



HAL
open science

Rôle des enrochements côtiers artificiels dans la connectivité des populations, cas du sar commun (*Diplodus sargus*, Linné, 1758) en Méditerranée nord-occidentale

Jérémy Pastor

► **To cite this version:**

Jérémy Pastor. Rôle des enrochements côtiers artificiels dans la connectivité des populations, cas du sar commun (*Diplodus sargus*, Linné, 1758) en Méditerranée nord-occidentale. *Ecologie, Environnement*. Université de Perpignan; Ecole pratique des hautes études - EPHE PARIS, 2008. Français. NNT : . tel-00336353

HAL Id: tel-00336353

<https://theses.hal.science/tel-00336353>

Submitted on 3 Nov 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université de Perpignan Via Domitia et Ecole Pratique des Hautes Etudes

Thèse de Doctorat
Discipline : écologie marine

Présenté par Jérémie PASTOR

Pour obtenir le grade de Docteur de l'université de Perpignan Via Domitia et de l'Ecole
Pratique des Hautes études

**Rôle des enrochements côtiers artificiels dans la connectivité des populations, cas
du sar commun (*Diplodus sargus*, Linné, 1758) en Méditerranée nord-occidentale**

Thèse dirigée par Philippe LENFANT et René GALZIN

Soutenue le 04 juin 2008 devant le jury composé de :

Capucine MELLON	Examinatrice
René GALZIN	Examineur
François FERAL	Examineur
Eric FEUNTEUN	Rapporteur
Philippe LENFANT	Directeur de thèse
Yves LETOURNEUR	Rapporteur



UPVD
Université de Perpignan Via Domitia



Ce document doit être cité de la façon suivante :

Pastor, J. 2008. Rôle des enrochements côtiers artificiels dans la connectivité des populations, cas du sar commun (*Diplodus sargus*, Linné, 1758) en Méditerranée nord-occidentale. Thèse de doctorat Université de Perpignan Via Domitia / Ecole Pratique des Hautes Etudes, 180 p.



Une enquête scientifique de l'ONU
montre que la planète est épuisée
et le progrès menacé

Le Monde
du 1^{er} avril 2005

REMERCIEMENTS :

Bien que par moment il arrive de se sentir seul pendant une thèse, notamment lors des derniers jours de rédaction et de correction auxquels je mets un terme par ces remerciements, cette thèse a été un véritable travail d'équipe et aurait été tout bonnement impossible à réaliser seul. Je vais essayer de remercier toutes les personnes qui ont permis le déroulement de cette thèse, la liste est longue, il se peut que j'en oublie, alors si je vous ai oublié, vous êtes les premiers que je remercie !!

Après les personnes que j'ai oublié, la première personne que je remercie est bien évidemment Philippe Lenfant parce que si j'en suis là c'est un peu grâce à toi. J'ai découvert l'écologie marine durant tes cours alors que je n'étais qu'un jeune étudiant de licence il y a...quelques années ! Tu m'as ensuite pris en stage de maîtrise pour m'apprendre les secrets des otolithes puis en DEA pour m'initier aux joies de la paillasse et de la génétique. Tout cela pour mériter de faire une thèse sur ton modèle fétiche, le Saint sar commun ! Je te remercie de t'être mis en quatre pour trouver des financements pour réaliser cette thèse, pour avoir corrigé ce mémoire, pour avoir rajouté quelques fautes d'orthographe, pour avoir réussi à me rassurer quand tout ça n'avait ni queue ni tête et surtout pour ta gentillesse et ta bonne humeur constantes malgré ta surcharge gargantuesque de travail. Je vais essayer de t'aider de la même sorte pour que tu passes ton HDR !

Alors cette thèse ça a été aussi deux grosses années de terrain, notamment nocturne. Alors je remercie toutes les personnes qui sont venus m'aider et notamment Patoch' Astruch, franchement cette thèse c'est un peu la tienne parce qu'il n'y a pas un sar marqué qui ne soit pas passé entre tes mains (pas toujours délicatement d'ailleurs). Merci pour tout, gonflage des bouteilles, mis au point des techniques de marquage, préparation du matériel, connaissances de la Méditerranée et de ses habitants, petites blagues à 3h du matin. Dans la même équipe des marqueurs fous de poissons, je remercie Erico Prats pour avoir donné de son temps à la science et fait des promotions à Décat', merci c'était un plaisir de sortir plonger le soir avec toi, j'espère qu'on le refera. Un autre champion de la capture de sar c'est Gaël Simon, recordman de la motivation le soir pour aller à l'eau, pour se balader en tenue indécente sur les ports à 2 h du matin, merci Gaël, franchement replonge c'est génial, surtout pour le plaisir ! Il y avait aussi une demoiselle qui a mouillé ses palmes quelques fois, merci Béa, je t'attends pour replonger ! Merci encore une fois à Philippe d'avoir pris du temps pour venir aussi le soir malgré les hernies cervicales et les deux bambins que nous n'avons pas encore nous ! Merci aussi aux gens qui ne sont venus moins souvent mais quand même vous avez été hyper utiles : Gustave mon pote de toujours, Rudy mon cousin, Jessica et Isa, Lolo pour la sécu ! J'imagine que tous les gens de ce paragraphe se joignent à moi pour remercier la compréhension de la gendarmerie maritime et des pêcheurs. Enfin certains pêcheurs car nous ne remercions pas les pêcheurs qui ont râlé, jeté des plombs ou des pierres et ceux qui nous ont foncé dessus en bateau, même s'ils pensent connaître mieux que quiconque la biologie du sar commun : « 80% de l'activité du sar, c'est la nuit ! (un pêcheur mécontent du Barcarès, 2006) ».

Je remercie aussi l'aquarium de Canet-en-Roussillon pour nous avoir aidé, mis à disposition des bacs et nourri les poissons, merci à Jean-Michel, Pascal Mosconi et les filles de l'accueil. Un grand merci à Patrick Masanet pour ces grandes connaissances sur la vie marine et pour m'avoir toujours dit oui quand je te proposais des manips ! D'ailleurs, est-ce que... Non je t'en parlerai plus tard ! Merci à Pascal Romans pour nous avoir donné des sars, beaucoup de conseils, accompagné à la chasse et avoir mis à notre disposition les installations de l'aquarium de Banyuls.

Merci aux gens du Nord, enfin de La Rochelle pour votre accueil chaleureux, vos horaires si flexibles ! Et votre aide dans ces analyses d'otolithes, merci Mulumba Kalombo, Carine Churlaud et Michel Robert. Je vous remercie beaucoup moins pour la tenue ridicule que vous m'avez fait porter durant ces longues semaines !

Je remercie aussi toutes les personnes qui se sont mises à l'eau pour compter les juvéniles et autres adultes même si certaines ont vraisemblablement des problèmes ophtalmiques : Jessica, Gégé, Nico, Franky, Florence, Caro, Elisabeth, Romain, Erwan, Pablo et sûrement d'autres que j'oublie... Merci au gens de la réserve, Fred, Jeff, Jean-Louis, Marie-Laure et le meilleur des meilleurs chasseur de mérrou Bruno (désormais le meilleur des meilleurs bureaucrates !).

Je remercie aussi les chercheurs du laboratoire, René Galzin pour m'avoir accueilli dans son laboratoire depuis mon stage de maîtrise et avoir participé à la correction de ce manuscrit. Merci aussi à André Théron, actuel directeur, et puis tous les autres, ceux que j'ai eu en cours lors de mes années de fac, Betty Faliex, Guillaume Mitta, Juliette Langand, Olivier Verneau. Merci aussi à Bruno Delesalle pour tous ses conseils notamment lorsque j'étais en DEA. J'en profite pour remercier ces enseignants chercheurs géniaux que j'ai rencontrés durant le DEA et qui m'ont donné un peu plus goût à la recherche, Eric Thiébaud, Paul Nival, Didier Jolivet, Gilles Bœuf et bien évidemment le catalan exilé Alain Nierga. Je remercie aussi Raymonde Lecomte pour ces conseils si précieux en otolithométrie et sa chasse impitoyable aux « nous » ! Marion merci pour ton aide en stat !!

Je remercie bien évidemment les membres du jury pour avoir bien voulu juger ce travail.

Je ne peux pas oublier tous les étudiants que j'ai croisé dans l'algeco même si certains ont été redoutablement bruyants, merci pour votre bonne humeur, vos conseils et autres : J-O (le chef), Lucie l'ex-chef, Calin el caballero le premier chef, Matthias sûrement le prochain chef ! il y a aussi Loïc, Ambroise, Pablo, Jérémie, Shirine, Mohsen, Kamal, Johan et tous les autres ! Shytal, thank you for your english !

Le club de plongée de l'université m'a aussi beaucoup apporté en me permettant de passer mes diplômes de plongée pour pouvoir assouvir cette passion, merci à tout le monde.

Voici venu les lignes des personnes chères à mon cœur. Alors pour Gustave, Patoch et Rico, c'est déjà fait, on recommencera devant un pastis si vous voulez ! Honneur aux demoiselles et à Lolo, franchement le chapitre 6 il est pour toi ! Oui c'est la biblio, merci de m'avoir fourni illégalement en pdf ! Mais merci aussi de tes corrections, de ton soutien et ton amitié. Marie merci pour tes corrections. Ronan, ben encore merci pour les corrections (et pourtant je suis sûr qu'il reste une bonne dizaine de fautes encore !), merci pour la Calédonie, « lonkulé c'était génial », dans le même registre je ne t'oublie pas biloute Camille, merci pour tout aussi, pour ces plongées magiques, pour m'avoir mis la pression avec ta thèse, puis peut être à un de ces 4 à Darwin ! Hé Barbara j'allais t'oublier, merci ! J'espère que tu pourras me remercier dans ta thèse aussi ! Et alors jipé merci pour ton amitié et tes bonnes blagues ! Cricri merci.

Que serait-on sans notre famille ? Peut être pas là aujourd'hui à écrire ces quelques lignes. Alors du fond du cœur merci à ma mère, à mon père, à Alex et à Laura. Merci pour tout, je vous aime ! Laura merci d'être venu m'aider à pêcher les sars ! Merci aussi à toute cette grande famille, depuis pépé jusqu'aux derniers petits, hein Nico et Hannah ? J'ai une pensée pour ceux qui nous ont quitté trop tôt et qui auraient été fiers je pense.

Fanny, si l'administration me le permettait, je mettrai ton nom aussi en première page de cette thèse tellement tes corrections ont été précieuses, tellement tu m'as aidé et encouragé. J'espère que cette année 2008 sera l'année de nos grandes réussites ! Je suis sûr que oui ! Il me tarde d'aller gravir le Stromboli avec toi, *ti amo*.

Merci les sars et désolé pour tout ces désagréments !



Sars communs (*Diplodus sargus*), Anse de Peyrefite

Cette thèse, c'est aussi pour la mer et la préservation de tout ce qui vit dedans....



Cap l'Abeille et Cap Béar, en premier et second plan

AVANT-PROPOS :

Ce travail de doctorat a débuté le 1^{er} décembre 2004 au sein de l'UMR 5244 CNRS-UPVD-EPHE¹ « Centre de Biologie et d'Ecologie Tropicale et Méditerranéenne » dont le directeur est A. Théron, dans l'équipe de recherche « écosystèmes coralliens » qui a pour responsable R. Galzin. L'étude présentée dans ce document s'inscrit dans la thématique étudiant la dynamique des populations de poissons méditerranéens.

Ce travail a bénéficié de financements de la région Languedoc-Roussillon, du CNRS, mais aussi de divers contrats obtenus par l'équipe de recherche. En parallèle de ce travail de thèse, j'ai donc participé à plusieurs études : le suivi scientifique des récifs artificiels de Leucate et du Barcarès, le suivi par télémétrie de mérus de la réserve de Cerbère-Banyuls, le suivi de l'ichtyofaune de la réserve marine de Cerbère-Banyuls. J'ai été aussi moniteur à l'Université de Perpignan durant trois années.

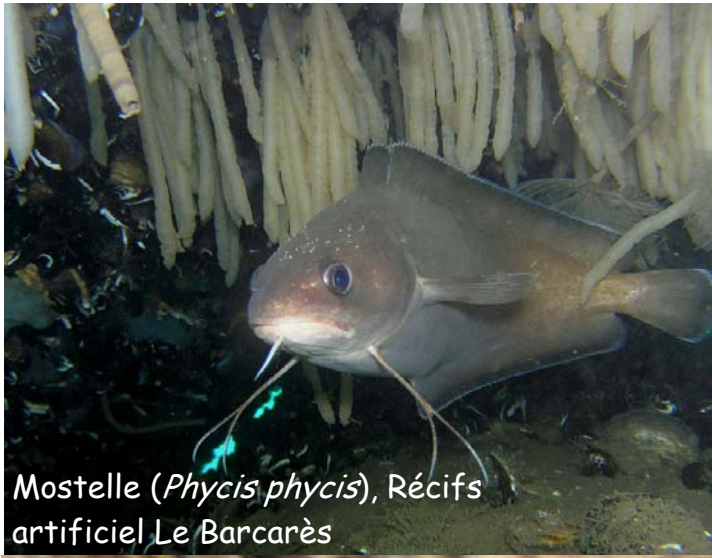
Le travail de terrain a été effectué sur la côte roussillonnaise, de Leucate à Cerbère grâce notamment à la mise à notre disposition de places de port pour notre bateau par les capitaineries de Leucate, Le Barcarès, Canet-en-Roussillon, St Cyprien, Argelès-sur-mer et Banyuls-sur-mer. Nous avons été amenés à effectuer des collaborations avec l'Université de La Rochelle, la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls et les aquariums publics de Canet-en-Roussillon et de Banyuls-sur-mer.

Ce document synthétise les trois années et demi de ce travail de thèse. Il se compose de 6 chapitres. Le premier chapitre est une introduction générale. Les chapitres 2, 3 et 4 présentent les résultats obtenus et les conclusions que nous en tirons. Le chapitre 5 est une discussion générale assortie d'une conclusion et de perspectives. Le chapitre 6 récapitule la bibliographie citée dans ce manuscrit. Sauf mentions contraires, les photographies ont été faites par mes soins avec un appareil Olympus C765 UZ et le caisson étanche Olympus qui lui est associé.

¹ L'UMR 5244 a été créée en 2007. En 2004-2005, cette étude était sous l'égide de l'UMR 8046 CNRS-EPHE convertie en FRE 2935 CNRS-EPHE en 2006 (Directeur R. Galzin).



Cap Leucate, photographié depuis la plage La Franqui



Mostelle (*Phycis phycis*), Récifs artificiel Le Barcarès



Congre (*Conger conger*), Récifs artificiel Le Barcarès



Juvénile de corb (*Sciaena umbra*), enrochements côtier Ste Marie



Juvénile de denti (*Dentex dentex*), enrochements côtier Le Barcarès



Juvénile de sar-tambour (*Diplodus cervinus*), enrochements côtier Le Barcarès

SOMMAIRE :

Liste des figures	4
Liste des tableaux	8
Chapitre I : Introduction générale	10
I- Contexte scientifique	10
<i>I-1 Le cycle de vie des poissons côtiers et l'habitat essentiel</i>	10
<i>I-2 La connectivité en milieu marin</i>	13
<i>I-3 Le contexte local</i>	15
II- Objectifs généraux	20
III- La zone d'étude	21
<i>III-1 Milieu lagunaire</i>	21
<i>III-2 Milieu côte sableuse</i>	25
<i>III-3 Milieu côte rocheuse</i>	28
IV- Le modèle d'étude	30
Chapitre II : Le sar commun de la côte catalane, juvéniles et adultes des lagunes, côte rocheuse, côte sableuse et aménagements littoraux, de Leucate à Cerbère	34
I- Objectifs et hypothèses de travail	34
II- Matériel et méthodes	36
<i>II-1 Les sars adultes dans les différents systèmes : côte rocheuse, aménagements littoraux/côte sableuse, lagune</i>	36
II-1.1 Variabilité des densités.....	36
II-1.2 Variabilité des tailles moyennes.....	39
II-1.3 Analyses des données.....	41
<i>II-2 Les sars juvéniles dans les différents systèmes : côte rocheuse, aménagements littoraux/côte sableuse, lagune</i>	41
II-2.1 Acquisition des données.....	41
II-2.2 Analyses des données.....	46
III- Résultats	46
<i>III-1 Les sars adultes de la côte catalane française</i>	46
III-1.1 Densité de sars adultes.....	46
III-1.2 Taille des sars adultes.....	48
<i>III-2 Les sars juvéniles de la côte catalane française</i>	51

III-2.1 Abondances et densités.....	51
III-2.2 Le cas de la lagune de Salses-Leucate.....	56
III-2.3 Effet de la structure de l'habitat.....	57
IV- Discussion.....	59
<i>IV-1 Les sars communs adultes de la côte catalane française.....</i>	<i>59</i>
<i>IV-2 Les juvéniles de sars communs de la côte catalane française.....</i>	<i>62</i>
IV-2.1 La variabilité inter-annuelle des densités de juvéniles.....	62
IV-2.2 Comparaison côte sableuse aménagée / côte rocheuse.....	63
IV-2.3 La lagune de Salses-Leucate et la perte de sa fonction de nourricerie.....	71
 Chapitre III : La connectivité entre différents systèmes (lagune, côte sableuse et ses aménagements littoraux, côte rocheuse) : rôle dans le maintien des populations de poissons.....	77
I- Objectifs et hypothèses de travail.....	77
<i>I-1 Le marquage d'animaux, d'hier à aujourd'hui.....</i>	<i>77</i>
<i>I-2 Les contraintes liées au marquage d'animaux.....</i>	<i>79</i>
II- Méthodes : Marquage de poissons.....	80
II-1 Choix de la marque.....	80
II-2 La capture des poissons.....	82
II-3 Le marquage des poissons.....	86
II-4 Les sites de marquage.....	88
II-5 La recapture.....	89
II-6 Analyse des données.....	91
II-7 Test de rétention de la marque.....	91
III- Résultats.....	92
III-1 Test de rétention de la marque.....	92
III-2 Bilan des poissons marqués.....	93
III-3 Bilan des poissons recapturés.....	94
III-4 Bilan des déplacements observés.....	95
IV- Discussion.....	102
IV-1 Validité de la méthode de marquage utilisée.....	102
IV-2 Les recaptures de sars marqués.....	104
IV-3 La connectivité des sars adultes sur la côte catalane française.....	106
IV-4 Synthèse.....	111

Chapitre IV : La microanalyse chimique des otolithes, un outil d'identification des nourriceries.	115
I- Objectifs et hypothèses de travail	115
II- Matériels et Méthodes	119
<i>II-1 La microanalyse chimique des otolithes</i>	119
<i>II-2 Les poissons analysés</i>	119
II-2.1 Les juvéniles nés en 2005	120
II-2.2 Les juvéniles nés en 2006	120
II-2.3 Les adultes prélevés en 2007	120
<i>II-3 Préparation et analyse des échantillons</i>	121
II-3.1 Préparation des otolithes	121
II-3.2 Analyse à l'ICP-MS et à l'ICP-AES	125
<i>II-4 Analyses statistiques</i>	127
III- Résultats	128
<i>III-1 Identification des nourriceries chez les juvéniles</i>	128
III-1.1 Analyse des juvéniles nés en 2005	128
III-1.2 Analyse des juvéniles nés en 2006	130
III-1.3 La variabilité inter-annuelle chez les juvéniles	133
<i>III-2 Identification des nourriceries des poissons adultes</i>	134
IV- Discussion	138
<i>IV-1 Caractérisation de la composition élémentaire des otolithes de sars communs des nourriceries de la côte catalane française</i>	138
<i>IV-2 Apport des microanalyses chimiques des otolithes à la compréhension de la dynamique des populations de sars de la côte catalane française</i>	141
Chapitre V : Discussion générale, conclusions et perspectives.	149
I- Les enrochements côtiers artificiels : des récifs artificiels adaptés aux juvéniles	149
II- La connectivité et son rôle dans le maintien des populations de poissons	155
III- Conclusion et proposition de gestion de la bande côtière du golfe du Lion	160
Chapitre VI : Littérature citée.	164
Liste des Annexes.	180

LISTE DES FIGURES :


- Figure I.1 :** Cycle de vie général des poissons marins benthiques et nectobenthiques. En rouge, figurent les principales causes de mortalité au cours du cycle de vie.11
- Figure I.2 :** Les trois différents habitats d'un poisson avec les stades de développement présents dans chaque habitat. Les flèches indiquent les changements d'habitats possibles. Le bateau de pêche indique les moments où les poissons sont susceptibles d'être capturés.12
- Figure I.3 :** Carte de la côte catalane française montrant les trois systèmes qui la composent.16
- Figure I.4 :** Simulation numérique des vecteurs de courant à 5m de profondeur par vents de nord-ouest dans la partie française de la côte rocheuse catalane montrant un courant principal nord-sud (modifié d'après Guizien *et al.*, 2006).17
- Figure I.5 :** Carte de la zone d'étude. En pointillés noirs : les zones rocheuses naturelles de la côte sableuse. En vert : les principaux sites d'enrochements côtiers artificiels présents sur la côte sableuse. En rouge : les récifs artificiels. En bleu : la lagune de Salses-Leucate. En marron : quelques sites de la côte rocheuse.22
- Figure I.6 :** Topographie et bathymétrie de la lagune de Salses-Leucate d'après Hervé et Bruslé (1980).23
- Figure I.7 :** Sur la photographie du haut, des aménagements littoraux anti-érosions de type épis des plages de Saint Cyprien. En bas à gauche, vue des digues de protection du port de Saint Cyprien. En bas à droite, vue sous-marine de ces aménagements littoraux artificiels.26
- Figure I.8 :** Carte montrant les 6 zones de récifs artificiels de Leucate et du Barcarès, chacune étant représentée par . A droite, un agrandissement d'une zone montre l'assemblage de chaque type (amas chaotiques, dalots, buses) de récif au sein d'une même zone.28
- Figure I.9 :** Carte de la côte rocheuse faisant figurer les différents sites fréquentés lors de cette étude ainsi que la réserve marine de Cerbère-Banyuls.29
- Figure I.10 :** Photographie de trois sars communs de Méditerranée appartenant à 3 classes de tailles distincts, de gauche à droite : 10 cm, 20 cm et 30 cm. Notons l'absence de strie verticale sur la robe des trois poissons due vraisemblablement à une adaptation à la couleur du substrat.31
- Figure I.11 :** Photographie de gauche, juvénile de sar commun moins d'un mois après l'installation (taille 2 cm). Photographie de droite, juvéniles de sar commun 3 mois après l'installation ayant une taille comprise entre 6 et 8 cm, notons la présence sur cette photographie d'un juvénile de *Diplodus cervinus*.32
- Figure II.1 :** Carte situant les 3 sites de la côte rocheuse pour lesquels les densités d'adultes ont été mesurées. RP → Réserve partielle, RI → Réserve Intégrale.37
- Figure II.2 :** Carte situant les 4 sites artificiels et naturels de la côte sableuse pour lesquels les densités d'adultes ont été mesurées.38
- Figure II.3 :** Carte des sites où les tailles moyennes de sars adultes ont été mesurées. En marron, les sites de la côte rocheuse, en vert, les sites sur les aménagements littoraux de la côte sableuse et en rose le site récifs artificiels.40
- Figure II.4 :** Photographie du quadrat utilisé afin de caractériser le recouvrement biologique des habitats des juvéniles de sar commun. Dans le cas présent, l'image a été prise dans la lagune de Salses-Leucate avec un recouvrement de type algues arborescentes.42
- Figure II.5 :** Localisation des sites étudiés au niveau de la côte rocheuse. Pour chaque site, une photo aérienne (source : google earth) montre le type de station concerné. Les traits rouges indiquent le linéaire côtier pour lequel les comptages ont été effectués. Le trait vert montre le linéaire côtier échantillonné chaque année depuis 1994 entre le cap Béar et Cerbère au sud.43

