitation.

Le mémoire de thèse est organisé en quatre chapitres. A travers une analyse approfondie de la bibliographie, **le premier chapitre** présente un bilan des connaissances actuelles sur les DCP, l'agrégation des poissons pélagiques et la dorade coryphène. **Le second chapitre** traite plus spécifiquement du comportement agrégatif de la dorade coryphène. Il a été abordé à l'aide de marquages électroniques réalisés au cours de campagnes hauturières autour de DCP dérivants. Le comportement trophique de la dorade coryphène fait l'objet du **troisième chapitre**. Il est abordé par l'utilisation conjointe de deux méthodes d'investigation : l'analyse des contenus stomacaux de dorades coryphènes agrégées sous divers types d'objets flottants et la réalisation d'inventaires faunistiques sous-marins autour de ces objets flottants. Enfin, le **quatrième et dernier chapitre** synthétise l'ensemble des résultats obtenus, propose une théorie du comportement agrégatif de la dorade coryphène et tente d'évaluer les conséquences possibles de ce comportement sur la distribution et l'abondance de l'espèce à grande échelle.

La similitude des listes faunistiques obtenues dans des zones de caractéristiques océaniques pourtant nettement différentes, montre que le phénomène agrégatif est d'une surprenante stabilité du point de vue de la présence des principales espèces concernées. En revanche, l'abondance de certaines espèces est plus forte dans les

eaux hétérotrophes. Si cette relation mérite d'être examinée plus en détails, ce résultat montre que l'abondance relative de certaines espèces sous DCP pourrait être utilisé comme indicateur de richesse des zones océaniques inter tropicales.

La durée d'agrégation globale des dorades coryphènes autour d'un même objet dérivant se situe en moyenne entre 3 et 4 jours. Cette durée présente toutefois une grande variabilité, la plus longue agrégation observée étant de 15 jours. Par contre, pendant cette période, la dorade coryphène reste très fidèle à son objet flottant. Elle reste à moins de 300-400 m de cet objet flottant pendant plus de 75% de sa durée d'agrégation. Elle effectue de temps à autres des excursions de courtes durées, loin du DCP qui correspondraient à la poursuite de proies épipelagiques de passage dans la zone périphérique de l'agrégation.

L'écologie des différentes proies consommées par la dorade coryphène lorsqu'elle est agrégée nous a conduit à formuler l'hypothèse suivante : **à l'âge adulte, la dorade coryphène ne se nourrit de proies agrégées que d'une manière opportuniste, lorsque les proies libres préférées ne sont pas disponibles.** Le DCP pourrait donc jouer un rôle de **réserve alimentaire** pour la dorade coryphène, utilisée uniquement en cas de faibles abondances de proies non agrégées, qu'elles soient épipelagiques ou migrantes (DSL).

Nous avons démontré que la dorade coryphène avait un comportement agrégatif très marqué et une grande fidélité à l'objet auquel elle est agrégée ce qui favorise sa **vulnérabilité**, mais nous ne connaissons pas la proportion de temps entre les phases d'agrégation et les phases « libres ». Si la dorade coryphène passait rapidement d'un objet à l'autre, son attachement spatial et temporel aux objets flottants lui conférerait une très grande **disponibilité** (accessibilité + vulnérabilité) qui pourrait alors induire un risque potentiel pour l'espèce dans le cadre de l'augmentation massive de l'usage des DCP dérivants dans les trois océans.

Nous avons également démontré l'existence d'une influence, au moins sur plusieurs dizaines, voire centaines de milles, de la circulation océanique des objets flottants sur les déplacements de la dorade coryphène. Plus la proportion du temps d'agrégation est importante par rapport au temps de nage en eaux libres, plus l'influence de la dérive des objets flottants est déterminante pour la distribution et les migrations de l'espèce. L'étude du comportement de la dorade coryphène en eaux libres, entre les phases d'agrégation, est donc déterminante pour la compréhension de la dynamique spatiale des stocks de dorades coryphènes et constitue désormais une perspective complémentaire de recherche.

Mots clés : halieutique, Dispositifs de Concentration de Poissons, DCP, *Coryphaena hippurus*, comportement agrégatif, comportement trophique, marquage acoustique, indicateur écosystémique.

Long abstract

Used since ancient times by artisan fishermen from Mediterranean, the aggregation of large pelagic fish around floating objects must be considered from now as a major phenomenon for the worldwide tuna fisheries. The use of drifting Fish Aggregating Devices (FAD - bamboo rafts set by the oceanic tuna fishing vessels for fishing purposes), has been largely developed in the last two decades. At present time, annual catches performed around floating objects rise 1.2 million metric tons for tuna and several thousands metric tons for bycatch in the tree oceans. Compared with these important catches, relatively few studies are devoted to the aggregative behaviour of large pelagic fish. While hypothesis have been recently proposed to explain the aggregative behaviour of tunas, the large majority of the studies focused on moored FADs. Now these two types of FAD (moored or drifting) are different in some ways and the results could not be transposed from one type to the other. From stock management point of view, the stakes are also very different. It is the reason with we have chosen to focus our works on the aggregation around drifting FADs. Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) is one of the most abundant species in the bycatch of the industrial tuna seine fishing fleet. In the same time, it is a very important species for the tropical small scale fishing fleets, even for French overseas territories. Therefore, we have chosen to focus our research on the aggregative behaviour of the dolphinfish in order to improve our knowledge of this behaviour and to evaluate its potential impact in term of exploitation.