Figure II.6 : Localisation des sites étudiés au niveau des aménagements littoraux de la côte sableuse. Pour chaque site, une photo aérienne (source : google earth) montre le type d'aménagement concerné.....44

Figure II.7 : Carte situant les sites de la lagune de Salses-Leucate pour lesquels les juvéniles ont été dénombrés.....45

Figure II.8 : Diagramme en bâtons des densités de sars communs adultes au niveau de la côte rocheuse (les trois stations de gauche) et au niveau des aménagements littoraux de la côte sableuse (les quatre stations de droite, notons que la station cap Leucate est un site naturel). Les densités sont données pour deux profondeurs (5 m et 20 m). Quand une seule profondeur apparaît, cela signifie que les deux profondeurs ne sont pas présentes sur le site en question. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.....47

Figure II.9 : Diagramme en bâtons des densités de sars communs adultes au niveau de deux aménagements littoraux de la côte sableuse, à St Cyprien et à Ste Marie. Les comptages ont été effectués dans moins de 5 m d'eau lors des années 2005 et 2006 (Mois de Juillet). Les barres d'erreur représentent les écarts-types.....48

Figure II.10 : Diagramme en bâtons des tailles moyennes (Longueur totale en mm) de sars communs adultes au niveau de la côte rocheuse (les deux stations de gauche) et des aménagements littoraux de la côte sableuse (les trois stations de droite). Notons deux années de données sont disponibles pour la station de St Cyprien. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.....49

Figure II.11 : Diagramme en bâtons des tailles moyennes des sars communs adultes sur un site d'aménagements littoraux de la côte sableuse (Saint Cyprien) durant trois mois. Les mesures sont faites au début des mois. Les barres d'erreur représentent les écarts-types et les ** indiquent une différence très significative ($p < 0,01$) selon le test non paramétrique U de Mann-Whitney.....50

Figure II.12 : Diagramme en bâtons des densités de juvéniles de sars communs observées dans différents sites de la côte catalane française, lagune (*), aménagements littoraux de la côte sableuse () et côte rocheuse (§). Observations faites en 2005, 2006 et 2007.....54

Figure II.13 : Schéma donnant à gauche les densités de juvéniles de sars communs (ind.m^{-2}) pour une bonne année (2006) et à droite celles pour une mauvaise année (2007). Pour chaque système (lagune, aménagements littoraux et côte rocheuse), une station, celle avec les plus fortes densités, a été retenue. Les flèches indiquent les coefficients multiplicateurs ou diviseurs entre les différentes valeurs de densités.....55

Figure II.14 : Suivis des densités de juvéniles de sars communs depuis la mer vers la lagune en 2006 et 2007. Les flèches indiquent les taux de diminution des densités entre stations. Ces stations se situent dans la partie sud de la lagune de Salses-Leucate, au niveau du Barcarès.....56

Figure II.15 : Cercle des corrélations réalisé à partir des variables biologiques et environnementales collectées aux différentes stations.....57

Figure II.16 : Nuage de points issu de l'ACP représentant les différentes stations analysées sur le plan factoriel (1,2).....58

Figure II.17 : Trajectoires théoriques d'arrivée des juvéniles de sars communs sur la côte catalane française (flèches rouges). En orange, la côte sableuse qui mesure à vol d'oiseau 40 km. En marron, la côte rocheuse qui représente 16 km à vol d'oiseau.....66

Figure II.18 : Modèle de distribution et d'intensité des flux de larves de sars communs sur la côte catalane française. Les cercles bleus représentent le pool d'œufs disponible, proportionnel au nombre d'adultes, la taille des cercles étant proportionnelle au nombre d'œufs pondus. Les flèches en traits pleins bleus représentent les flux de larves, l'épaisseur des flèches est proportionnelle à l'intensité des flux. Les flèches pointillées bleues représentent les apports en larves des zones où les pools d'œufs sont moins importants. En jaune la côte sableuse, en marron la côte rocheuse.....69

Figure II.19 : Modèle d'entrée et de dispersion du flux larvaire de sars communs dans la partie sud de la lagune de Salses-Leucate au niveau du grau St-Ange (en jaune). Le flux de larves est représenté par les flèches rouges, l'épaisseur de celles-ci est proportionnelle à l'intensité du flux larvaire.....73

<u>Figure II.20</u> : Modèle d'entrée et de dispersion du flux larvaire de sars communs dans la lagune de Salses-Leucate avant la construction des aménagements littoraux dans les années 1960. La carte est tirée d'Arnaud et Raimbault (1969).·····	74
<u>Figure III.1</u> : Sar marqué par VIE (flèche blanche) et par une marque spaghetti (flèche noire).·····	80
<u>Figure III.2</u> : Marque spaghetti de type T-bar anchor tag et son pistolet injecteur. A : marques en place dans le pistolet. B : marque posée sur le poisson et C : pistolet injecteur.·····	81
<u>Figure III.3</u> : Photographie de sars communs en phase de sommeil. L'individu de gauche dort toutes nageoires déployées afin de paraître plus volumineux à l'égard d'un éventuel prédateur. Le sar du milieu, beaucoup plus gros dort posé sur le fond. Le sar de droite dort à l'abri dans une anfractuosité.·····	83
<u>Figure III.4</u> : Photographie d'un sar commun capturé à l'aide d'une épuisette et en scaphandre autonome.·84	
<u>Figure III.5</u> : De gauche à droite, la bourriche flottante vue de la surface. Les photographies du milieu et de droite montrent les poissons présents dans la bourriche.·····	84
<u>Figure III.6</u> : Photographie de la bourriche fixe, longue de 3 mètres et en maille très fine, elle évite aux poissons de se blesser. La qualité médiocre de la photographie est en grande partie du � la très mauvaise visibilité sur la zone de récifs artificiels.·····	85
<u>Figure III.7</u> : Sur la gauche de la figure, apparaissent les différentes couleurs de marques utilisées. Sur la droite, les deux faces de la marque : d'un côté le numéro d'identification, de l'autre le numéro de téléphone du laboratoire.·····	87
<u>Figure III.8</u> : Différentes étapes depuis l'anesthésie jusqu'au marquage. A, sars anesthésiés. B, un sar venant d'être marqué. C, le pistolet marqueur. D, sars en phase de réveil.·····	87
<u>Figure III.9</u> : Sites retenus pour le marquage. En vert, les sites côte sableuse ; en marron, côte rocheuse et en bleu, lagune. A : partie nord de la zone d'étude. B : partie sud de la zone d'étude.·····	89
<u>Figure III.10</u> : Différents moyens de communication utilisés afin de sensibiliser un maximum de personnes au déroulement d'une campagne de marquage de sars. De gauche à droite : affiche en français, affiche en catalan, article dans une revue de chasseurs sous-marins (Apn�a).·····	90
<u>Figure III.11</u> : Photographies de sars dans le milieu naturel. Sur la photographie de droite, notons la présence d'algues sur la marque.·····	90
<u>Figure III.12</u> : Photographie du bac ayant servi au test.·····	91
<u>Figure III.13</u> : Graphique du pourcentage de poissons marqués en fonction du temps écoulé depuis le marquage.·····	93
<u>Figure III.14</u> : Nombre de poissons recapturés en fonction du nombre de jours écoulés depuis le marquage.·····	98
<u>Figure III.15</u> : Nombre de poissons recapturés par mois � un lieu différent de celui de leur marquage.·····	99
<u>Figure III.16</u> : Carte de la zone d'étude sur laquelle figurent les 8 poissons recapturés à plus d'un kilomètre de leur lieu de marquage. Le temps entre le marquage et la recapture est donné pour chaque poisson, ainsi que la distance minimale parcourue.·····	100
<u>Figure III.17</u> : Déplacements observés au sein d'une zone de récifs artificiels du Barcarès. La distance minimale parcourue en fonction du temps apparaît dans les cadres rouges.·····	101
<u>Figure III.18</u> : Schéma présentant la connectivité entre trois sous-populations de sars communs de la côte catalane française, en ce qui concerne la phase adulte. Les flèches indiquent les échanges, leur épaisseur l'intensité de ces échanges. La taille des poissons indique s'il s'agit principalement de jeunes adultes, ou d'adultes plus âgés.·····	114

- Figure IV.1 : Photographies d'otolithes (*sagittae* droites) observés à la loupe binoculaire, à gauche un otolithe d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) de deux ans ; à droite un otolithe de sar commun (*D. sargus*) de moins d'un an. Les deux otolithes mesurent 4 mm de long.116
- Figure IV.2 : Visualisation synthétique des données publiées concernant la composition des otolithes en éléments mineurs ou traces d'espèces occupant trois principaux types d'habitat. Les bâtons sans barre d'erreur indiquent les concentrations d'éléments qui n'ont été observées que dans une seule étude. D'après les données de Campana (1999). Graphique issu de De Pontual et Geffen (2002).117
- Figure IV.3 : La photographie de gauche montre un otolithe de sar poncé et coloré sur lequel les marques de croissance sont bien visibles (âge estimé : 10 ans). Sur la photographie de droite, la zone correspondant à la première année de croissance a été colorée en vert (Photographie de P. Lenfant).122
- Figure IV.4 : Les différents plans de coupe qui peuvent être effectués sur des otolithes. Modifié d'après Secor *et al.* (1992).123
- Figure IV.5 : Image schématique d'un otolithe droit de sar adulte (coloré en bleu) vu par sa face droite dont la partie correspondant au dépôt de la première année de croissance est colorée en rose. Après élimination de la partie bleue, il ne reste plus que la partie correspondant à la première année de croissance (en rose).124
- Figure IV.6 : Photographie illustrant le passage manuel des échantillons à l'ICP/AES dans le cas présent, deux personnes sont nécessaires (Photographie : C. Churlaud).126
- Figure IV.7 : Cercle de corrélation issu de l'ACP – axes 1 et 2 avec leur pourcentage d'inertie associé. Variables actives : Concentration en éléments et variables illustratives : Enrochements côtiers de la côte sableuse et site naturel de la côte rocheuse.129
- Figure IV.8 : Diagrammes en bâtons des concentrations en plomb (Pb) et en baryum (Ba) dans les otolithes de juvéniles de sars communs prélevés en 2005 sur un aménagement côtier artificiel de la côte sableuse (CS) et sur un site naturel de la côte rocheuse (CR). Les barres d'erreur représentent les écarts-types. Les ** indiquent que les différences observées entre les deux sites sont très significatives ($p < 0,01$) par un test U.129
- Figure IV.9 : Analyse discriminante sur les juvéniles nés en 2006, étiquetés selon leur site de prélèvement. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn. L'ellipse rouge regroupe les individus des sites naturels de la côte rocheuse ; la verte, ceux de la lagune.130
- Figure IV.10 : Analyse discriminante sur les juvéniles nés en 2006, étiquetés selon leur site de prélèvement. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn. En bleu, les individus des sites naturels de la côte rocheuse ; en rouge, ceux des zones artificielles de la côte rocheuse et en rose, ceux de la lagune.131
- Figure IV.11 : Cercle de corrélation (variables actives : concentration des 11 éléments analysés ; variables illustratives : enrochements côtiers de la côte sableuse, site naturelle de la côte rocheuse et lagune) issus de l'ACP – axes 1 et 2 avec leur pourcentage d'inertie associé.132
- Figure IV.12 : Analyse discriminante sur les juvéniles nés en 2005 et ceux nés en 2006, étiquetés selon leur site de prélèvement et leur année de prélèvement. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Ba, Mg, Ni, Pb, Sr. L'ellipse verte regroupe les individus nés en 2006 et l'ellipse rouge, ceux nés en 2005.133
- Figure IV.13 : Analyse discriminante sur la partie d'otolithe correspondant à la première année de croissance de sars adultes pêchés sur la côte rocheuse, à cap Leucate et des sars marqués sur des aménagements littoraux de la côte sableuse. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn. L'ellipse bleue regroupe les individus pêchés sur la côte rocheuse et l'ellipse rose, ceux de cap Leucate.135
- Figure IV.14 : Cercle de corrélation (variables actives : concentration des 11 éléments analysés ; variables illustratives : côte rocheuse, cap Leucate et sars marqués sur les enrochements artificiels de la côte sableuse) issus de l'ACP – axes 1 et 2 avec leur pourcentage d'inertie associé.135

Figure IV.15 : Analyse discriminante. En haut : sur la partie d'otolithe correspondant à la première année de croissance de sars adultes pêchés sur la côte rocheuse, à cap Leucate et des sars marqués sur des aménagements littoraux de la côte sableuse. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Cr, Ni, Pb, Sr, V. L'ellipse bleue regroupe les individus pêchés sur la côte rocheuse et l'ellipse rose, ceux de cap Leucate. En bas : l'ellipse en trait plein regroupe les individus marqués sur les enrochements côtiers de la côte sableuse et se trouvant dans le groupe des sars capturés sur la côte rocheuse. L'ellipse en pointillés regroupe les individus pêchés sur la côte rocheuse se séparant des autres sars pêchés sur la côte rocheuse sur l'axe 2.137

Figure IV.16 : Schéma de déplacement d'un poisson depuis la sous-population du cap Leucate jusqu'à celle de la côte rocheuse. Les flèches indiquent les déplacements, en pointillés : déplacement mis en évidence par la microanalyse chimique des otolithes ; en trait plein : déplacement mis en évidence d'après les marquages directs. Les ● représentent des enrochements côtiers artificiels.143

Figure V.1 : Schéma théorique d'une connectivité en cascade entre les sous-populations de sars communs du golfe du Lion. Les zones en marron sont des zones rocheuses naturelles, en jaune : les enrochements côtiers artificiels. La flèche bleue indique le courant dominant selon Gatti *et al.* (2006), les flèches blanches indiquent les flux d'individus (quelque soit la phase du cycle de vie), en traits pleins : les flux que nous avons mis en évidence et en pointillés : des hypothèses que nous avons émises. Image satellite modifiée d'après : <http://www.isteeem.univ-montp2.fr/>.158

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I.1 : Longueur totale d'enrochement artificiel pour chaque bassin portuaire et chaque dispositif anti-érosion des stations balnéaires de la côte sableuse. Les données sont exprimées en mètres.26

Tableau II.1 : Tableau récapitulatif des stations et profondeurs échantillonnées, ainsi que les périodes d'échantillonnage et le nombre de transects réalisés pour l'estimation des densités d'adultes de sars communs sur des sites de la côte rocheuse et de la côte sableuse. RP, réserve partielle ; RI, réserve intégrale ; HR, hors réserve ; AC, aménagements côtiers ; RA, récifs artificiels et ZN, zone naturelle.39

Tableau II.2 : Tableau récapitulatif des stations et profondeurs échantillonnées, ainsi que les périodes d'échantillonnage et le nombre de poissons mesurés pour l'estimation des tailles moyennes d'adultes de sars communs sur des sites de la côte rocheuse et de la côte sableuse. RP, réserve partielle ; HR, hors réserve ; AC, aménagements côtiers ; RA, récifs artificiels.40

Tableau II.3 : Surface et longueur de linéaire pour les stations échantillonnées de la lagune ; de la côte sableuse et de la côte rocheuse.45

Tableau II.4 : Tailles moyennes (Longueur totale en mm, σ est l'écart type) de sars communs adultes au niveau de la côte rocheuse (en italique) et des aménagements littoraux de la côte sableuse pour l'année 2006. RP, réserve partielle ; HR, hors réserve ; AC, aménagements côtiers ; RA, récifs artificiels.49

Tableau II.5 : Nombre de juvéniles de sars communs observés chaque année au mois d'août sur la côte rocheuse depuis 1994. Les données de 1994 à 2004 sont tirées des travaux de Lenfant *et al.* (*in prep*). Les données 2005 à 2007 ont été acquises durant cette thèse.51

Tableau II.6 : Nombre total de juvéniles comptés sur la côte rocheuse en 2005, 2006 et 2007. Entre parenthèses est notée la distance de côte parcourue pour ce comptage. Pour la côte sableuse et la lagune, la distance parcourue chaque année étant variable, elle a été rapportée à une base de 1000 m.53

Tableau II.7 : Valeurs des densités de juvéniles (ind.m^{-2}) de sars communs observées dans différents sites de la côte catalane française, lagune, aménagements littoraux de la côte sableuse et côte rocheuse. Observations réalisées en 2005, 2006 et 2007.54

Tableau III.1 : Nombre de poissons marqués par site et par année, sur la côte rocheuse, les enrochements côtiers de la côte sableuse et dans la lagune.94

Tableau III.2 : Nombres de poissons recapturés par mode de pêche ou d'observation.94

Tableau III.3 : Nombre de poissons recapturés par zone de marquage (côte rocheuse, aménagements littoraux de la côte sableuse et lagune), le taux de recapture induit et le nombre de déplacements observés par zone.....96

Tableau III.4 : Poissons recapturés dont la date et le lieu de marquage ont pu être identifiés.96

Tableau III.5 : Poissons recapturés dont l'identification individuelle n'a pu être possible. Pour chaque trajet (lieu de marquage – lieu de recapture), il est donné le nombre de poissons recapturés ayant fait ce trajet, les durées minimums et maximums observées pour ce trajet. Quand il y a eu déplacement, la distance parcourue est donnée et la durée max. correspond à la durée de parcours.....97

Tableau III.6 : Revue bibliographique des études sur la rétention des marques de type spaghetti sur des espèces de poissons semblables au sar commun.....103

Tableau IV.1 : Tailles moyennes (longueur totale) des juvéniles capturés en 2006 et dont la composition élémentaire des otolithes a été analysée. En italique, les stations côte sableuse ; en gras, la station lagune et en lettres capitales, les deux stations côte rocheuse.....120

Tableau IV.2 : Tailles moyennes (longueur totale) des sars adultes dont la composition élémentaire des otolithes a été analysée. Le nombre d'individus par station est mentionné.....121

Tableau IV.3 : Poissons marqués sur la côte sableuse et dont la composition élémentaire des otolithes a été analysée. La taille (longueur totale en cm), le lieu de marquage et le lieu de capture sont donnés pour chaque poisson.....121

Chapitre I : Introduction générale

I- Contexte scientifique

Aujourd'hui, 55% de la population humaine mondiale se répartit sur le bord des océans et des mers. Hormis quelques exceptions comme Paris, Mexico city ou Moscou, toutes les grandes métropoles sont situées sur le bord de mer. Cet accroissement incessant de la population entraîne inexorablement une augmentation des pressions exercées par l'Homme sur le milieu marin : pêche, pollution, destruction d'habitats (Watson et Pauly, 2001). Ces pressions perturbent considérablement les cycles de vie des poissons, pour arriver à terme à la disparition de populations, voire d'espèces. Afin d'éviter ce scénario catastrophe, il est indispensable de mettre en place des plans de gestion des espèces marines et de leur milieu en intégrant bien évidemment tous les stades de leur cycle de vie, chacun étant indispensable au déroulement des suivants.

I-1 Le cycle de vie des poissons côtiers et l'habitat essentiel

La majorité des poissons possède un cycle de vie complexe avec une phase larvaire pélagique, à l'issue de laquelle les larves retournent vers la côte pour y continuer leur développement en juvénile puis en adulte (Victor, 1991 ; Jones *et al.*, 1999 ; Armsworth, 2002 ; Mora et Sale, 2002). Chez la plupart des espèces, les larves alors dites « compétentes » colonisent la zone côtière. Durant les heures ou les jours qui suivent cette colonisation, les larves ayant survécu se métamorphosent en juvéniles adaptés à ce nouveau milieu (Balon, 1999 ; Planes et Lecaillon, 2001). Ces derniers sont alors exposés à un environnement complexe où le choix d'un habitat s'impose parmi de nombreux substrats potentiels et malgré divers prédateurs et compétiteurs inter ou intra-spécifiques : c'est la phase d'installation (Carr et Hixon, 1995 ; Risk, 1998 ; Caselle, 1999 ; Adams *et al.*, 2004). L'installation est donc la transition immédiate entre le stade larvaire pélagique et le stade juvénile benthique (Andrews et Anderson, 2004). La phase de recrutement lui succède quelques mois après, dont une définition est l'intégration de nouveaux individus dans la population d'adultes (individus sexuellement matures) (Shapiro, 1987). Ces quatre étapes (dispersion, colonisation, installation et recrutement) plus la reproduction conditionnent le maintien et le renouvellement des populations (Doherty et Williams, 1988 ; Doherty, 1991). Au cours du cycle de vie des poissons (fig. I.1), les différents stades de développement présentent des différences en termes d'exigences écologiques, physiologiques et biologiques. Cela implique en général la nécessité de biotopes différents pour chaque stade de développement. L'individu

devra trouver toutes les conditions nécessaires à son développement pour que le cycle biologique puisse s'accomplir.

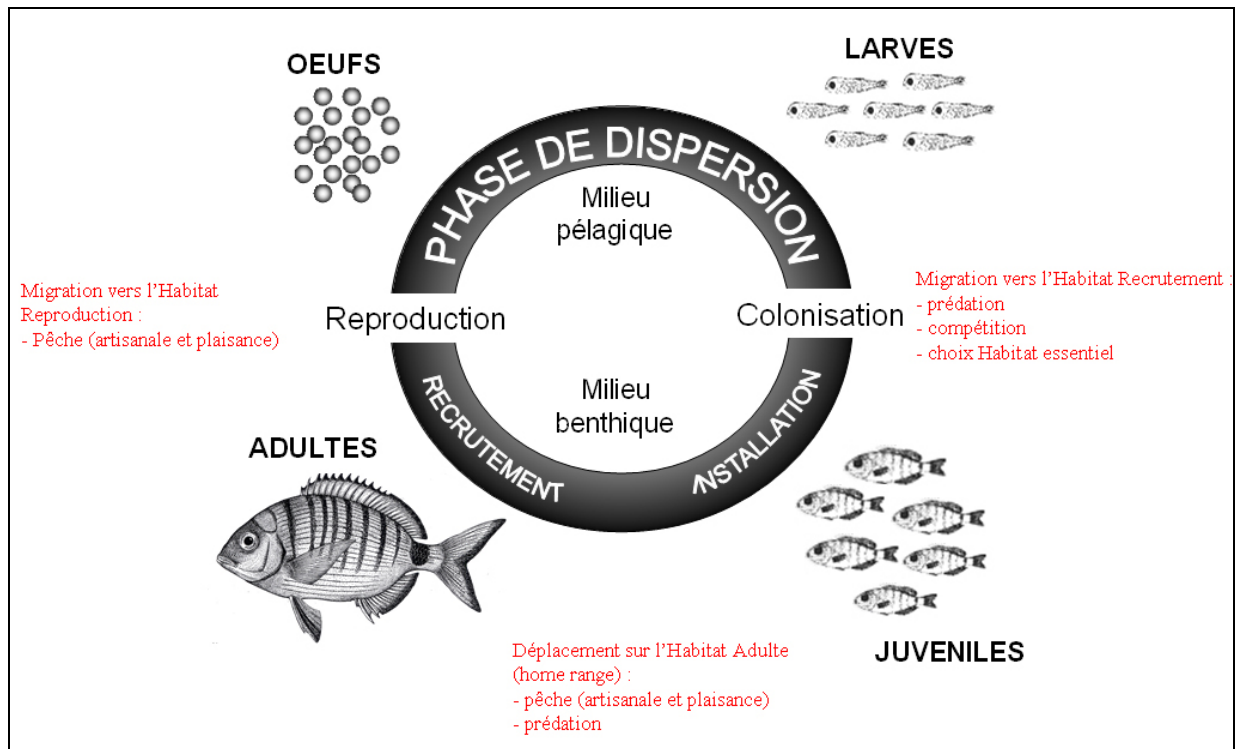


Figure I.1 : Cycle de vie général des poissons marins benthiques et nectobenthiques. En rouge, figurent les principales causes de mortalité au cours du cycle de vie.

L'habitat essentiel des poissons se définit comme étant « le milieu aquatique et le substrat qui leur est nécessaire pour se nourrir, croître jusqu'à maturité et se reproduire » (Benaka, 1999). En couplant les définitions de notion de nurricerie (boîte 1) et d'habitat essentiel, nous pouvons dire que la nurricerie est le premier habitat essentiel fréquenté par le poisson lors de sa vie benthique. La notion d'habitat essentiel à l'installation conditionne ainsi pour une grande part la réussite du recrutement et sa qualité est une condition nécessaire à la pérennité des ressources (Schmitt, 1999 ; Bellwood et Hughes, 2001). La prise en compte des habitats

Boîte 1, la fonction de nurricerie.

Beck *et al.* (2001) ont proposé une définition de la fonction de nurricerie d'un écosystème ou d'un ensemble d'écosystèmes. Pour ces auteurs, la validité du terme et de la fonction de nurricerie est basée sur quatre critères obligatoires que sont :

- La présence durable de fortes abondances de juvéniles
- Une alimentation privilégiant les proies produites *in situ* et permettant une croissance différentielle
- Une pérennité de la fréquentation qui permet une survie différentielle
- Un recrutement des individus fréquentant la nurricerie par une migration vers les sites fréquentés à l'âge adulte.

Si l'un des quatre critères n'est pas validé, l'écosystème ne pourra être qualifié de nurricerie au sens strict du terme.

essentiels et des stratégies d'installation s'avère donc primordiale dans la définition des objectifs de gestion.

Le changement d'habitat essentiel est donc une phase importante, mais aussi critique pour toutes les espèces. En effet, lors de migrations entre habitats successifs, les individus vont devoir traverser des milieux potentiellement hostiles. La mortalité lors de ces phases critiques peut être due à des **interactions biologiques** (prédation, compétition inter- et intra-spécifique), des **interactions habitat** (distribution des habitats essentiels, choix de l'habitat) et des **interactions anthropiques** (pêche artisanale et de plaisance, pollution). Les deux premières interactions (biologiques et habitats) concernent essentiellement les juvéniles, alors que la pêche est la cause de la majorité de la mortalité en phase adulte, bien que quelques pêcheries ciblent principalement les stades juvéniles, l'exemple des civelles (*Anguilla anguilla*) étant le plus connu. Pour un poisson adulte, il existe trois types d'habitats : refuge, nutrition et reproduction (fig. I.2). C'est d'ailleurs lors de ces changements d'habitats que les poissons adultes sont en majorité capturés par la pêche.

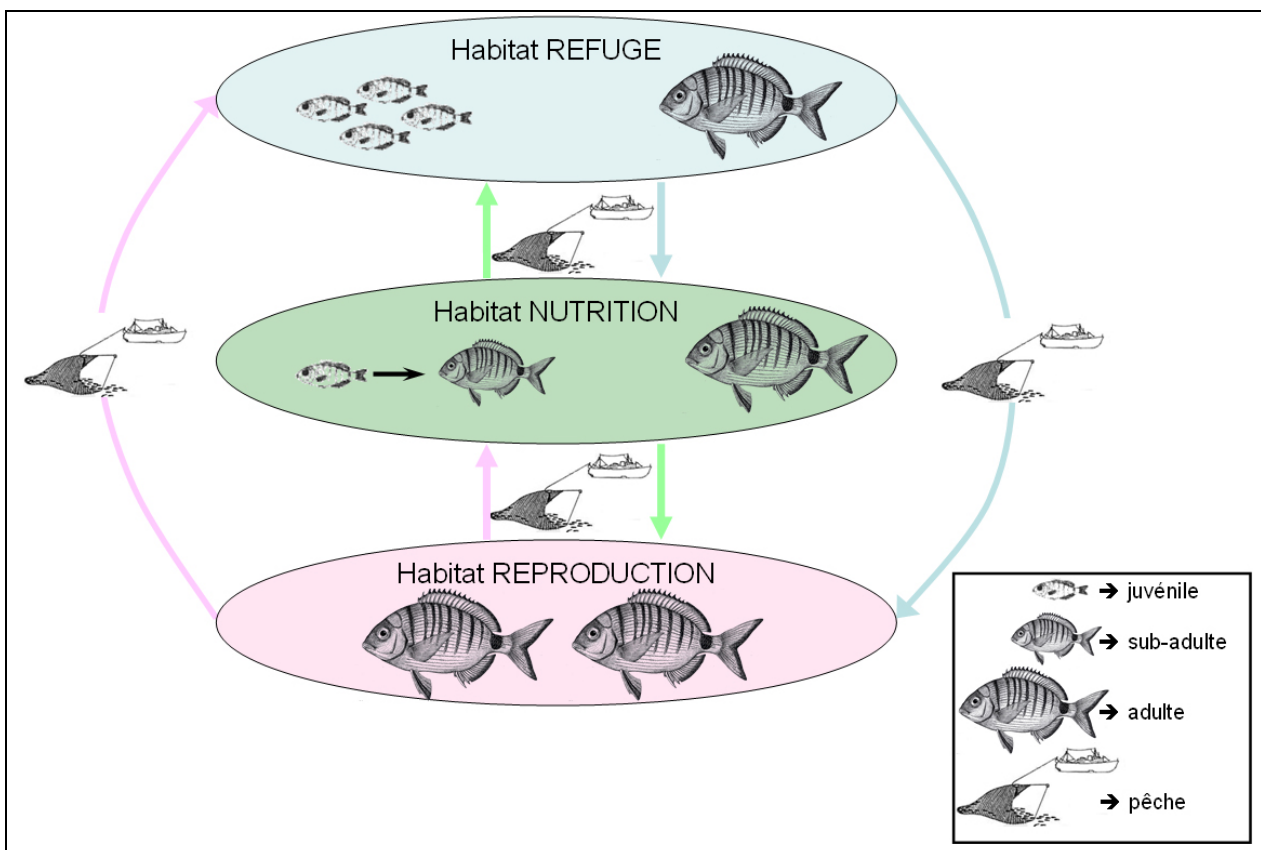


Figure I.2 : Les trois différents habitats d'un poisson avec les stades de développement présents dans chaque habitat. Les flèches indiquent les changements d'habitats possibles. Le bateau de pêche indique les moments où les poissons sont susceptibles d'être capturés.

Comprendre le fonctionnement des populations ichthyologiques et le déterminisme de leur structure s'avère donc nécessaire à l'élaboration d'outils d'aide à la gestion durable des ressources halieutiques, en particulier, au niveau des habitats essentiels à l'installation des jeunes poissons qui sont des zones à protéger prioritairement. En effet ils constituent le support d'une étape du cycle de vie décisive dans le maintien des populations d'adultes. Leur identification, la compréhension des mécanismes qui orientent leur sélection et le bénéfice qu'en retirent les communautés ichthyologiques sont évidemment un préalable incontournable à leur protection et à la mise en réserve de zones de nourricerie.

I-2 La connectivité en milieu marin

L'un des effets visibles de l'Homme sur les écosystèmes qui l'entourent est la destruction et la fragmentation d'une grande variété de ces derniers. Cette fragmentation des écosystèmes et donc des habitats est particulièrement visible en milieu terrestre. La construction d'une route ou d'une ligne ferroviaire au milieu d'une forêt ou d'un marais va entraîner une fragmentation de ces écosystèmes. Les échanges entre les deux parties ainsi créées vont être compliqués pour certaines espèces, rarissimes pour d'autres voire totalement absents. Ce morcellement se rencontre aussi lors de feux de forêt, de déforestations pour créer des zones exploitables pour l'agriculture, la construction de stations de sports d'hiver en milieu montagnard provoque aussi de la fragmentation d'habitats. Les constructions galopantes liées à une économie pour laquelle le développement d'axes de communications, de zones agricoles, industrielles, de lieux de loisirs est primordial ont bien entendu des effets sur l'environnement et l'intégrité des écosystèmes. D'ailleurs, Mader (1984) montrait déjà que les routes et les champs représentent des barrières réduisant les flux de gènes entre les habitats isolés ainsi créés pour une espèce de Coléoptères. Dans une revue bibliographique, Trombulak et Frissel (2000) relatent les effets écologiques que peuvent avoir les routes sur les communautés terrestres, sept effets majeurs en ressortent, tous négatifs. Ceux visibles aux premiers abords sont : la mortalité des animaux sessiles suite à la construction de la route, la mortalité suite à des collisions avec des véhicules ou la pollution induite. En revanche, ces routes et par conséquent le morcellement de l'habitat vont entraîner aussi des changements du comportement de l'animal, notamment dans ses déplacements, son succès reproductif, son état physiologique ou encore sa réponse de fuite. Bien entendu, selon les capacités de déplacement des espèces, les impacts seront différents, mais ils seront toujours négatifs. Sur des espèces très mobiles comme le grizzly (*Ursus ferocus*), ce ne sera pas la route en elle-même qui sera un obstacle pour l'animal mais le trafic sur cette dernière qui va affecter son comportement (Waller et Servheen, 2005). Pour

des espèces moins mobiles du type Anoures ou salamandres, la route en elle même sera un obstacle quasiment infranchissable (Eigenbrod *et al.*, 2008). Marsh *et al.* (2005) ont montré que la séparation en deux parties d'une forêt par la construction d'une route réduisait de moitié les échanges entre ces deux nouvelles zones. La fragmentation des écosystèmes par l'action de l'homme est un réel problème qui prend de plus en plus d'ampleur avec le développement économique et pourrait avoir des conséquences dramatiques sur le maintien de la biodiversité. Forman (2000) estime qu'un cinquième des Etats-Unis est directement affecté écologiquement par son réseau routier. Malheureusement le milieu marin n'est pas exempt de toutes ces altérations (Jones *et al.*, 2007). La dégradation des herbiers de phanérogames, des mangroves et des récifs coralliens est bien réelle et a pour conséquence de fragmenter ces écosystèmes dans le meilleur des cas ou de les détruire dans les pires *scenarii*. Les causes en sont multiples mais toujours d'origine anthropique : les espèces invasives (*Caulerpa taxifolia* en mer Méditerranée), l'aquaculture (notamment de crevettes qui détruit les mangroves dans certains cas) et la construction d'ouvrages portuaires qui, en plus d'apporter des sources de pollution, vont modifier la courantologie locale et entraîner à certains endroits une sédimentation excessive dommageable aux organismes photosynthétiques. Cependant, même si nous ne pouvons pas nier la participation des ouvrages portuaires à la dégradation et à la fragmentation des écosystèmes tels que les herbiers ou les récifs coralliens, nous pouvons dire aussi que dans certains cas ces ouvrages vont créer de la fragmentation d'habitat, non pas en dégradant un habitat continu, mais plutôt en ajoutant des fragments d'habitats le long d'une côte. Ainsi contrairement au milieu terrestre où la fragmentation est créée majoritairement par la destruction d'habitat, en milieu marin cette fragmentation peut être créée par apport d'habitat. C'est ce que nous observons sur des côtes sableuses comme la côte adriatique italienne (Guidetti, 2004 ; Guidetti *et al.*, 2005 ; Clynick, 2006) ou la côte languedocienne en France en ce qui concerne la mer Méditerranée, les mêmes systèmes sont aussi présent en Californie (Stephens et Pondella II, 2002). Ces côtes naturellement composées d'un long littoral sableux se sont vite avérées propices au développement des activités touristiques et par conséquent à la construction de stations balnéaires. Ces dernières ont engendré la construction de ports et de tous les enrochements artificiels qui vont avec. D'un littoral vierge de toute zone rocheuse, nous nous retrouvons avec un littoral sur lequel apparaît désormais une mosaïque de zones rocheuses côtières, bien plus productives en termes de biodiversité et de biomasse que des zones sableuses.

Quelle que soit la façon dont la fragmentation est créée, elle apparaît comme un handicap pour les populations en place et pour la résilience des écosystèmes, principalement, s'il

n'existe aucune connexion entre les différents fragments d'écosystèmes ainsi créés. L'Homme a induit par son activité cette fragmentation, il doit désormais intervenir pour la stopper (Jones *et al.*, 2007). Pour Hughes *et al.* (2003), le meilleur moyen actuel pour protéger des écosystèmes et la biodiversité qui leur est associée, est la création d'aires marines protégées (AMP). Ces dernières se multiplient aujourd'hui à des vitesses plus ou moins grandes selon les parties de la planète, mais selon une procédure plus ou moins similaire. Or cette procédure ne tient pas compte ou très peu compte de la manière dont les populations sont connectées entre elles (boîte 2). Lors de la mise en place d'une aire marine protégée, les habitats, la biodiversité présente et les aires de reproduction vont être privilégiés. Les processus de dynamique des populations et la connectivité entre ces populations sont très souvent inconnus, alors que d'après Sale *et al.* (2005), ils sont indispensables à une gestion et une conservation optimale des écosystèmes marins. Une partie de ce travail de thèse consistera en l'évaluation de la connectivité entre populations.

I-3 Le contexte local

La côte catalane française a un linéaire côtier de 85 km environ. Une majeure partie est située dans le département des Pyrénées-Orientales (Sud de la France sur la côte méditerranéenne) avec environ 75 km. Les 10 km restants sont situés dans le département de l'Aude, depuis la limite sud de ce territoire jusqu'au cap Leucate. Ce linéaire n'est pas uniforme en terme de substrat et peut être divisé en deux systèmes : une côte rocheuse naturelle au sud et une côte sableuse beaucoup plus anthropisée au nord. A cela, nous pouvons ajouter un troisième système qu'est la lagune de Salses Leucate (fig. I.3).

Boîte 2, la connectivité

La connectivité peut être définie comme les échanges d'individus parmi des sous populations géographiquement séparées que comprennent une métapopulation. Placée dans le contexte d'espèces marines plutôt benthiques, la connectivité des populations englobe la phase dispersive depuis la reproduction jusqu'à l'achèvement des processus de recrutement (incluant le choix de l'habitat et la métamorphose) (Cowen *et al.*, 2007).

Une **métapopulation** est au sens strict et théorique du terme un ensemble de populations locales séparées géographiquement, ayant chacune une certaine probabilité d'extinction et de recolonisation (Levins, 1969). Hanski (1999) estime dans son approche de métapopulation source-puits que les extinctions ne sont pas obligatoires. Cela implique des fluctuations au sein de ces populations, ce qui semble beaucoup plus probable que des extinctions.

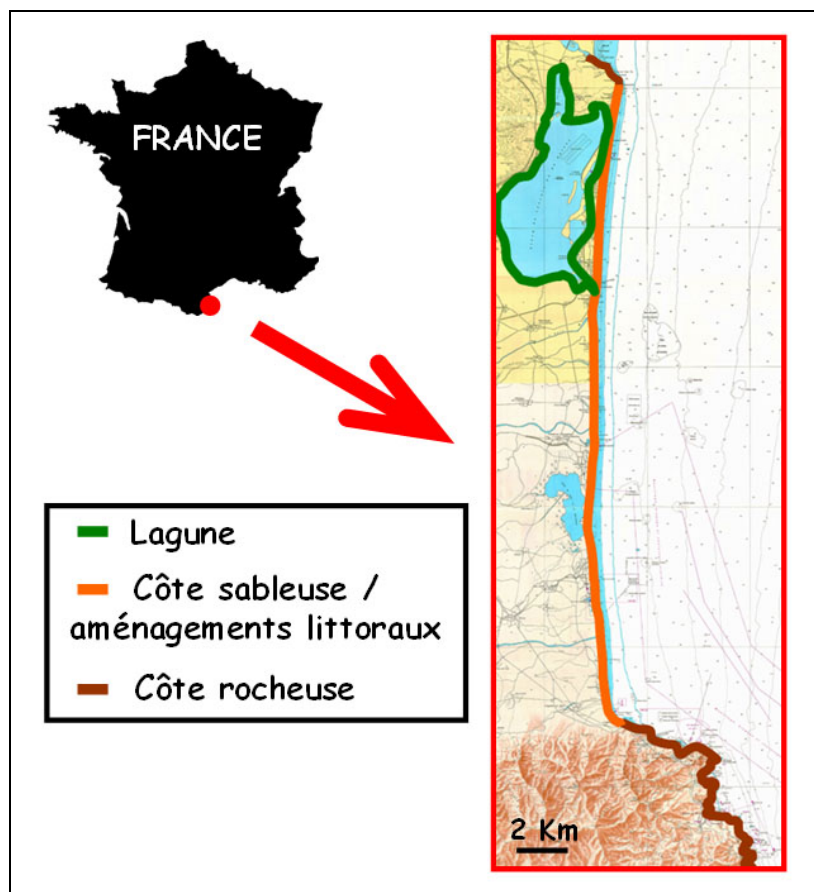


Figure I.3 : Carte de la côte catalane française montrant les trois systèmes qui la composent.

Cette côte catalane, très poissonneuse, permettait de faire vivre 66 pêcheurs aux petits métiers en 2002, 52 sur la côte sableuse et 14 sur la côte rocheuse. Nous pouvons ajouter à cela 31 navires (ostréiculteurs et petits métiers) qui exploitent la lagune (Guillou, 2002). La richesse de cette côte réside aussi en la diversité de poissons présents en plus ou moins grande abondance sur la zone. Criquet (2001) a montré que 45 espèces étaient pêchées sur la côte rocheuse, Larénie (2007), quant à lui a comptabilisé 93 espèces de poissons pêchées sur la côte sableuse. Ajouté à cela l'importance économique de la pêche de plaisance sur la zone, avec 42 tonnes de poissons pêchés en 2007 (Ageorges, 2007), il apparaît nécessaire de mieux connaître le fonctionnement des populations de poissons présentes afin de mettre en place des mesures dans un but de sauvegarde de la ressource en poisson et de la biodiversité. C'est principalement dans ce but que depuis le début des années 1990 un grand nombre d'études ont été menées sur l'ichtyofaune locale et ce sur tous les stades du cycle de vie : œufs et larves (Roussel, 2007), juvéniles (Jouvenel, 1997 ; Lenfant, 1998 ; Romans, 2003) et adultes (Jouvenel, 1997 ; Lenfant, 1998). Même si les connaissances sont à l'heure actuelle importantes par rapport aux autres zones de la côte catalane, elles restent encore infimes par rapport à ce qui est effectué en milieu terrestre, milieu bien plus accessible à l'investigation

scientifique. Ces études se sont limitées à la seule côte rocheuse. Aucune étude n'a été menée sur la côte sableuse ou n'a essayé de mettre en évidence une éventuelle connectivité entre la côte rocheuse et la côte sableuse. Pourtant Lenfant (1998) a suggéré que le nombre de sars communs adultes *Diplodus sargus* (Linné, 1758) présents sur la côte rocheuse ne pouvait être expliqué par le seul recrutement annuel de juvéniles sur cette zone. Ainsi en bornant le système à la seule côte rocheuse, il est impossible d'expliquer la dynamique des populations de sars communs de la côte rocheuse. Il est donc nécessaire de vérifier s'il existe des échanges avec la côte catalane espagnole vers le sud et avec la côte sableuse au nord.

Dans le cadre de cette étude nous avons donc choisi de nous intéresser à la côte sableuse, c'est-à-dire à la partie située au nord de la côte rocheuse. Quatre points ont motivé ce choix.