This PhD thesis is composed of four chapters. Through an extensive analyze of the literature, the first chapter takes stock of the present knowledge on the FADs, on the aggregative behaviour of pelagic fish and on the dolphinfish. The second chapter deals specifically with the aggregative behaviour of the dolphinfish by the way of acoustic tagging of fish carry out during offshore campaigns around drifting FADs. The feeding habits of the dolphinfish around FADs are the main purpose of the third chapter. It is studied by the way of two complementary methods: stomach contains analysis of dolphinfish aggregated around several types of floating objects and underwater inventory of the marine fauna under these floating objects. Finally, the fourth and last chapter sums all the results and suggests a theory to explain the aggregative behaviour of the dolphinfish. We also try to estimate the possible consequences of this behaviour on the abundance and on the distribution of this species on a larger scale.

The similarity of the fauna lists registered in areas with distinct oceanographic characteristics shows that the aggregative phenomena is very stable with always the same main species. On the other hand, the abundance of certain species is higher in the heterotrophe waters. While this relationship must be studied in more details, this result shows that the relative abundance of certain species around FADs could be used as an indicator of water richness in the inter tropical oceanic zones.

The dolphinfish have a mean residence time of 3 or 4 days around a drifting FAD but this duration is highly variable. The longest residence time observed during this study

is 15 days. During this aggregation period, the dolphinfish is very faithful to the drifting FAD, staying no more than 300-400 meters far from the FAD during more than 75 % of the residence time. From time to time, the dolphinfish make some short duration excursions far from the FAD that could be related to a feeding behaviour on epipelagic preys crossing through the peripheral zone of the FAD.

The prey ecology of the aggregated dolphinfish leads us to formulate the following hypothesis: ***at adult stage, the dolphinfish feeds on aggregated preys only on an opportunistic way when the preferred free preys are not available.***

Therefore, the FAD could served as a feeding reserve for the dolphinfish, this reserve being used only in case of poor abundance of non aggregated preys (epipelagic or from the DSL).

We have shown that the dolphinfish has a strong aggregative behaviour and a high faithfulness to the FAD. This behaviour enhances its ***vulnerability*** but we don't know the proportion of life time between aggregated and free phases. If the dolphinfish goes quickly from a drifting object to an other, its spatial and temporal attachment to the drifting objects could conduct to a great ***availability*** (accessibility + vulnerability) that could induce a potential risk for the species due to the recent and massive development of the use of the drifting FADs in the tree oceans.

We have also shown the influence, at least on several hundred nautical miles, of the oceanic sea surface circulation of the drifting objects on the dolphinfish movements. More the proportion of the aggregated time is higher against the free swimming time, more the floating object drift is a deciding factor for the distribution and migration of the species. Studied the dolphinfish behaviour in free waters between the aggregative phases must now be considered as a priority to enhance our understanding of the spatial dynamic of the dolphinfish stocks.

Keywords: fishery science, Fish Aggregating Devices, FAD, *Coryphaena hippurus*, fish aggregative behaviour, feeding habits, acoustic tagging, ecosystem indicator.

Le comportement agrégatif des dorades coryphènes (*Coryphaena hippurus*) autour des objets flottants.

Résumé

Le comportement agrégatif de la dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*) est étudié dans le but de mieux comprendre le déterminisme de l'association de cette espèce avec les objets flottants et d'évaluer les impacts potentiels en terme de sensibilité à l'exploitation halieutique, qu'elle soit ciblée ou non. Ce mémoire de thèse est organisé en quatre chapitres. A travers une analyse approfondie de la bibliographie, **le premier chapitre** présente un bilan des connaissances actuelles sur les DCP, l'agrégation des poissons pélagiques et la dorade coryphène. **Le second chapitre** traite plus spécifiquement du comportement agrégatif de la dorade coryphène. Il a été abordé à l'aide de marquages électroniques réalisés au cours de campagnes hauturières autour de DCP dérivants. Le comportement trophique de la dorade coryphène fait l'objet du **troisième chapitre**. Il est abordé par l'utilisation conjointe de deux méthodes d'investigation : l'analyse des contenus stomacaux de dorades coryphènes agrégées sous divers types d'objets flottants et à réalisation d'inventaires faunistiques sous-marins autour de ces objets flottants. Enfin, le **quatrième et dernier chapitre** synthétise l'ensemble des résultats obtenus, propose une théorie du comportement agrégatif de la dorade coryphène et tente d'évaluer les conséquences possibles de ce comportement sur la distribution et l'abondance de l'espèce à grande échelle.

Mots clés : halieutique, Dispositifs de Concentration de Poissons, DCP, *Coryphaena hippurus*, comportement agrégatif, comportement trophique, marquage acoustique, indicateur écosystémique.

The aggregative behaviour of the dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) around floating objects.

Abstract

The aggregative behaviour of the dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) is studied in order to improve our knowledge of the mechanism involved in the association of this species with the floating objects and to evaluate its potential impact in term of exploitation, targeted or not. This PhD thesis is composed of four chapters. Through an extensive analyze of the literature, the first chapter takes stock of the present knowledge on the FADs, on the aggregative behaviour of pelagic fish and on the dolphinfish. The second chapter deals specifically with the aggregative behaviour of the dolphinfish by the way of acoustic tagging of fish carry out during offshore campaigns around drifting FADs. The feeding habits of the dolphinfish around FADs are the main purpose of the third chapter. It is studied by the way of two complementary methods: stomach contains analysis of dolphinfish aggregated around several types of floating objects and underwater inventory of the marine fauna under these floating objects. Finally, the fourth and last chapter sums all the results and suggests a theory to explain the aggregative behaviour of the dolphinfish. We also try to estimate the possible consequences of this behaviour on the abundance and on the distribution of this species on a larger scale.

Keywords : fishery science, Fish Aggregating Devices, FAD, *Coryphaena hippurus*, fish aggregative behaviour, feeding habits, acoustic tagging, ecosystem indicator.