- Tout d'abord, au niveau du golfe du Lion, le courant principal est dirigé vers le sud et se retrouve au niveau de la côte catalane (fig. I.4). Il paraît ainsi plus envisageable d'observer des échanges depuis le nord vers le sud plutôt que le contraire, qu'ils soient actifs ou passifs. Pour aller dans ce sens Crec'hriou (2000), dans un travail effectué sur la côte rocheuse catalane, suggère que la majorité des larves de sars communs restent près de la côte et présentent une dispersion générale vers le sud, c'est-à-dire dans le sens du courant dominant.

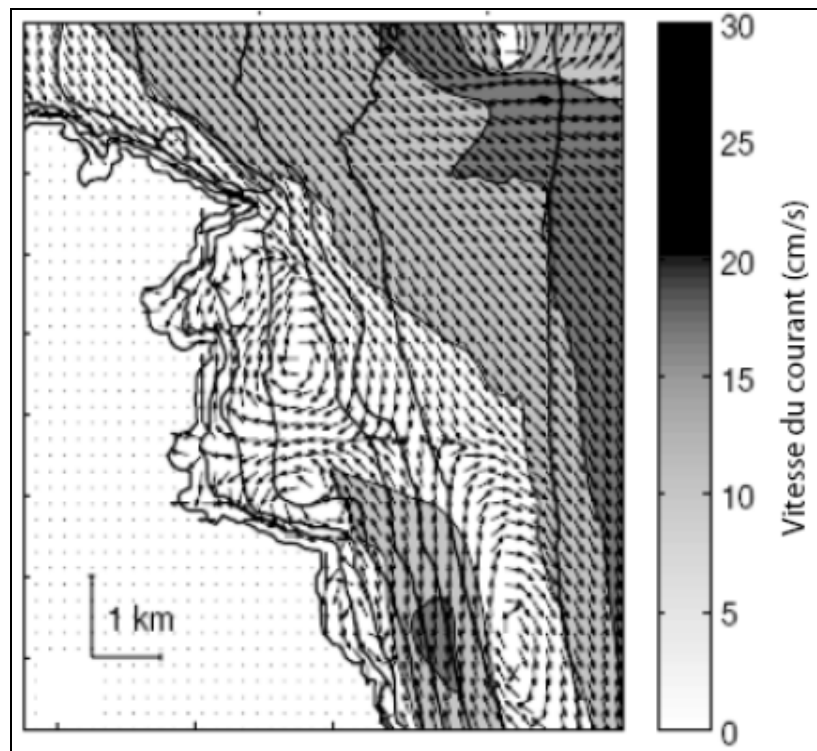


Figure I.4 : Simulation numérique des vecteurs de courant à 5 m de profondeur par vents de nord-ouest dans la partie française de la côte rocheuse catalane montrant un courant principal nord-sud (modifié d'après Guizien *et al.*, 2006).

- Un deuxième élément important à considérer au niveau de la côte sableuse catalane est la présence de lagunes : celle de Salses-Leucate et celle de Canet-Saint-Nazaire. Cette dernière ne peut être prise en compte du fait de ses très faibles échanges avec la mer. En revanche la lagune de Salses-Leucate, bien ouverte sur la mer paraît très intéressante. En effet, à une échelle générale, Beck *et al.* (2001) suggèrent que les lagunes (comme les marais, les estuaires, les herbiers et les mangroves) doivent être considérées comme des zones de nourricerie du fait de leur grande productivité primaire et secondaire, qui par conséquence entraînent de fortes abondances et diversités d'invertébrés et de poissons. Peu d'études ont été menées sur le rôle de nourricerie des lagunes de la côte méditerranéenne française, néanmoins quelques études assez anciennes montrent qu'il y a de fortes densités de juvéniles de poissons dans ces lagunes (Hervé et Bruslé, 1980 ; Quignard et Man-Wai, 1981). Il apparaîtrait assez probable que des juvéniles de poissons puissent grandir dans les lagunes avant de rejoindre la côte rocheuse une fois devenu adulte.

- La côte sableuse qui apparaît généralement comme un long cordon sablonneux, a été fortement anthropisée à partir des années 1960, d'une part, par la création de ports de plaisance, puis par la création d'ouvrages (digues, brise-lames) censés contrecarrer les effets négatifs de ces ports en terme d'érosion du littoral. Cet apport d'un substrat rocheux sur une côte entièrement sableuse a bien entendu des effets sur les peuplements ichtyologiques. C'est le cas notamment dans le nord ouest de la mer Adriatique où les structures de protection du littoral sont les plus vastes étendues de substrats durs disponibles pour les communautés benthiques et nectobenthiques (Pizzolon *et al.*, 2008). Des comparaisons effectuées entre milieux naturels et artificiels n'ont pas montré de différences de peuplements contrairement à ce que nous pouvions attendre, que ce soit sur la côte méditerranéenne de l'Italie (Clynick, 2006), de l'Espagne (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2006) ou sur la côte provençale en France (Ruitton, 1999). Ruitton (1999) va plus loin en montrant que les enrochements littoraux offrent des substrats pleinement adaptés à la colonisation et à la vie des communautés benthiques vivant habituellement sur des substrats durs naturels de type éboulis rocheux, ces derniers présentant la particularité d'être très diversifiés en variété d'habitats disponibles, ce qui a aussi été montré par Pizzolon *et al.* (2008). Au niveau de la côte catalane française, Jouvenel (1995) a évoqué le rôle de nourricerie que pouvaient avoir les enrochements littoraux, ce que Romans (2003) a confirmé en concluant un chapitre de son travail doctoral de la sorte : « Les épis et brises lames rocheux constituent un bon substitut aux fonds durs de la région de Banyuls, ils doivent jouer le rôle d'attracteurs et donc concentrer les larves des espèces de poissons nectobenthiques présentes dans la zone et qui ne peuvent s'installer sur les étendues sableuses

avoisinentes ». De plus, actuellement, les collectivités territoriales accentuent leurs efforts pour installer des récifs artificiels sur la côte du Languedoc-Roussillon. Ces récifs ont pour la plupart un but de production de poissons pour soutenir d'une part la pêche artisanale et d'autre part pour protéger cette biodiversité. Or ces récifs artificiels sont installés pour la plupart à des profondeurs de 20 m, sachant qu'une grande majorité de poissons commerciaux ont leurs stades juvéniles dans des plus faibles profondeurs (généralement quelques mètres), il semble nécessaire de protéger les zones peu profondes et de les aménager. Les enrochements littoraux mis en place dans un tout autre but peuvent jouer ce rôle de production de juvéniles. Une étude plus approfondie sur le rôle de ces enrochements littoraux dans la dynamique des populations de poissons de la côte catalane s'avère donc nécessaire.

- Le dernier point allant dans le sens de l'étude de la côte sableuse catalane et ses interactions avec la côte rocheuse et la lagune est le fait de sa proximité avec le centre de biologie et écologie tropicale et méditerranéenne. En effet l'étude que nous avons choisi de mettre en place nécessite énormément de travail de terrain et de communication avec les acteurs locaux. Du fait de la proximité du laboratoire de Perpignan, il est beaucoup plus aisé d'aller travailler sur la côte sableuse plutôt que sur la côte rocheuse espagnole.

L'impact que pourraient avoir les points précédents sur le maintien de la biodiversité au niveau de la côte catalane et le désir de pouvoir prédire chaque année le recrutement de poissons afin d'être en mesure de gérer les stocks exploités par la pêche (qu'elle soit artisanale ou de plaisance) nous ont amené à proposer une recherche qui s'articule autour de trois axes que nous développerons dans la sous partie suivante.

II- Objectifs généraux

Le principal objectif de ce travail est d'arriver à mieux comprendre le maintien d'espèces de poissons dans une zone se divisant en trois systèmes bien distincts : une côte rocheuse relativement naturelle, une côte dite sableuse mais de plus en plus rocheuse via son aménagement par l'homme avec des enrochements artificiels et enfin un milieu lagunaire lui aussi assez impacté par l'activité humaine. Comprendre le fonctionnement des populations au sein de chaque système, les interactions entre ces systèmes et le rôle éventuel des enrochements littoraux artificiels aura occupé ces trois années de doctorat qui se sont articulées autour de trois axes de recherche.

L'axe 1 est l'objet du chapitre II. La structure démographique des populations de poissons est bien connue au niveau de la côte rocheuse, notamment en terme de juvéniles, étant donné qu'ils sont suivis chaque année, du moins pour une espèce, *Diplodus sargus*. Ce chapitre permettra de caractériser la structure démographique des populations de cette espèce dans les deux autres systèmes que sont les aménagements littoraux de la côte sableuse et la lagune, avec une attention particulière concernant les juvéniles.

L'axe 2, objet du chapitre III permettra d'établir l'existence d'une connectivité entre les différents systèmes (lagune, aménagements littoraux de la côte sableuse, côte rocheuse) et son rôle dans le maintien des populations de poissons, notamment pour *Diplodus sargus*.

L'axe 3 qui est l'objet du chapitre IV, a pour premier but d'identifier les signatures microchimiques des nourriceries potentielles, puis dans un second temps d'appréhender la part de chaque système dans le maintien des populations présentes et dans les captures des pêcheries locales. Une attention toute particulière sera donnée à l'impact (positif ou négatif) des enrochements côtiers artificiels sur le maintien des populations de poissons des zones naturelles, en focalisant toujours nos efforts sur l'espèce *Diplodus sargus*.

III- La zone d'étude

La zone d'étude est assez vaste puisqu'elle s'étend sur 85 km de linéaire côtier (d'après les cartes marines SHOM numéro 6844_L et 6843_L, échelle : 1/50 000) depuis le cap Leucate jusqu'au cap Cerbère délimitant la frontière franco-espagnole (fig. I.5). Cette portion de côte, à cheval sur deux départements, les Pyrénées-Orientales au sud et à un degré moindre l'Aude au nord, est couramment appelée la côte catalane française. Cette zone est la plus méridionale de la côte continentale française. En plus de sa grande attractivité touristique, cette côte a aussi la particularité d'être divisée en deux systèmes pour la partie marine, une côte rocheuse naturelle au sud malgré quelques ports (Collioure, Port-Vendres et Banyuls) et une côte sableuse plus anthropisée au nord puisque la quasi-totalité des enrochements y sont artificiels, auxquels peuvent s'ajouter les lagunes. Dans les trois sous parties qui suivent nous allons évoquer les caractéristiques de ces trois systèmes.

III-1 Milieu lagunaire

La région Languedoc-Roussillon présente de nombreuses lagunes réparties sur l'ensemble du golfe du Lion. La plupart d'entre elles possèdent une ou plusieurs ouvertures sur la mer grâce à des graus naturels ou artificiels, plus ou moins larges. Ces communications sur la mer permettent le renouvellement des eaux des lagunes mais également des espèces qui y séjournent. Ce sont principalement ces espèces qui ne vivent pas en permanence dans les lagunes qui sont exploitées par les pêcheurs aux petits métiers à certaines périodes de l'année. La plupart des espèces ne passent qu'une partie de leur cycle biologique dans ces lagunes pour ensuite repartir en mer et se reproduire.

Bien qu'il existe trois lagunes sur le littoral roussillonnais, seule celle de Salses-Leucate sera prise en compte (fig. I.5). Les deux autres (Lapalme et Canet-Saint-Nazaire) n'interviendront pas (ou peu) dans notre étude car leurs échanges avec la mer sont très faibles. A Canet Saint-Nazaire, les échanges sont presque inexistants depuis une quinzaine d'année à cause de la fermeture du seul grau de la lagune, seules les larves peuvent entrer dans des conditions exceptionnelles de vent marin violent. La lagune de Lapalme possède quant à elle un grau intermittent qui limite considérablement les échanges avec le milieu marin.

La lagune de Salses-Leucate est située à une dizaine de kilomètres de Perpignan et une trentaine de Narbonne. De forme allongée, elle est parallèle au rivage de la mer. Elle s'étend sur une longueur maximale de 14 kilomètres et une largeur maximale de l'ordre de 6,5 kilomètres (données SIG). Une estimation de la superficie est beaucoup plus variable, selon que les auteurs tiennent compte des zones humides périphériques ou pas. Arnaud et

Raimbault (1969) lui attribuent une superficie de 4600 hectares constamment immergés, alors que d'autres auteurs lui donnent une superficie de 6370 hectares pour l'ensemble de la lagune et de ses zones humides adjacentes (Houssard, 1998). Par les méthodes de SIG, sa superficie peut être estimée à environ 5000 hectares d'après la carte du SHOM, sans tenir compte des zones humides.

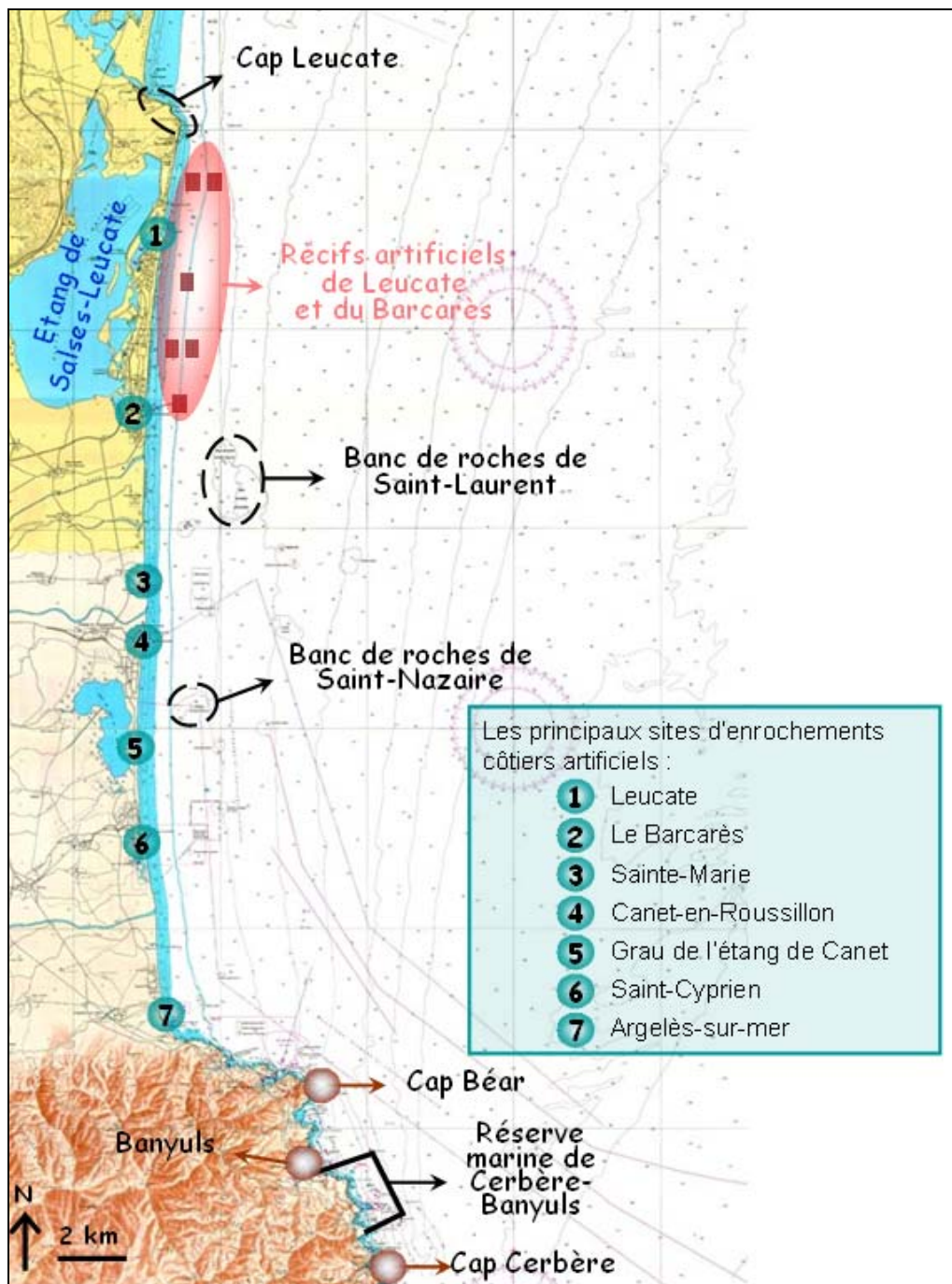


Figure I.5 : Carte de la zone d'étude. En pointillés noirs : les zones rocheuses naturelles de la côte sableuse. En vert : les principaux sites d'enrochements côtiers artificiels présents sur la côte sableuse. En rouge : les récifs artificiels. En bleu : la lagune de Salses-Leucate. En marron : quelques sites de la côte rocheuse.

La lagune est formée de deux bassins (fig. I.6), séparés par une ligne de hauts fonds d'environ un mètre de profondeur. Le bassin nord, appelé bassin de Leucate est deux fois plus petit que le bassin sud appelé bassin de Salses, 1500 hectares pour le premier contre 3000 hectares pour le second. La profondeur moyenne du bassin de Leucate est 1,1 m, celle du bassin de Salses est de 2,1 m. Les profondeurs maximales des deux bassins sont comprises entre 3,2 et 3,7 m ; des profondeurs de près de 5 mètres sont rencontrées dans le grau de Port-Leucate à la suite de draguage (Arnaud et Raimbaud, 1969 ; Clanzig, 1987) et au niveau des tables conchylicoles.

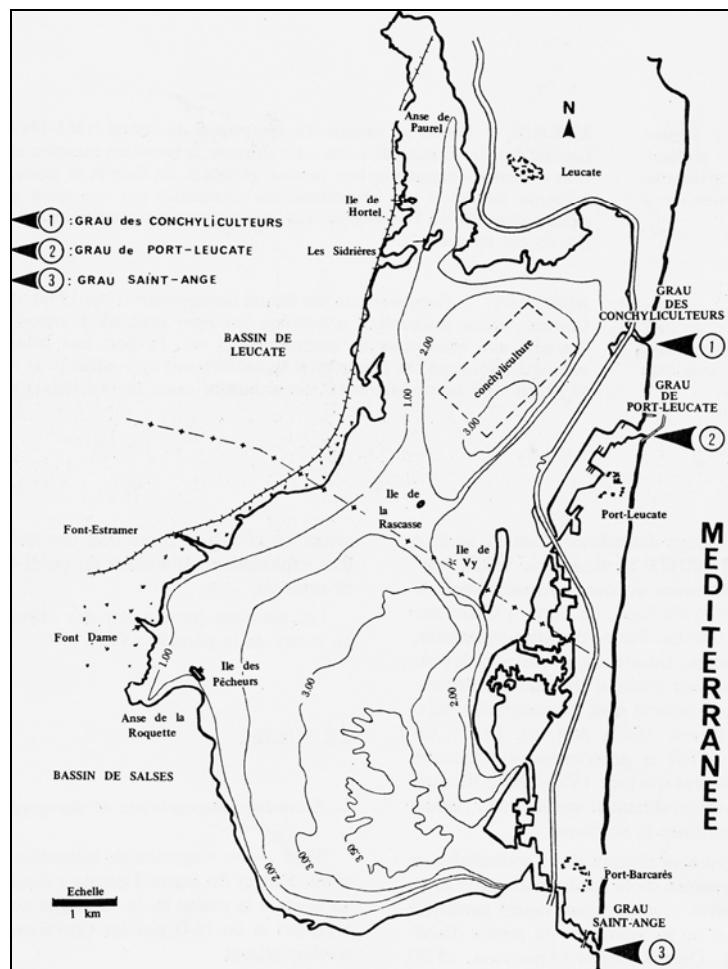


Figure I.6 : Topographie et bathymétrie de la lagune de Salses-Leucate d'après Hervé et Bruslé (1980).

Les apports d'eau du bassin versant sont essentiellement dus aux résurgences issues du relief karstique des Corbières. Les deux plus importantes sont celles de Font Dame et Font Estramar. Les eaux de ces deux résurgences ont une température comprise entre 16 et 19 °C quelle que soit la saison. La salinité est très faible, comprise entre 0 et 3. D'ailleurs ces résurgences sont le refuge des poissons euryhalins lors des mois très froids de l'hiver où la

température de la lagune peut descendre jusqu'à 3,3 °C d'après Wilke (1999). Ces poissons euryhalins sont notamment les loups (*Dicentrarchus labrax*) et les muges (notamment *Liza spp.*) qui supportent très bien de fortes dessalures. D'autres sources alimentent la lagune, notamment des résurgences sous-marines. Néanmoins ce sont les apports marins qui sont prédominants suite aux percements de deux graus entre 1965 et 1969. Si le grau des conchyliculteurs est naturel, celui de Port-Leucate et celui de Saint-Ange au Barcarès sont artificiels.

Etant donné que les apports marins sont prédominants dans cette lagune, la salinité moyenne est élevée. La lagune est considérée comme une véritable baie fermée avec une salinité voisine de celle de la mer, de 32 à 39 dans la lagune contre 38 en mer.

L'anthropisation de la lagune ne s'est pas arrêtée à la seule modification des échanges avec la mer. Effectivement, en 1963, la conchyliculture s'est installée dans la lagune avec l'installation de deux tables expérimentales, puis d'une réelle exploitation qui couvre actuellement 32 ha avec environ 230 tables exploitées (Wilke, 2001). Ces dernières sont toutes regroupées en face du grau de Leucate, appelé aussi grau des conchyliculteurs. Ainsi, les effets de l'Homme sur l'environnement sont surtout marqués au niveau des graus. Les trois graus ont été totalement façonnés par l'Homme qui a créé des enrochements sur leur rivage, normalement sablonneux. Le grau Saint-Ange au Barcarès, totalement artificiel, représente 6 km d'enrochements artificiels depuis la mer jusqu'à la lagune. Le grau de Port Leucate, lui aussi artificiel présente 6 km d'enrochements. Enfin le grau des conchyliculteurs, le plus court et à l'origine le seul grau naturel de la lagune n'est enroché que sur moins d'un kilomètre. Selon les années, ces 3 graus sont fermés par les pêcheurs de la fin du mois de septembre jusqu'à la fin du mois de février pour emprisonner les poissons dans la lagune afin de pouvoir les pêcher durant l'hiver. Théoriquement et même s'ils sont clos, ces barrages sont conçus pour laisser passer les juvéniles de poissons.

Une revue bibliographique réalisée par Wilke (2001) montre que les principales études ont été réalisées dans les années 80 et qu'elles ont été peu nombreuses (Hervé & Bruslé 1980, Roblin 1980, Lecomte-Finiger 1983, Cambrony 1983, Cambrony 1984, Lecomte-Finiger & Bruslé 1984, Roblin & Bruslé, 1984, Bourquard, 1985, Mosconi et Chauvet, 1990). Le dernier inventaire de l'ichtyofaune remonte à 1978 (Hervé, 1978). La dernière étude, réalisée en 1992, a remis en question l'intérêt des lagunes en terme de nourricerie pour les espèces de passage (exemple des muges) (Bruslé et Cambrony, 1992). Les auteurs émettent, en effet, l'hypothèse d'un possible piégeage des juvéniles lors de leur passage dans les lagunes.

L'ensemble de ces constats montre le manque d'informations disponibles et les questions qui restent en suspens.

III-2 Milieu côte sableuse

De nombreuses études sur la dynamique des populations de poissons ont été entreprises au niveau de la côte rocheuse, en revanche les dernières études recensées sur la côte sableuse remontent aux études de Cambrony (1983, 1984). L'intérêt de cette côte a, semble-t-il, été sous-évalué. En effet elle compte plusieurs estuaires, ports et lagunes qui sont reconnus comme des zones potentielles de recrutement pour un grand nombre d'espèces de poissons (Romans, 2003). La côte sableuse est un système caractéristique de la côte du Golfe du Lion, en effet du delta du Rhône jusqu'au Racou sur la commune d'Argelès sur Mer, la côte peut être assimilée à une étendue sableuse. Cependant, elle n'est pas un long désert sablonneux. Elle est parsemée d'estuaires et d'îlots rocheux au large de la côte entre 15 et 40 mètres de fond. De plus, l'anthropisation du littoral a apporté son lot de nouveaux habitats que sont les ports, les épis rocheux, les digues et les récifs artificiels. Ce système s'apparente à une mosaïque d'habitats essentiels potentiels pour les individus adultes et juvéniles des espèces de poissons de la côte catalane française. Pour simplifier, nous appellerons dans cette étude côte sableuse, la côte comprise entre le Racou et le cap Leucate. Au sein de la côte sableuse, trois types de structures ont été identifiés, pouvant être potentiellement des habitats essentiels pour les poissons de la côte catalane.

- **Les aménagements littoraux artificiels**

Les années 1960 et le développement voulu du tourisme ont profondément modifié la côte sableuse. Cette côte, à l'origine marécageuse infestée de moustiques et par conséquent inhabitée, a été drainée de ses marécages ; des habitations touristiques ont été construites, ainsi que des ports. Aujourd'hui, six ports de plaisance se trouvent sur la côte sableuse : du nord au sud, Port-Leucate, Port-Barcarès, Sainte-Marie, Canet-en-Roussillon, Saint-Cyprien et Argelès-sur-Mer. Il va de soi que ces milieux sont perturbés par l'activité humaine, néanmoins la bordure des bassins étant de l'énrochement, ils sont aussi propices à l'installation de nombreux poissons benthiques et nectobenthiques (Romans, 2003). La construction de ces ports n'a pas été sans conséquence pour l'hydrodynamisme local qui a été modifié et a entraîné une accentuation de l'érosion des plages. Pour limiter cette érosion, les collectivités territoriales ont décidé d'implanter des brise-lames et des digues (fig. I.7).

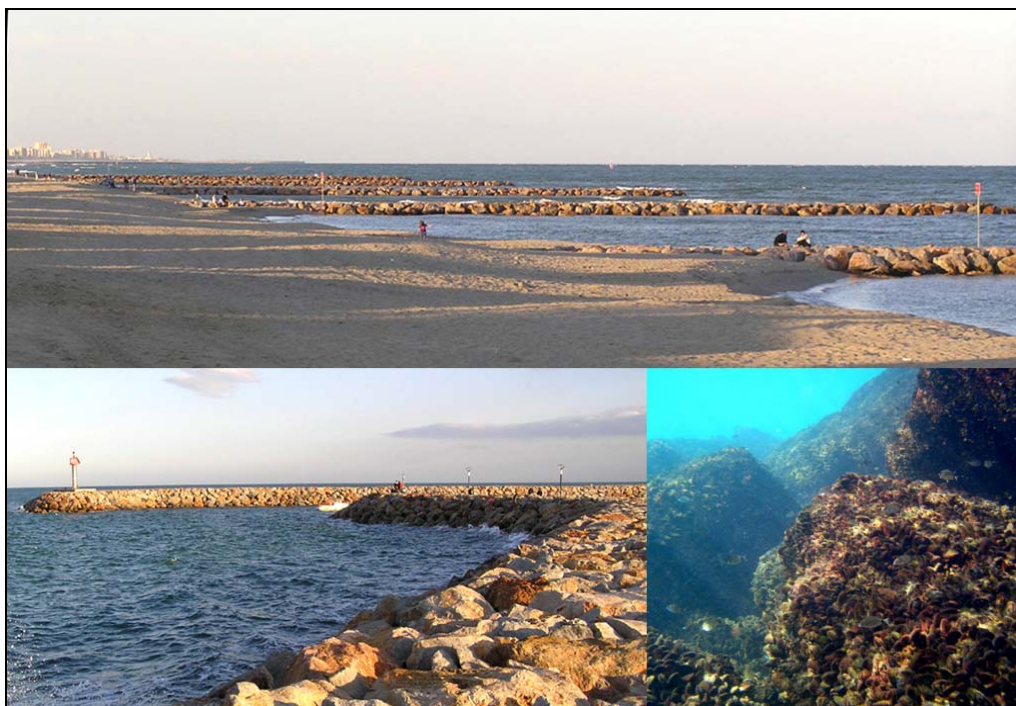


Figure I.7 : Sur la photographie du haut, des aménagements littoraux anti-érosions de type épis des plages de Saint Cyprien. En bas à gauche, vue des digues de protection du port de Saint Cyprien. En bas à droite, vue sous-marine de ces aménagements littoraux artificiels.

Généralement les épis rocheux se trouvent aux abords des ports, ainsi ils sont présents à Leucate (grau des conchyliculteurs), Port-Barcarès, Sainte-Marie, Grau de l'étang de Canet-Saint-Nazaire et Saint-Cyprien (fig. I.5). D'après des mesures effectuées par SIG, environ 38 km d'enrochements littoraux artificiels sont présents sur la côte sableuse catalane (tab. I.1), c'est-à-dire environ la longueur du linéaire côtier de la côte rocheuse évoquée ultérieurement. Il semble aussi opportun de noter que les profondeurs maximales excèdent rarement les 3 m au niveau de ces ouvrages.

Tableau I.1 : Longueur totale d'enrochement artificiel pour chaque bassin portuaire et chaque dispositif anti-érosion des stations balnéaires de la côte sableuse. Les données sont exprimées en mètres.

	Bassin portuaire (en m)	Dispositifs anti-érosion (en m)
Leucate	8000	1500
Le Barcarès	6500	790
Ste Marie	900	1000
Canet	6000	/
Grau étang de Canet	/	600
St Cyprien	9000	1000
Argelès-sur-mer	3000	/
<i>Sous-total (en m)</i>	<i>33400</i>	<i>4890</i>
Total (en m)	38290	

- **Les roches du large**

Plusieurs bancs rocheux naturels jalonnent le large de la côte sableuse, dont les principaux sont : la Roche de Saint-Laurent et la Roche Saint-Nazaire (fig. I.5). Ces roches sont situées à environ un mille nautique de la côte pour les plus proches sur des fonds allant de 25 m à plus de 50 m. Aucun travail n'y a été effectué car des plongées de reconnaissance ont montré une forte turbidité sur ces zones associée à une faible abondance de poissons observés, les deux étant sûrement liées. Néanmoins leur présence et leur rôle supposé dans le fonctionnement des populations de la côte catalane ne peuvent être niés et laissés de côté.

- **Les récifs artificiels**

Il existe 3 sites de récifs artificiels sur la côte roussillonnaise qui ont pour vocation de produire du poisson. Ceux de Saint-Cyprien et de Canet-en-Roussillon, tous les deux immergés en 1985, ont une superficie respective de 11,9 et 4,45 hectares (Pioch, 2004). Peu d'études ont été réalisées à leur sujet. Néanmoins, d'après leur faible superficie et les propos des pêcheurs, leur rôle dans les pêches locales serait anecdotique. En revanche les récifs artificiels du Barcarès et de Leucate immergés en 2004 avec une superficie totale de 72 hectares semblent beaucoup plus appropriés à jouer un rôle dans le maintien des populations de poissons de la côte. Comme le montre la figure I.8, ils sont disposés en six zones. Chaque zone est composée du même assemblage de trois types de récifs.

- Les amas chaotiques sont composés de divers types de matériaux (buses, poteaux, morceaux de quai, blocs de bétons) disposés en forme de pyramide sur une surface de 40 m². Ce sont eux qui présentent le plus de diversité et de quantité en termes d'habitats, ils ont donc pour vocation de produire du poisson.

- Les buses mesurent deux mètres de long pour deux mètres de diamètre, elles ont un rôle anti-chalutage.

- Les dalots ont aussi un rôle de protection, ils mesurent 4 mètres de long pour deux mètres de large et 2,50 mètres de hauteur.

Ces récifs artificiels sont beaucoup plus accessibles pour les manipulations en plongée sous-marine que les roches du large vues précédemment. En effet, situés à moins d'un mille nautique de la côte, les récifs artificiels sont posés sur des fonds compris entre 15 m et 25 m. De plus, depuis octobre 2004, ces récifs sont suivis par notre laboratoire. Les premières observations indiquent de fortes concentrations estivales de poissons sur ces modules (Lenfant *et al.*, 2007).

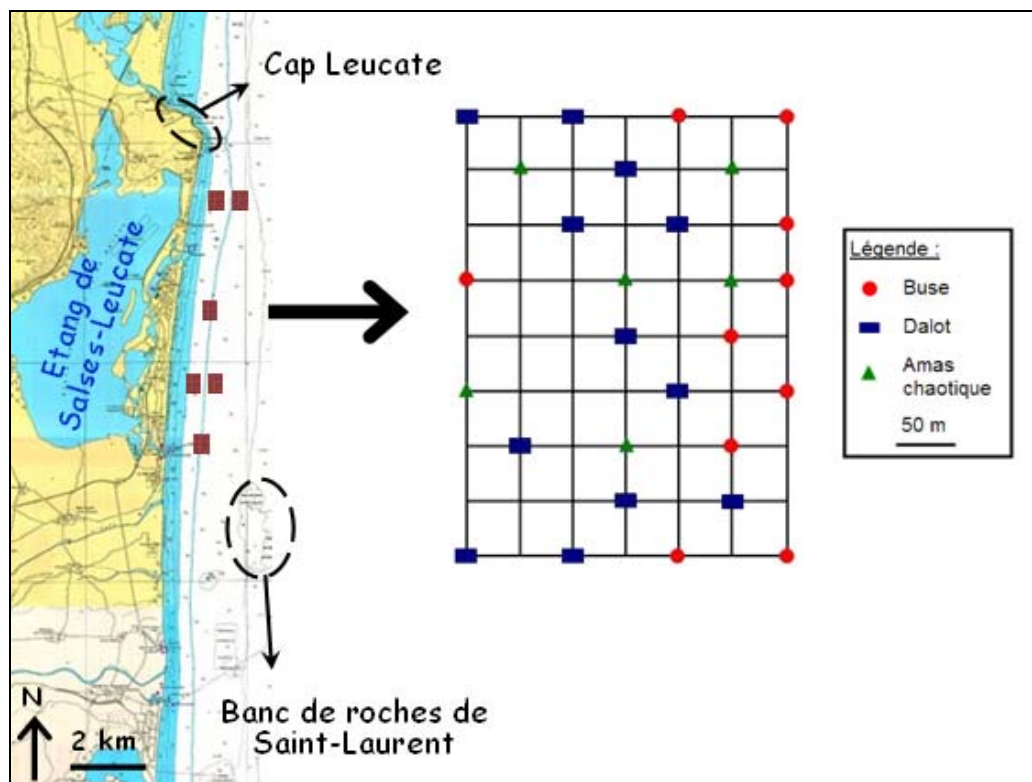


Figure 1.8 : Carte montrant les 6 zones de récifs artificiels de Leucate et du Barcarès, chacune étant représentée par un symbole. A droite, un agrandissement d'une zone montre l'assemblage de chaque type (amas chaotiques, dalots, buses) de récif au sein d'une même zone.

S'ajoute à cette liste de structure, un milieu particulier de cette côte qu'est le cap Leucate. Il est l'un des rares éperons rocheux (calcaire) entre la côte des Albères (schistes) et le massif de l'Estaque (calcaire) en Provence. Sur environ 3 kilomètres, la côte passe d'un lido sableux à une côte rocheuse avec des falaises et un fond qui s'apparente à des blocs et des dalles de roches posés sur un fond de sable, la profondeur n'excédant pas 5 mètres. Plus au large, par des profondeurs comprises entre 13 m et 25 m, se trouve un coralligène sur lequel des plongées de reconnaissance n'ont pas révélé de fortes densités de poissons. Néanmoins, cette zone du cap Leucate est réputée comme extrêmement poissonneuse par les pêcheurs locaux.

III-3 Milieu côte rocheuse

De la grande côte sableuse où le plateau continental s'étend sur plusieurs milles, on passe à un massif schisteux correspondant au contrefort du massif des Pyrénées. Le plateau continental commence à se réduire pour ne s'étendre que sur quelques milles. Cette côte rocheuse encore appelée Côte Vermeille, est caractérisée par de nombreux caps, constitués de roches massives et de baies à fonds sableux alimentées par des cours d'eaux littoraux intermittents. La partie française qui se prolonge en Espagne a un linéaire côtier d'environ 40 km depuis le Racou au nord jusqu'au cap Cerbère au sud. Cette côte n'est que très peu anthropisée, elle ne compte

que trois petits ports de plaisances (Collioure, Banyuls et Cerbère) et un seul enrochement artificiel, la digue du port de Banyuls. Le port de Port-Vendres est beaucoup plus gros, mais il est construit dans une baie naturelle et n'a pas nécessité la construction d'enrochements littoraux. Plusieurs sites de cette côte serviront de site d'étude au cours des différentes expérimentations mises en place durant ce travail de thèse, notamment un site situé dans la réserve marine de Cerbère-Banyuls : l'anse de Peyrefite. Mise en place en 1974, cette réserve marine de 650 hectares se situe au sud de la commune de Banyuls (fig. I.9). Elle est divisée en deux zones, une zone de protection renforcée où toute activité humaine est prohibée et une zone de protection partielle où les activités sont règlementées (pêche, plongée sous marine). L'anse de Peyrefite se situe dans la zone de protection partielle. Deux autres sites serviront à cette étude, le cap Béar et l'anse de Paulilles. Cette dernière est en tout point similaire à l'anse de Peyrefite sauf qu'elle ne se situe pas dans une zone de protection.

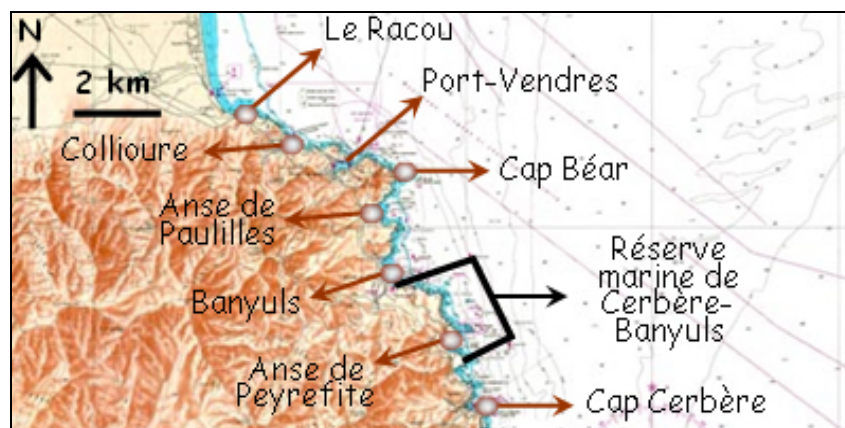


Figure I.9 : Carte de la côte rocheuse faisant figurer les différents sites fréquentés lors de cette étude ainsi que la réserve marine de Cerbère-Banyuls.

Afin de pouvoir répondre aux questions posées, il est essentiel de se servir d'un modèle d'étude fréquentant les trois systèmes vus précédemment

IV- Le modèle d'étude

Cette étude se focalise sur un modèle particulier, le sar commun *Diplodus sargus*. Au premier abord, il peut sembler assez étonnant de s'intéresser à ce poisson, lorsqu'une étude est menée en partie sur une côte sableuse et une lagune. En effet ce poisson est plutôt caractéristique des zones rocheuses. Cependant le sar commun est un poisson qui se rencontre dans la zone infralittorale des côtes rocheuses, mais aussi dans les milieux lagunaires (Man-Wai, 1985) notamment dans les lagunes à salinité plutôt élevée (lagune de Thau, lagune de Salses-Leucate). Une étude de Guillou *et al.* (2002) montre que cette espèce fait partie des dix espèces les plus pêchées en lagune en Languedoc-Roussillon. Durant 3 mois, les prises de 15 petits métiers de la côte sableuse catalane ont été mesurées. Ils ont ramené durant ce laps de temps près de 100 kg de sar commun pêchés dans la zone sableuse (Larénie, 2007). Ces prises confirment les premières observations réalisées sur la côte sableuse où la présence du sar commun n'est pas négligeable. Cette espèce de sar est présente dans les trois systèmes, elle apparaît donc comme un modèle adapté. Ajoutons à cela le fait que le laboratoire dans lequel cette étude est menée possède une grande connaissance sur cette espèce au niveau de la côte rocheuse (Jouvenel, 1997 ; Lenfant, 1998 ; Vigliola, 1998 ; Romans, 2003). Il apparaît ainsi nécessaire de pousser l'investigation jusque dans les lagunes et au niveau de la côte sableuse. Cette espèce a une distribution géographique assez vaste et est présente sur les côtes européennes par la sous espèce *Diplodus sargus sargus* en Méditerranée et en Mer Noire, mais aussi par la sous espèce *Diplodus sargus cadenati* pour la côte atlantique et l'Afrique tropicale. La sous-espèce *Diplodus sargus lineatus* se rencontre au Cap Vert alors que *Diplodus sargus capensis* est rencontré principalement en Afrique du Sud. Dans un souci de simplification, lors de cette étude, quand nous parlerons de *Diplodus sargus*, il s'agit en réalité de la sous-espèce méditerranéenne *Diplodus sargus sargus*.

Il semble incontournable de mieux connaître la biologie et les traits de vie généraux de ce poisson avant d'aller plus loin. Les informations qui suivent sont tirées pour la plupart des observations que nous avons effectuées durant d'innombrables plongées et répertoriées sur une page Internet (<http://doris.ffessm.fr>). Le sar commun est un poisson de 15 à 30 cm de longueur commune, et pouvant atteindre 45 cm. Comme tous les Sparidés, il ne possède qu'une nageoire dorsale. Le corps est ovale, élevé et comprimé latéralement. Sa coloration dominante est gris argenté. Les opercules sont bordés de noir, et une tache sombre en forme de selle est visible sur le pédoncule caudal. Les individus jeunes portent 8 à 9 stries verticales sombres sur la partie supérieure du dos, lesquelles peuvent disparaître chez les adultes. La robe du sar commun de Méditerranée varie selon le lieu où se trouve le poisson : dans des

biotopes très clairs (sable), les individus sont eux aussi très clairs, les rayures et les tâches ont tendance à disparaître même chez les jeunes individus (fig.I.10). En revanche dans des zones de roches plus sombres, les sars sont plus foncés et les rayures plus visibles. Les rayures ont aussi tendance à apparaître ainsi qu'un assombrissement général quand le poisson est stressé soit par un prédateur, soit par un congénère ou autre. Durant la phase de sommeil nocturne, le sar commun adopte une robe plutôt foncée laissant apparaître ses rayures.



Figure I.10 : Photographie de trois sars communs de Méditerranée appartenant à 3 classes de tailles distincts, de gauche à droite : 10 cm, 20 cm et 30 cm. Notons l'absence de strie verticale sur la robe des trois poissons due vraisemblablement à une adaptation à la couleur du substrat.

Le sar commun se rencontre souvent en petit groupe très près du substrat sur l'herbier de posidonies ou sur les petits fonds rocheux pour la saison estivale. L'hiver, il regagne des eaux plus profondes ayant une température plus stable. Les adultes sont présents entre 0 et 50 mètres de profondeur (Fisher *et al.*, 1987 ; Leboulleux, 1992 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1995). Ce poisson affectionne aussi les digues de ports, les épis rocheux et les récifs artificiels de faible profondeur où il trouve sa nourriture de prédilection, moules et oursins. S'il est inquiet, il se réfugie dans les cavités sous les roches. Les jeunes sont omnivores (surtout algues, vers, petits mollusques et hydrozoaires), alors que les adultes sont carnivores (vers, mollusques, crustacés et échinodermes). Le sar est une espèce hermaphrodite protandre non stricte, le changement de sexe intervenant généralement à 5 ans (25 cm) alors que la maturité sexuelle est atteinte à 2 ans (17 cm) d'après Abecasis *et al.* (2008). En ce qui concerne la reproduction, en Méditerranée Occidentale celle-ci a lieu de mars à juin. A l'approche de la reproduction les adultes se retrouvent en petits groupes pour frayer (Leboulleux, 1992).

Néanmoins, ce phénomène n'a jamais été observé même s'il est soupçonné d'après l'augmentation subite des captures par les chalutiers dans les zones situées au large (Jouvenel, 1997) pendant le mois d'avril. Les œufs fécondés restent dans une zone superficielle entre 0 et 5 mètres (Marinaro, 1971), voire 15 mètres de profondeur (Aboussouan, 1964) : ils sont dits épipélagiques. Les larves séjournent en moyenne 28 jours en pleine eau (Vigliola, 1998). A l'issue de cette phase pélagique, les larves retournent vers la côte où elles recherchent un substrat favorable à leur installation. Ce substrat correspond généralement à des milieux peu profonds (de 0 à 5 mètres) présentant une pente douce avec des anfractuosités ou des blocs recouverts d'algues (Leboulleux, 1992 ; Harmelin-Viven *et al.*, 1995 ; Jouvenel, 1997). Les juvéniles sont euryhalins (mais ne supportent pas de grandes dessalures comme les loups ou dorades), ils peuvent aller dans les eaux saumâtres et les lagunes au printemps pour revenir en mer à l'automne. Dès que les premières baisses de température se font ressentir, ils quittent les lagunes pour trouver un environnement plus stable (la mer) pour continuer leur vie. La colonisation des larves de sar commun est tardive et se déroule en une seule vague de courte durée entre mai et août selon les régions. Durant les deux mois que dure la phase d'installation, les juvéniles colonisent peu à peu des sites plus profonds (fig. I.11). Ce phénomène permet de limiter la compétition intra-spécifique pour l'espace et la nourriture.



Figure I.11 : Photographie de gauche, juvénile de sar commun moins d'un mois après l'installation (taille 2 cm). Photographie de droite, juvéniles de sar commun 3 mois après l'installation ayant une taille comprise entre 6 et 8 cm, notons la présence sur cette photographie d'un juvénile de *Diplodus cervinus*.

D'après les constatations relevées ci-dessus, le sar apparaît comme un bon modèle pour tester l'existence de connectivité entre les trois systèmes que sont la lagune, la côte rocheuse et les enrochements littoraux de la côte sableuse, mais aussi pour évaluer l'importance de ces systèmes dans le maintien des populations de poissons de la côte catalane française. Une première étape consiste en la caractérisation de la structure démographique des populations de cette espèce dans les trois systèmes de la côte catalane française.

Chapitre II : Le sar commun de la côte catalane, juvéniles et adultes des lagunes, côte rocheuse, côte sableuse et aménagements littoraux, de Leucate à Cerbère

I- Objectifs et hypothèses de travail

Les peuplements ichtyologiques littoraux en Méditerranée font l'objet d'études scientifiques depuis de nombreuses années avec un effort plus prononcé sur les espèces exploitées. Ces études ont été particulièrement développées dans le cadre de la mise en place ou du suivi des Aires Marines Protégées (Lenfant, 2003 ; Lloret et Planes, 2003 ; Guidetti *et al.*, 2005 ; Willis et Millar, 2005) et des récifs artificiels (Sinis *et al.*, 2000 ; Charbonnel *et al.*, 2002 ; Moreno, 2002 ; Sanchez-Jerez *et al.*, 2002 ; D'Anna *et al.*, 2004). Parmi les espèces exploitées par la pêche artisanale, certaines ont été particulièrement étudiées. Il s'agit notamment du sar commun (Sala et Ballesteros, 1997 ; Mariani, 2006 ; Domingues *et al.*, 2007 ; Leitao *et al.*, 2007 ; Mouine *et al.*, 2007).

Même si de nombreuses connaissances restent à acquérir en ce qui concerne l'ichtyofaune de la côte rocheuse catalane, cette dernière a été beaucoup étudiée notamment par Jouvenel (1997). Celui-ci a observé et expliqué une structuration des assemblages de poissons adultes. Cette structuration étant pour lui liée à quatre facteurs : la profondeur, la variabilité saisonnière, le niveau de protection et enfin une variabilité temporelle à l'échelle décennale. Ces quatre facteurs agissent en synergie sur la composition spécifique des peuplements, sur leur structure quantitative et également au niveau comportemental, cela au travers de changements importants dans la fréquentation d'utilisation et l'extension des territoires des espèces. Plus précisément et en ce qui concerne le sar commun, Lenfant (1998) a montré que la structure démographique de la population de sar de Banyuls sur mer présentait une forte variabilité dans la distribution des effectifs. Deux cohortes représentent près de 50% de la population totale, sachant que cette dernière est composée d'une grande majorité de poissons âgés d'un à dix ans. Cela pourrait s'expliquer par les fortes variabilités du nombre de juvéniles observés d'une année sur l'autre sur 20 km de linéaire de côte rocheuse (de 150 à 2700 individus selon les années entre 1994 et 1998). Par ailleurs, pour ce même auteur, le nombre de juvéniles de sars communs arrivant chaque année sur la côte rocheuse catalane ne peut à lui seul expliquer les fortes densités d'adultes observées sur cette côte. Cette hypothèse suggère que le système côte rocheuse catalane française ne soit pas clos. Bien au contraire, pour se perpétuer, il doit être alimenté par des systèmes adjacents, soit en juvéniles mais plus vraisemblablement en adultes d'après les dénombrements de juvéniles effectués par Jouvenel (1997) et Lenfant (1998). Concernant les juvéniles, Jouvenel (1997) a montré que sur la côte

rocheuse catalane, les juvéniles de trois espèces de sars (*D. vulgaris*, *D. sargus* et *D. puntazzo*) se partagent dans le temps le même type d'habitat, les fonds de baie rocailleux à pente douce. Cette observation est en accord avec ce qui a été montré sur la côte provençale par Harmelin-Vivien *et al.* (1995). La thèse de Romans (2003), axée principalement sur la phase d'installation des juvéniles montre que cette dernière se déroule globalement dans les mêmes conditions démographiques quelque soient les sites de nourricerie choisis par les larves compétentes à l'issue de la phase pélagique. Durant ses travaux de thèse, cet auteur a aussi été le premier à s'intéresser à la côte sableuse catalane en terme de juvéniles de Sparidés. Il suggère que les épis et brise-lames rocheux peuvent jouer le rôle d'attracteur et donc concentrer les larves des espèces de poissons nectobenthiques présentes dans la zone et qui ne peuvent s'installer sur les étendues sableuses.

La structure démographique des populations de poissons et à fortiori des sars communs de la côte rocheuse paraît bien connue, notamment en termes de juvéniles. En effet, en plus des études menées sur la zone par Jouvenel (1997), Lenfant (1998) et Romans (2003), le laboratoire continue de suivre annuellement les juvéniles de sars communs présents à l'installation. Des études plus ponctuelles ont aussi été menées sur d'autres secteurs de la côte méditerranéenne, en Espagne et en Italie (Garcia-Rubies et Macpherson, 1995 ; Macpherson *et al.*, 1997 ; Vigliola *et al.*, 1998). En France, les populations de la côte provençale ont aussi été très suivies (Harmelin-Vivien *et al.*, 1995 ; Macpherson *et al.*, 1997 ; Vigliola *et al.*, 1998). Ainsi, ce chapitre est consacré à la caractérisation de la structure démographique des populations de sars communs dans les deux autres systèmes que sont les aménagements littoraux de la côte sableuse et la lagune. Adultes et juvéniles seront suivis, avec une attention toute particulière pour ces derniers.

A l'heure actuelle, seul Romans (2003) a étudié les sars associés aux aménagements littoraux de la côte sableuse catalane en dénombrant le nombre de juvéniles de Sparidés présents à l'installation sur les brise-lames de Sainte Marie. Quelques études ponctuelles de suivi de pêches ont été menées sur certaines zones de la côte sableuse, notamment aux alentours de zones de récifs artificiels. En effet, les études se focalisent maintenant sur l'utilisation de telles structures comme outil de gestion de la pêche artisanale. Pour les récifs artificiels, cela a déjà été montré depuis de nombreuses années, essentiellement dans les pays asiatiques, où des augmentations de biomasse ont pu être observées en périphérie (Kim, 2001 ; Clarke *et al.*, 2002 ; Jan *et al.*, 2003 ; Powers *et al.*, 2004). Les suivis en lagunes sont beaucoup moins documentés en dehors des rapports internes de l'IFREMER (Crespi, 2002 ; Katselis *et al.*, 2003). Les études sont plus focalisées sur les crises dystrophiques liées aux blooms

phytoplanctoniques et aux suivis des apports par les bassins versants (Villa *et al.*, 2003 ; Vizzini et Mazzola, 2003). Aucune donnée n'est disponible sur des systèmes de roches isolées, que ce soit sur notre zone de travail ou ailleurs.

II- Matériel et méthodes

Afin de comparer les différentes populations de sars communs présentes sur la côte catalane française, nous nous intéresserons dans un premier temps aux sars adultes puis dans un second temps aux sars juvéniles. Afin de simplifier et sauf mention contraire, le terme sar sera employé pour désigner les sars communs (*D. sargus*).

II-1 Les sars adultes dans les différents systèmes : côte rocheuse, aménagements littoraux/côte sableuse, lagune

L'objectif est d'appréhender d'éventuelles différences de densité et de taille entre les sars des trois systèmes. Les densités sont évaluées en effectuant des comptages en plongée sous-marine. La plupart des études d'écologie des poissons voulant comparer les tailles moyennes de plusieurs populations nécessitent de sacrifier un certain nombre d'individus, généralement une cinquantaine d'individus par population. Au contraire, durant cette thèse, une méthode non destructive a été choisie et les mesures de poissons sont obtenues en parallèle des opérations de marquage décrites dans le chapitre suivant.

Au crépuscule de cette thèse une étude démographique approfondie sur chaque zone avait été envisagée en utilisant notamment l'otolithométrie, comme l'avait effectué Lenfant (1998) au niveau de la côte rocheuse. Néanmoins la surcharge de travail que cela impliquait en parallèle des campagnes de marquage et des manipulations de microanalyse chimique des otolithes a contraint l'utilisation d'une étude démographique plus sobre en terme de sacrifices de poissons et de paramètres étudiés. Les approches de marquage et de microanalyse chimique des otolithes ont été privilégiées.

II-1.1 Variabilité des densités

Le but est de comparer les densités en sars communs adultes entre les trois zones que sont la côte rocheuse, les aménagements littoraux de la côte sableuse et la lagune. En ce qui concerne la lagune, les plongées de repérage effectuées tout au long de l'année ont vite montré qu'il n'y avait que très peu de sars communs adultes, cette observation étant en concordance avec les propos des pêcheurs affirmant que les sars adultes étaient extrêmement rares dans leurs filets.

Ainsi aucun comptage de poissons n'a été entrepris dans la lagune. Les efforts ont porté sur la côte rocheuse et les aménagements littoraux de la côte sableuse.

Au niveau de la côte rocheuse, nous avons utilisé les données acquises lors de la campagne annuelle du suivi des populations de poissons de la réserve marine de Cerbère-Banyuls à laquelle nous participons. Cette opération consiste en des comptages de jour en scaphandre autonome le long d'un transect de 50 m de long sur 5 m de large, soit 250 m² selon la méthode de Harmelin-Vivien *et al.* (1985). Un transect, matérialisé par un ruban de 50 m de long est déroulé au fur et à mesure du comptage le long d'une ligne imaginaire. Un plongeur dénombre tous les sars communs de part et d'autre du transect en déroulant le ruban et note la taille approximative, le nombre d'individus dans un couloir de 5m de large axé sur le transect. Deux profondeurs de comptages ont été retenues 5m et 20m. Pour la profondeur la plus faible, le comptage s'est effectué sur des fonds de type éboulis rocheux alors que pour la profondeur la plus importante le comptage a été réalisé sur des fonds de type coralligène. 3 sites ont été retenus sur la côte rocheuse : le sec de Rédéris, le cap l'Abeille et le cap Canadell. Les 2 premiers sites se situent dans la réserve de Cerbère Banyuls, respectivement en zone de protection intégrale et en zone de protection partielle. Le site du cap Canadell est situé hors réserve proche de la frontière espagnole (fig. II.1).

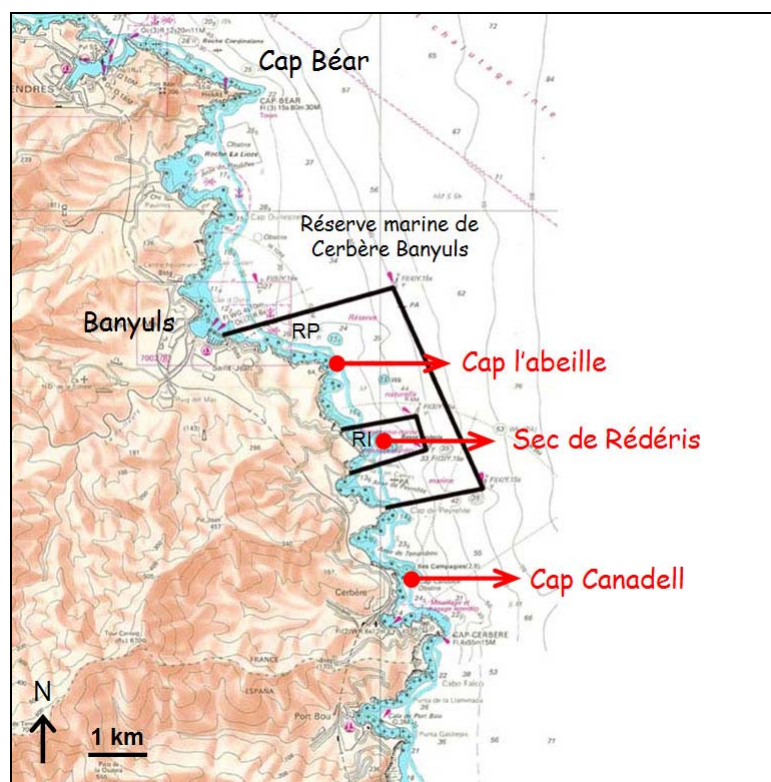


Figure II.1 : Carte situant les 3 sites de la côte rocheuse pour lesquels les densités d'adultes ont été mesurées. RP → Réserve partielle, RI → Réserve Intégrale.

Pour chaque profondeur de chaque site, 2 comptages ont été effectués en juillet 2007. En ce qui concerne les aménagements littoraux de la côte sableuse, les densités ont été évaluées au cours des plongées de capture de poissons dans le but de les marquer, opération de marquage décrite dans le chapitre suivant. Ainsi en parallèle des captures, des comptages ont pu être effectués selon la même méthode que celle utilisée sur la côte rocheuse, à savoir des transects de 250 m². En revanche, du fait des faibles profondeurs sur ces aménagements littoraux, une seule profondeur a été retenue, comprise entre 2 m et 5 m selon les sites. Deux sites d'aménagements littoraux ont été échantillonnés, Saint Cyprien et Sainte Marie (fig. II.2). Pour ces deux stations, trois transects ont été comptés, durant les mois de juillet 2005 et 2006. Pour avoir un site avec une profondeur aux alentours de 20 m des comptages ont été faits sur les récifs artificiels du Barcarès. La méthode du comptage par transect n'étant pas applicable sur cette zone trop petite (84 m²), tous les sars présents sur le récif ont été dénombrés. Trois comptages ont été effectués en juillet 2007 sur un des récifs du Barcarès de type amas chaotique sur 17 m de profondeur. A cela, s'ajoute un comptage effectué en juillet 2007 au niveau du cap Leucate sur une zone rocheuse naturelle par 5 m de profondeur. Deux transects de 200 m² ont été comptés. Le tableau II.1 récapitule les comptages effectués.

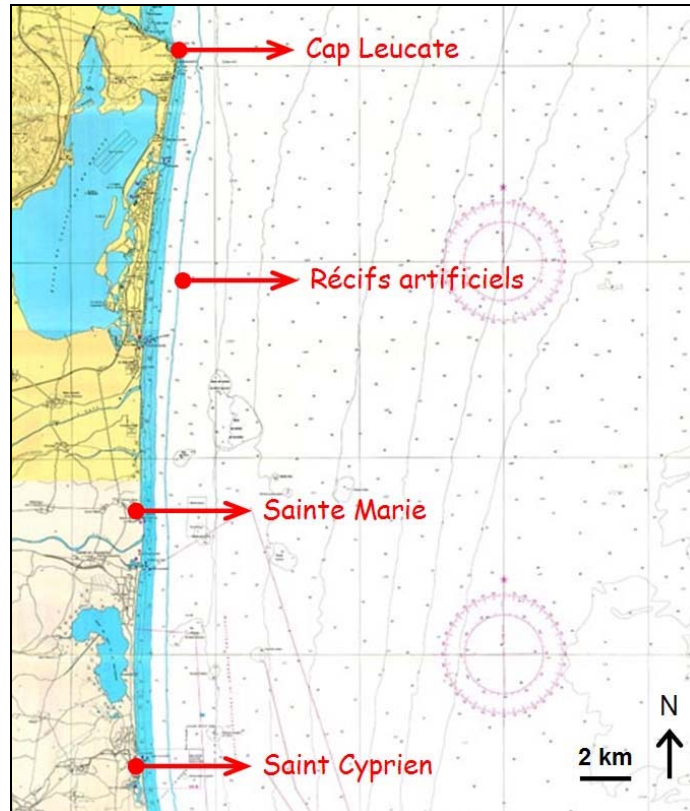


Figure II.2 : Carte situant les 4 sites artificiels et naturels de la côte sableuse pour lesquels les densités d'adultes ont été mesurées.

Tableau II.1 : Tableau récapitulatif des stations et profondeurs échantillonnées, ainsi que les périodes d'échantillonnage et le nombre de transects réalisés pour l'estimation des densités d'adultes de sars communs sur des sites de la côte rocheuse et de la côte sableuse. RP, réserve partielle ; RI, réserve intégrale ; HR, hors réserve ; AC, aménagements côtiers ; RA, récifs artificiels et ZN, zone naturelle.

	Station	Profondeur	Période	Nombre de transects
Rocheuse	Cap Abeille (RP)	5 m et 20 m	juillet 2007	2
	Cap Rédéris (RI)	5 m et 20 m	juillet 2007	2
	Cap Canadell (HR)	5 m et 20 m	juillet 2007	2
Sableuse	Ste Marie (AC)	5 m	juillet 2005 et 2006	3 et 3
	St Cyprien (AC)	5 m	juillet 2005 et 2006	3 et 3
	Le Barcarès (RA)	17 m	juillet 2007	3
	Cap Leucate (ZN)	5 m	juillet 2007	2

II-1.2 Variabilité des tailles moyennes

Les mesures de tailles ont été effectuées en parallèle des marquages de poissons (cf chapitre suivant), elles n'ont donc pas été réalisées exactement aux mêmes stations que les mesures de densités. Cependant elles sont très proches en terme de substrat et géographiquement puisqu'il s'agit de stations de la côte rocheuse et de stations des aménagements littoraux de la côte sableuse. De la sorte la taille moyenne est représentative étant donné que tous les poissons sont capturés sans discernement de taille. Les juvéniles ne sont pas pris en compte car seuls les individus de plus de 13 cm de longueur totale sont mesurés (taille minimale de marquage). Les poissons sont capturés de nuit en scaphandre autonome à l'aide d'une épuisette. Dès qu'un sar est observé, il est capturé puis mesuré. La longueur totale est mesurée au millimètre près. 2 sites de la côte rocheuse ont été retenus : l'anse de Peyrefite dans une zone de protection partielle et l'anse de Paulilles située hors réserve (fig. II.3). Les mesures ont aussi été effectuées sur les aménagements littoraux de Saint Cyprien et Sainte Marie, ainsi que sur un récif artificiel de type amas chaotique du Barcarès. Les mesures ont été réalisées en Juillet 2006 pour toutes les stations. Afin d'appréhender une éventuelle variabilité saisonnière des tailles moyennes des sars adultes sur les aménagements littoraux de la côte sableuse, ces mesures ont été comparées avec des mesures effectuées en 2005 sur trois mois : début août, début septembre et début octobre. Le tableau II.2 récapitule les comptages effectués.



Figure II.3 : Carte des sites où les tailles moyennes de sars adultes ont été mesurées. En marron, les sites de la côte rocheuse, en vert, les sites sur les aménagements littoraux de la côte sableuse et en rose le site récifs artificiels.

Tableau II.2 : Tableau récapitulatif des stations et profondeurs échantillonnées, ainsi que les périodes d'échantillonnage et le nombre de poissons mesurés pour l'estimation des tailles moyennes d'adultes de sars communs sur des sites de la côte rocheuse et de la côte sableuse. RP, réserve partielle ; HR, hors réserve ; AC, aménagements côtiers ; RA, récifs artificiels.

	Station	Profondeur	Période	Nombre de poissons mesurés
Rocheuse	Peyrefite (RP)	5 m	juillet 2006	61
	Paulilles (HR)	5 m	juillet 2006	50
Sableuse	Ste Marie (AC)	5 m	juillet 2006	62
	St Cyprien (AC)	5 m	juillet 2006 + 3 mois 2005	48 + (46, 31 et 69)
	Le Barcarès (RA)	20m	juillet 2006	54

II-1.3 Analyses des données

Pour mettre en évidence ou non une variabilité de la densité et/ou des tailles moyennes entre les différents sites retenus, des comparaisons de moyennes ont été réalisées. Avant tout, la normalité des données est testée par un test de Kolmogorov Smirnov. Dans le cas d'une distribution normale et si l'hypothèse d'égalité des variances (homoscédasticité) est respectée les comparaisons de moyennes ont été effectuées par des ANOVA à un facteur. Sinon un test non paramétrique H de Kruskal Wallis a été utilisé. Pour explorer plus précisément l'existence ou non de différences entre les sites, un test t de Student a été réalisé dans le cas d'une distribution normale des données, ou un test non paramétrique U de Mann-Whitney dans le cas contraire. Tous ces tests ont été réalisés avec le logiciel SPSS 10.0.

II-2 Les sars juvéniles dans les différents systèmes : côte rocheuse, aménagements littoraux/côte sableuse, lagune

II-2.1 Acquisition des données

Depuis 1994, début de la thèse de Jouvenel (1997), une équipe du laboratoire suit chaque année (fin Juillet, début Août) les juvéniles à l'installation de *D. sargus* le long du linéaire côtier allant du cap de Peyrefite jusqu'au cap Béar, soit environ 26 kilomètres de côtes. Ce comptage est rendu possible par le fait que les recrues de cette espèce sont peu fuyantes et cantonnées à proximité de la côte entre 0 et 1 mètre de profondeur en général.

Pour ce travail, les comptages ont été étendus du cap Béar jusqu'au cap Leucate afin de couvrir la côte sableuse et ses aménagements littoraux. Cependant, sur cette partie supplémentaire, les comptages n'ont pas été effectués sur le linéaire en entier, mais plutôt sur des zones susceptibles de montrer le plus grand nombre de juvéniles. Ces sites à fortes densités de juvéniles sont généralement des baies ayant une faible pente pour la côte rocheuse, mais ce sont aussi des aménagements littoraux de la côte sableuse.

La méthode de comptage décrite par Jouvenel (1997) a été utilisée. Un plongeur libre nage en surface le long du linéaire côtier sur des fonds compris entre 0 et 1 voire 2 m. Tout en nageant, le plongeur note sur une plaquette immergeable tous les juvéniles qu'il voit. Il est important de ne pas s'arrêter de nager afin d'éviter les doublons. Les comptages ont été effectués sur maximum 15 jours, du 1^{er} au 15 août, durant trois années : 2005, 2006 et 2007.

En parallèle des comptages de juvéniles, différentes mesures sont effectuées afin de caractériser l'environnement des différents sites dans lesquels vivent les juvéniles, de façon relativement similaire à ce qu'a réalisé Ruitton (1999). Les paramètres physiques mesurés pour chaque site sont : la pente (en °), la taille moyenne (en m) des blocs de roche et la taille

moyenne des cavités entre les blocs. Pour mesurer les blocs de roche, le plongeur choisit au hasard 30 blocs, pour chacun des blocs, deux mesures sont prises : la longueur maximale du bloc et une largeur maximale perpendiculaire à la longueur maximale. Cela permet d'obtenir une estimation de la surface du bloc de roche. Les mêmes mesures sont prises pour estimer la surface des cavités, à savoir une longueur maximale et une largeur maximale perpendiculaire à la longueur maximale. En plus de ces données physiques, le recouvrement biologique de ces blocs a été caractérisé grâce à un quadrat de 50 cm de côté lui-même séparé en 25 quadrats de 5 cm de côté chacun (fig. II.4). Pour chaque zone, 20 grands quadrats ont été caractérisés. Pour cela le quadrat est lâché depuis la surface, il tombe ainsi au hasard sur le fond, l'observateur note pour chaque petit quadrat la dominance entre les différents types de recouvrement possible :

- Algues arborescentes (de taille supérieure à 1 cm)
- Algues gazonnantes (de taille inférieure à 1 cm)
- Algues encroûtantes
- Moules
- Oursins
- Balanes
- Eponges / ascidies
- Anémones de mer
- Jeunes moules (moules de moins de 1 cm)

Les résultats sont donnés en pourcentage de recouvrement. Ces mesures ont été effectuées en Juin 2007, mois d'installation des juvéniles de sars communs.

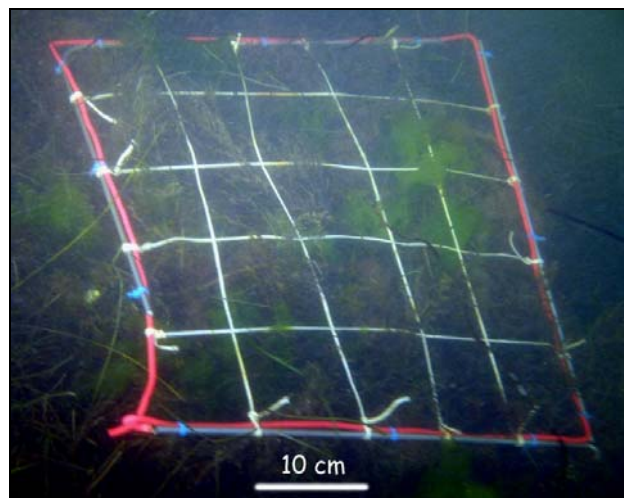


Figure II.4 : Photographie du quadrat utilisé afin de caractériser le recouvrement biologique des habitats des juvéniles de sar commun. Dans le cas présent, l'image a été prise dans la lagune de Salses-Leucate avec un recouvrement de type algues arborescentes.

Plusieurs sites ont été sélectionnés pour comparer les densités de juvéniles entre la côte rocheuse, les aménagements littoraux de la côte sableuse et la lagune.

Au niveau de la côte rocheuse, 3 sites ont été sélectionnés (fig. II.5) :

- l'anse de Peyrefite parce que depuis 15 ans c'est le site où la densité de juvéniles est régulièrement la plus forte sur la côte rocheuse,
- la digue du port de Banyuls afin de pouvoir comparer les densités sur un aménagement littoral de la côte rocheuse avec ceux de la côte sableuse et
- le Racou, première zone rocheuse faisant suite à la longue côte sableuse.

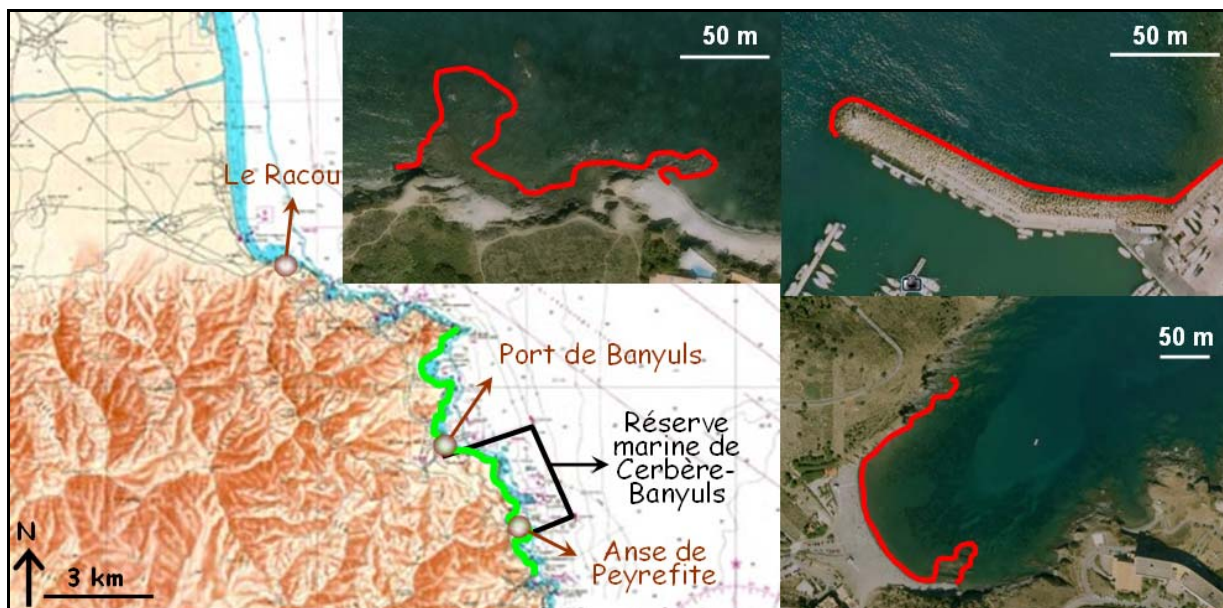


Figure II.5 : Localisation des sites étudiés au niveau de la côte rocheuse. Pour chaque site, une photo aérienne (source : google earth) montre le type de station concerné. Les traits rouges indiquent le linéaire côtier pour lequel les comptages ont été effectués. Le trait vert montre le linéaire côtier échantillonné chaque année depuis 1994 entre le cap Béar et Cerbère au sud.

En ce qui concerne la côte sableuse, plusieurs sites ont également été retenus qui correspondent tous à des enrochements côtiers artificiels (fig. II.6).

- Un enrochement de type brise lame à Saint Cyprien.
- Un enrochement au niveau du grau de l'étang de Canet côté mer. Dans ce cas nous distinguerons l'enrochement côté mer de l'enrochement côté grau. Le côté grau est parfois en contact avec l'eau de la lagune.
- Un enrochement de type brise lame à Sainte Marie
- Un enrochement de type brise lame au Barcarès

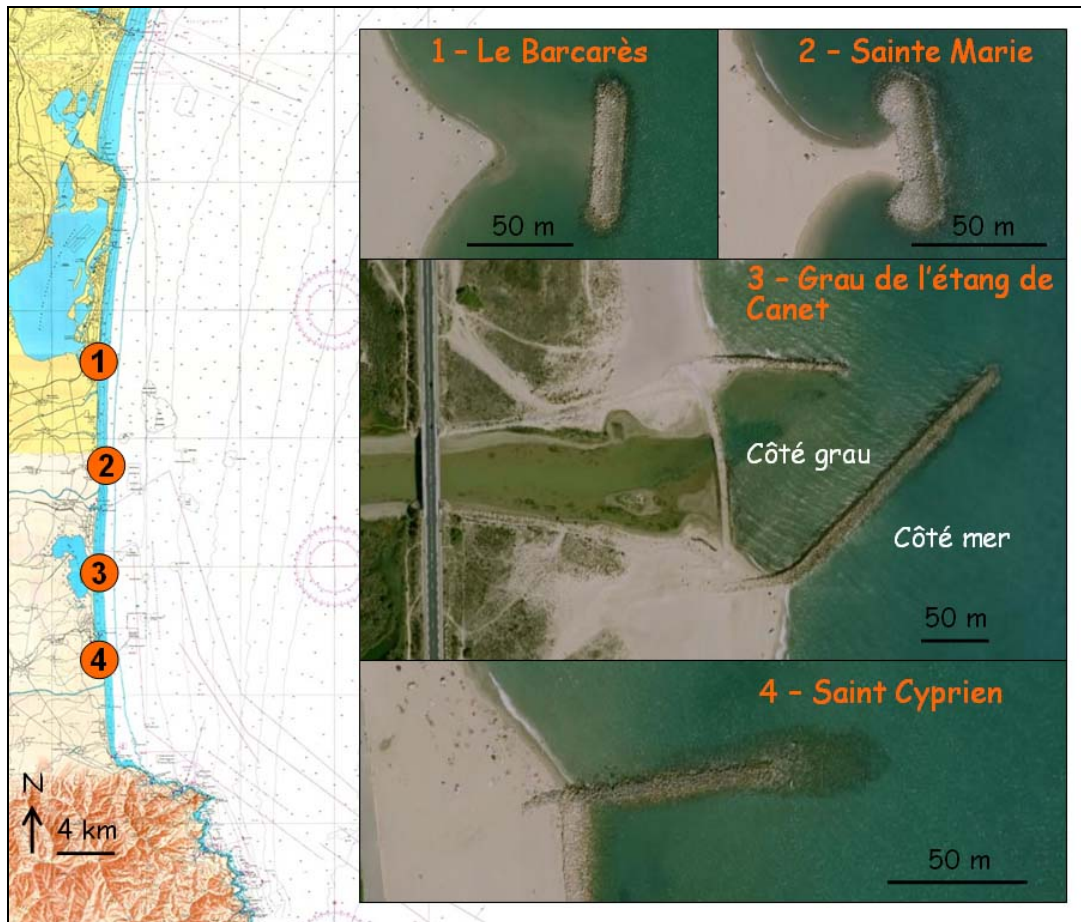


Figure II.6 : Localisation des sites étudiés au niveau des aménagements littoraux de la côte sableuse. Pour chaque site, une photo aérienne (source : google earth) montre le type d'aménagement concerné.

Les juvéniles ont aussi été dénombrés dans la lagune de Salses-Leucate au niveau de 3 sites caractérisés par leur éloignement par rapport à la mer. Ces sites sont du plus proche de la mer aux plus éloignés (fig. II.7).

- Le grau de Saint-Ange, ce site est situé dans le grau reliant la lagune à la mer au niveau du Barcarès, la zone où les comptages sont effectués se situe à 1300 mètres de la mer.
- La Coudalère qui est un site situé dans la lagune, proche du commencement du grau Saint Ange, à environ 3200 mètres de la mer.
- Le Téleski qui est une zone située vers l'intérieur de la lagune, éloignée des communications avec la mer de 6300 mètres.

Ces sites ont été sélectionnés car ce sont les seuls où des juvéniles de sars communs ont été observés lors de plongées préliminaires. Aucun juvénile n'a été aperçu dans les herbiers de zostères (*Zostera noltii*, *Zostera marina*) couvrant une grande partie de la lagune. Les 3 sites cités précédemment sont des enrochements artificiels. Aucun site naturel de la lagune ne semble abriter des juvéniles de sars communs.

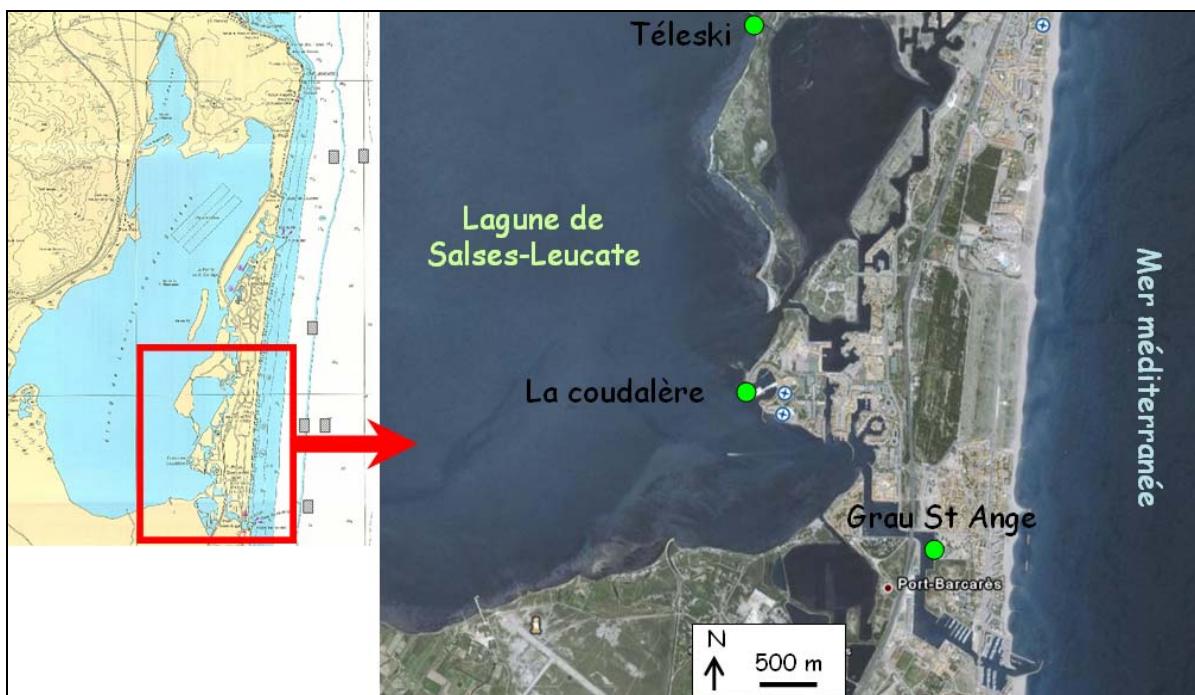


Figure II.7 : Carte situant les sites de la lagune de Salses-Leucate pour lesquels les juvéniles ont été dénombrés.

Etant donné que la méthode de comptage utilisée dans ce cas précis ne suit pas un transect de longueur connue, les surfaces des sites sur lesquels les juvéniles ont été dénombrés, ont été mesurées à l'aide de photos aériennes calées dans un Système d'Information Géographique (MapInfo 7.5). Ces surfaces sont répertoriées dans le tableau II.3, ainsi que la longueur de linéaire correspondant. Ces mesures permettent ainsi de calculer des densités de juvéniles.

Tableau II.3 : Surface et longueur de linéaire pour les stations échantillonnées de la lagune ; de la côte sableuse et de la côte rocheuse.

	Lieu	Surface (m ²)	Linéaire (m)
Lagune	Téléski	418	76
	La Coudalère	600	200
	Grau St Ange	750	250
Côte sableuse	Le Barcarès	576	192
	Ste Marie	540	134
	Etang Canet (grau)	650	214
	Etang Canet (mer)	900	220
	St Cyprien	1400	363
Côte rocheuse	Le Racou	2800	285
	Port de Banyuls	600	210
	Peyrefite	3400	263

II-2.2 Analyses des données

Les comparaisons de densités de juvéniles ont été effectuées avec les mêmes outils statistiques que ceux utilisés pour les adultes. Les données récoltées ont aussi été traitées de façon à voir si les conditions environnementales, le milieu ou d'autres paramètres peuvent avoir un effet sur les densités de juvéniles. La variabilité environnementale aux différents sites constitue la composante explicative d'une analyse en composantes principales (ACP), où les variables biologiques (densités de juvéniles) sont projetées sur ce plan afin de distinguer celles qui répondent le mieux à la variabilité environnementale. Ces analyses ont été effectuées avec le logiciel SPAD 5.5.

III- Résultats

Ce chapitre a pour but de caractériser les populations ou sous populations de sars communs de la côte catalane française, que ce soit sur la côte rocheuse, les aménagements littoraux de la côte sableuse ou au niveau de la lagune. Adultes et juvéniles sont étudiés successivement.

III-1 Les sars adultes de la côte catalane française

Pour caractériser les populations de sars communs adultes de la côte catalane française, 2 paramètres ont été mesurés : la densité et la longueur moyenne.

III-1.1 Densité de sars adultes

La figure II.8 montre clairement que les densités maximales observées de sars communs, selon le protocole d'échantillonnage mis en place, se situent au niveau des récifs artificiels du Barcarès à 20 m de profondeur avec $0,8 \text{ ind.m}^{-2}$, soit 8 fois plus de sars que sur toutes les autres stations, et au niveau du sec de Rédéris (réserve marine en protection intégrale) à 5 m de profondeur avec $0,4 \text{ ind.m}^{-2}$. Ces 2 stations sont significativement différentes entre elles (test U, $p < 0,01$), les récifs artificiels présentant des densités 2 fois plus élevées. En mettant ces deux stations à part, il en ressort que toutes les autres stations présentent des densités en adultes similaires, de l'ordre de $0,1 \text{ ind.m}^{-2}$.

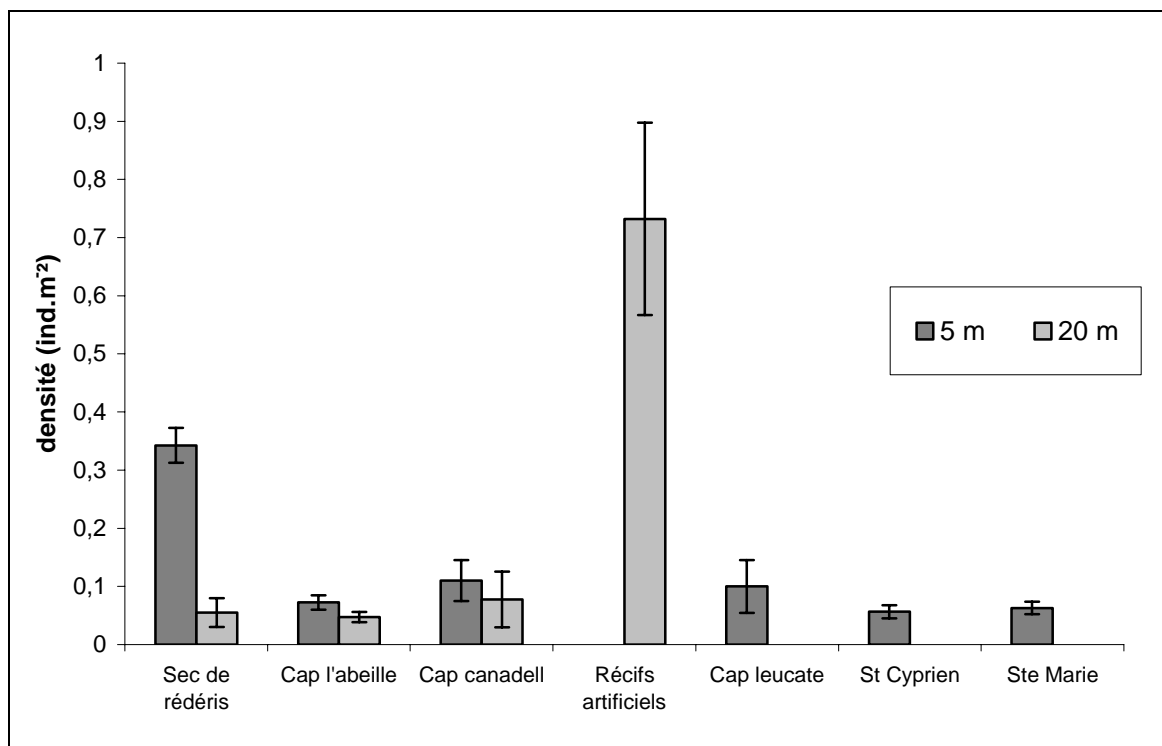


Figure II.8 : Diagramme en bâtons des densités de sars communs adultes au niveau de la côte rocheuse (les trois stations de gauche) et au niveau des aménagements littoraux de la côte sableuse (les quatre stations de droite, notons que la station cap Leucate est un site naturel). Les densités sont données pour deux profondeurs (5 m et 20 m). Quand une seule profondeur apparaît, cela signifie que les deux profondeurs ne sont pas présentes sur le site en question. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

Les densités de sars adultes ont été mesurées sur 2 années (2005 et 2006) au niveau de 2 sites (St Cyprien et Ste Marie) afin d'appréhender une éventuelle variabilité inter-annuelle. Ces 2 sites sont des aménagements littoraux de la côte sableuse de type brise-lames à St Cyprien et à Ste Marie. Comme nous pouvons le constater sur la figure II.9 et même s'il semblerait qu'il y ait des différences au niveau de St Cyprien, avec des densités supérieures en 2005, aucune des différences n'apparaît significative (test U, $p > 0,05$) dans l'une ou l'autre des stations.

En comparant globalement les densités de sars observées, il ressort que seuls deux sites sont différents des autres : la réserve intégrale de la côte rocheuse (Sec de Rédérís) à 5 m, et les récifs artificiels de la côte sableuse à 20 m. Cependant l'analyse seule des densités ne suffit pas à caractériser des populations et il est important d'appréhender d'éventuelles différences de tailles entre les populations des différents systèmes.

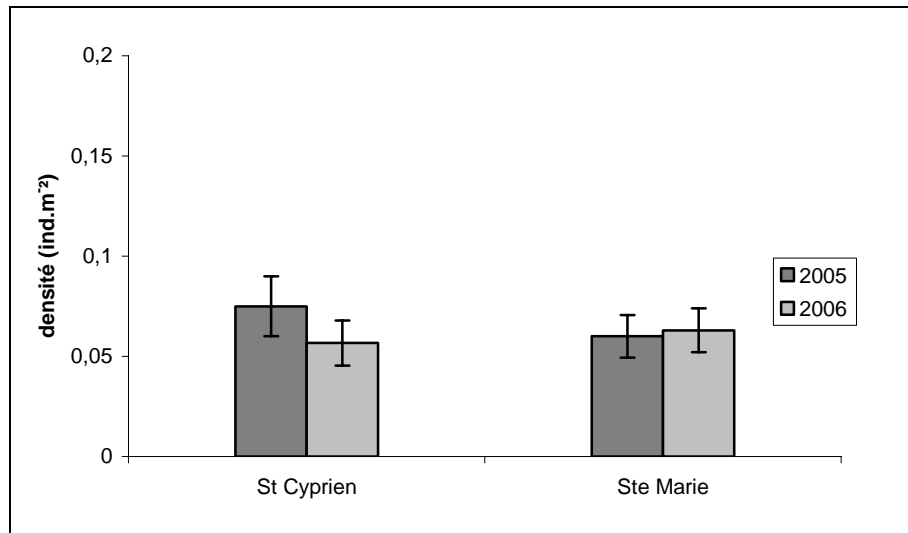


Figure II.9 : Diagramme en bâtons des densités de sars communs adultes au niveau de deux aménagements littoraux de la côte sableuse, à St Cyprien et à Ste Marie. Les comptages ont été effectués dans moins de 5 m d'eau lors des années 2005 et 2006 (Mois de Juillet). Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

III-1.2 Taille des sars adultes

Le diagramme en bâtons de la figure II.10 couplé à un test de Kruskal-Wallis montrent qu'il y a des différences des tailles moyennes entre les différents sites ($H=21,36$; $p<0,01$). Les tests U de Mann-Whitney, révèlent que cette variabilité est surtout induite par le site des récifs artificiels. En effet, ce site apparaît différent de tous les autres, qu'ils soient de la côte rocheuse ou des aménagements littoraux de la côte sableuse. Avec une taille moyenne de 249 mm ($\sigma=32$ mm, σ étant l'écart type), les sars de ce site sont plus grands d'au moins 16 mm par rapport aux sars des autres sites (tab. II.4). D'autre part, la figure II.10 semble indiquer que les tailles moyennes au niveau du brise-lame de St Cyprien sont plus grandes que celles de Ste Marie ou des deux sites de la côte rocheuse. Cependant ces différences ne sont pas significatives (test U, $p> 0,05$). Il n'y a donc pas de différence de taille moyenne entre des sars adultes de la côte rocheuse et des ceux d'aménagements littoraux de la côte sableuse, excepté dans le cas de récifs artificiels.

Pour la station de St Cyprien, les mesures ont été effectuées sur 2 années (2005 et 2006), et aucune variabilité inter-annuelle n'est observée en ce qui concerne la taille moyenne des poissons. De plus, aucune différence significative des tailles moyennes n'est observée entre des sars de la réserve marine partielle (Anse de Peyrefïte) et des sars de la côte rocheuse, mais hors réserve marine.

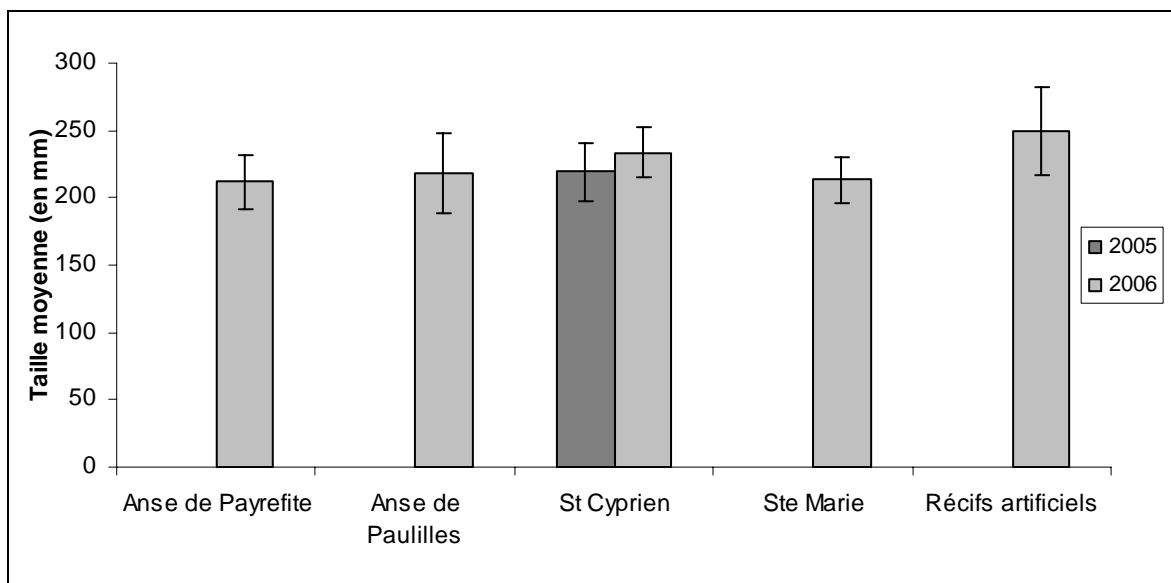


Figure II.10 : Diagramme en bâtons des tailles moyennes (Longueur totale en mm) de sars communs adultes au niveau de la côte rocheuse (les deux stations de gauche) et des aménagements littoraux de la côte sableuse (les trois stations de droite). Notons deux années de données sont disponibles pour la station de St Cyprien. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

Tableau II.4 : Tailles moyennes (Longueur totale en mm, σ est l'écart type) de sars communs adultes au niveau de la côte rocheuse (en italique) et des aménagements littoraux de la côte sableuse pour l'année 2006. RP, réserve partielle ; HR, hors réserve ; AC, aménagements côtiers ; RA, récifs artificiels.

	Tailles moyennes (mm)
<i>Peyrefite (RP)</i>	212 ($\sigma=19$)
<i>Paulilles (HR)</i>	218 ($\sigma=29$)
St Cyprien (AC)	233 ($\sigma=18$)
Ste Marie (AC)	213 ($\sigma=17$)
Le Barcarès (RA)	249 ($\sigma=32$)

L'existence d'une variabilité au sein d'une année, au fil des mois pour une même station, a également été testée. Pour cela des comptages ont été réalisés au début des mois d'août, septembre et octobre 2005 sur le brise-lame de St Cyprien.

La figure II.11 montre que durant ces trois mois, la taille moyenne des sars a tendance à diminuer, de 219 mm ($\sigma=21$) en août, elle passe à 189 mm ($\sigma=16$) en septembre puis 169 cm ($\sigma=14$) en octobre. Un test non paramétrique de comparaison de moyenne de Kruskal-Wallis indique que les tailles moyennes de ces trois mois sont significativement différentes

($H=44,29$; $p<0,01$). Des tests U de Mann-Whitney effectués deux à deux, montre que les trois mois sont différents entre eux. Les tailles moyennes en août sont différentes de celles de septembre ($U=447$, $p<0,01$) qui elles-mêmes sont différentes de celles d'Octobre ($U=560$, $p<0,01$).

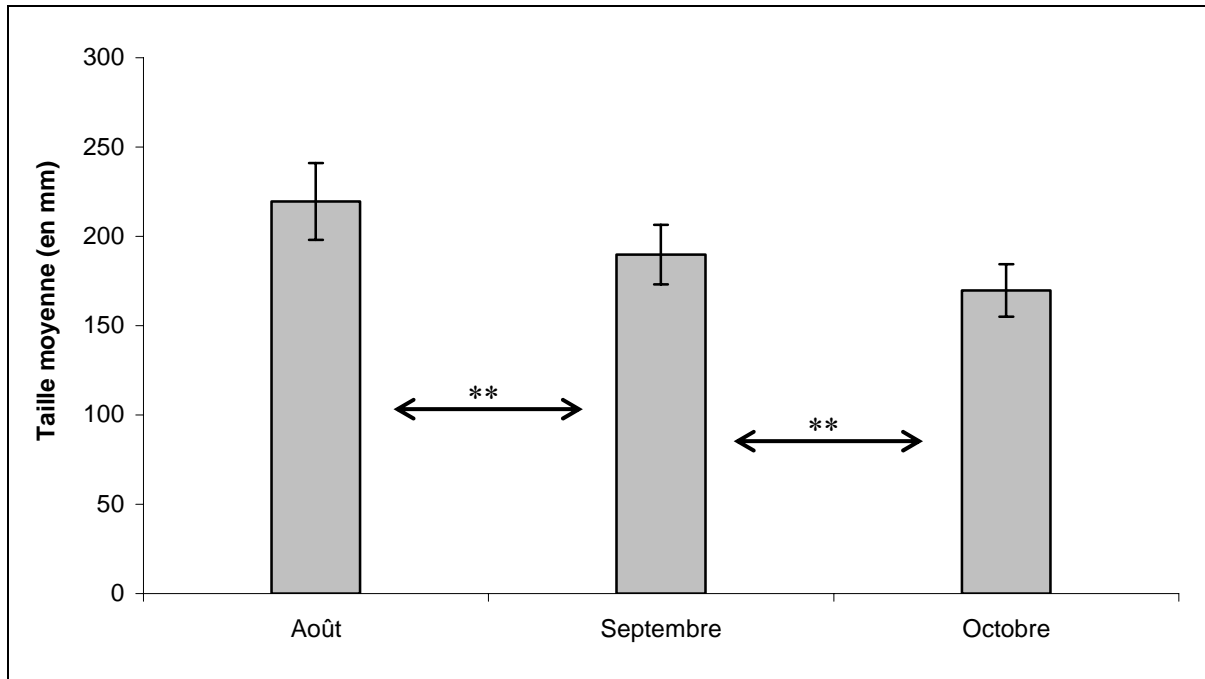


Figure II.11 : Diagramme en bâtons des tailles moyennes des sars communs adultes sur un site d'aménagements littoraux de la côte sableuse (Saint Cyprien) durant trois mois. Les mesures sont faites au début des mois. Les barres d'erreur représentent les écarts-types et les ** indiquent une différence très significative ($p<0,01$) selon le test non paramétrique U de Mann-Whitney.

D'après ces résultats, aucune différence entre les groupes de sars adultes de la côte rocheuse et des aménagements littoraux de la côte sableuse n'a pu être mise en évidence que ce soit en terme de densité ou de taille, excepté en ce qui concerne les récifs artificiels. En effet, ceux-ci présentent des densités et des tailles de poissons plus importantes. Ces récifs sont eux aussi situés sur la côte sableuse, mais par 17 m de fond en comparaison aux brise-lames et autres ouvrages côtiers qui eux culminent à maximum 5 m de profondeur. Malgré ces résultats il faut garder à l'esprit qu'un seul suivi temporel sur 3 mois n'a été effectué, la variabilité intra-annuelle pourrait être plus forte, notamment aux abords de la période de reproduction (printemps).

Après avoir décrit ce qu'il se passe au niveau des populations adultes de sars de la côte catalane française, nous allons explorer le compartiment juvénile.

III-2 Les sars juvéniles de la côte catalane française

L'étude des densités de juvéniles de sars communs entre les 3 systèmes (côte rocheuse, aménagements littoraux, lagune) est la partie principale de ce chapitre. Elle aura pour but d'appréhender des éventuelles différences de densités de juvéniles entre les 3 systèmes, puis d'expliquer nos observations notamment par le milieu environnant de ces jeunes sars. Il semble bon de rappeler que les juvéniles sont les jeunes poissons qui viennent d'entrer en phase d'installation (transition milieu pélagique – milieu benthique) jusqu'à ce qu'ils entrent en phase de recrutement. Une fois que la phase de recrutement est commencée, les poissons sont considérés comme adultes (Doherty, 1991 ; Romans 2003 ; Mellin, 2007).

III-2.1 Abondance et densité

Depuis 1994 et jusqu'à 2004, Lenfant *et al.* (*in prep*) ont suivi le nombre de juvéniles de sars communs présents sur la côte rocheuse au mois d'août. Au cours de cette thèse, les données ont été complétées par les suivis des juvéniles en 2005, 2006 et 2007. Le nombre de juvéniles est très variable d'une année sur l'autre, allant de 231 juvéniles lors d'une très mauvaise année (1998) jusqu'à 4539 juvéniles pour une excellente année (2006) (tab. II.5). Durant ces travaux de thèse, seules les trois dernières années de comptage seront prises en compte dans le but de pouvoir effectuer des comparaisons avec les comptages effectués à la même période au niveau des aménagements littoraux de la côte sableuse et de la lagune.

Tableau II.5 : Nombre de juvéniles de sars communs observés chaque année au mois d'août sur la côte rocheuse depuis 1994. Les données de 1994 à 2004 sont tirées des travaux de Lenfant *et al.* (*in prep*). Les données 2005 à 2007 ont été acquises durant cette thèse.

Année	Nombre de juvéniles
1994	2689
1995	901
1996	796
1997	1291
1998	231
1999	887
2000	1336
2001	878
2002	1470
2003	1911
2004	2270
2005	2400
2006	4539
2007	1612

Les comptages au niveau de la côte rocheuse s'effectuent sur une vingtaine de kilomètres de linéaire côtier, entre le cap Béar et Cerbère. Cela correspond à la moitié du linéaire côtier de la côte rocheuse catalane française qui se prolonge au nord du cap Béar jusqu'au Racou. Au total, cette côte mesure une quarantaine de kilomètres. Ainsi, si lors de l'année 2006, 4539 juvéniles de sars ont été comptabilisés, cette donnée peut être extrapolée à 9000 juvéniles sur la totalité de la côte rocheuse catalane française. En d'autres termes cela signifie que lors des excellentes années, la côte rocheuse abrite environ 9000 juvéniles de sars communs. Par contre lors d'une mauvaise année, comme 1998, cette côte rocheuse abritera à peine 500 juvéniles.

Le tableau II.6 montre qu'au niveau des aménagements littoraux, il y a au moins autant de juvéniles sur 1000 m de linéaire que sur les 20 km échantillonnés sur la côte rocheuse. En 2005, alors qu'en parcourant 20 km de côte sur la côte rocheuse, 2400 juvéniles ont été comptabilisés, près de deux fois plus d'individus ont été dénombrés sur seulement 1 km d'aménagements littoraux de la côte sableuse. En 2006, meilleure année en terme d'abondance de juvéniles sur la côte rocheuse, des abondances proches de celles observées sur 1 km d'enrochement côtier de la côte sableuse sont obtenues, c'est-à-dire environ 4500 juvéniles. En extrapolant les valeurs obtenues sur ces aménagements littoraux, il est possible de donner une estimation du nombre de juvéniles de sars potentiellement présents au niveau de la côte sableuse. En effet, des mesures par SIG à l'aide de photographie aérienne montrent qu'au niveau de la côte sableuse catalane, il y aurait 30 km d'enrochements artificiels côtiers, c'est-à-dire d'habitats potentiels pour les juvéniles de sars. En prenant l'exemple de l'année 2006, où sur 1 km d'enrochements artificiels 4800 juvéniles ont été observés, il est possible d'estimer qu'il y aurait potentiellement $4800 \times 30 = 144\ 000$ juvéniles de sars communs sur les 30 km d'enrochements de la côte sableuse. En parlant en abondance, seize fois plus de juvéniles sont observés sur les aménagements littoraux de la côte sableuse que sur la côte rocheuse (144 000 juvéniles contre 9000).

Pour la lagune, les abondances sont beaucoup plus faibles que sur les aménagements littoraux de la côte sableuse. Le tableau II.6 informe aussi sur l'existence d'une variabilité inter-annuelle au sein de chaque système. Celle-ci est bien marquée au niveau de la côte rocheuse, moins sur les deux autres systèmes où une certaine stabilité est observée entre 2005 et 2006. L'année 2007 apparaît comme une année de forte baisse du nombre de juvéniles quelque soit le système considéré.

Tableau II.6 : Nombre total de juvéniles comptés sur la côte rocheuse en 2005, 2006 et 2007. Entre parenthèses est notée la distance de côte parcourue pour ce comptage. Pour la côte sableuse et la lagune, la distance parcourue chaque année étant variable, elle a été rapportée à une base de 1000 m.

	2005	2006	2007
Côte rocheuse (20 703 m)	2400	4539	1612
Aménagements littoraux de la côte sableuse (1 000 m)	4100	4800	2000
Lagune (1 000 m)	700	700	155

La retranscription ces abondances en densités permet d'être plus précis dans les investigations. Ainsi la figure II.12 et le tableau II.7 vont dans le même sens que les observations faites en comparant les abondances. Une ANOVA réalisée sur ces données montre qu'il existe des différences entre les sites ($F=7,76$, $p<0,01$). En complétant les analyses par un test t de Student et en intégrant les trois années de comptage, presque toutes les stations apparaissent significativement différentes entre-elles. Cependant aucune différence significative n'est observée entre une station de la lagune (La Coudalère) et une station de la côte rocheuse (Peyrefîte). L'observation du diagramme en bâtons de la figure II.12 montre clairement que les densités observées au niveau des aménagements littoraux de la côte sableuse sont très supérieures à celles observées sur la côte rocheuse ou dans la lagune et cela quelque soit l'année considérée.

Pour la côte rocheuse, les densités maximales en 2005 et 2006 sont observées pour le site du Racou avec $0,14 \text{ ind.m}^{-2}$ (tab. II.7). L'anse de Peyrefîte qui est le site où traditionnellement le plus grand nombre de juvéniles est observé sur le linéaire suivi depuis 1994, a des densités de l'ordre de $0,07 \text{ ind.m}^{-2}$. Le site du port de Banyuls qui est un enrochement côtier artificiel a des densités extrêmement faibles, quasiment nulles avec un maximum de $0,02 \text{ ind.m}^{-2}$ en 2005. Ces valeurs contrastent avec les observations réalisées sur les aménagements littoraux de la côte sableuse. Au niveau de l'étang de Canet (côté grau), $2,27 \text{ ind.m}^{-2}$ ont été observés en 2005, c'est-à-dire seize fois plus de juvéniles qu'au Racou et 32 fois plus qu'à Peyrefîte pourtant considérés comme les zones les plus productives de la côte rocheuse. Cette station de la côte sableuse n'est pas la seule où de telles valeurs sont observées, des valeurs proches sont rencontrées au niveau de l'étang de Canet (côté mer), du brise-lame de Ste Marie et de celui du Barcarès. Seul l'enrochement de St Cyprien présente des valeurs moindres de l'ordre de $0,5 \text{ ind.m}^{-2}$. Ces valeurs sont par ailleurs assez proches de celles observées dans la lagune, plus précisément au niveau du grau St Ange ($0,63 \text{ ind.m}^{-2}$). A La Coudalère, les densités sont

légèrement supérieures à celles observées sur la côte rocheuse. En se rapprochant du centre de la lagune au Téleski, les densités deviennent plus faibles que sur la côte rocheuse (tab. II.7).

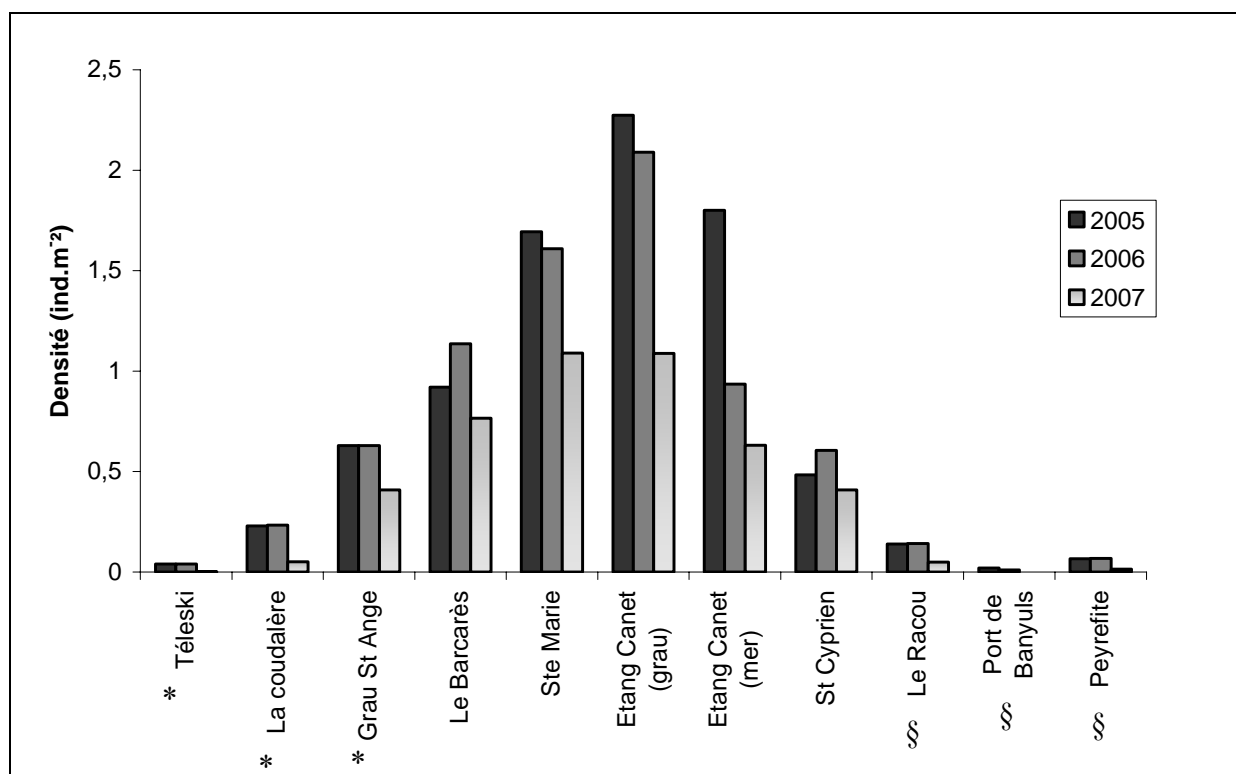


Figure II.12 : Diagramme en bâtons des densités de juvéniles de sars communs observées dans différents sites de la côte catalane française, lagune (*), aménagements littoraux de la côte sableuse () et côte rocheuse (§). Observations faites en 2005, 2006 et 2007.

Tableau II.7 : Valeurs des densités de juvéniles (ind.m⁻²) de sars communs observées dans différents sites de la côte catalane française, lagune, aménagements littoraux de la côte sableuse et côte rocheuse. Observations réalisées en 2005, 2006 et 2007.

	Station	2005	2006	2007
<i>Lagune</i>	Téleski	0,04	0,04	0,002
	La Coudalère	0,23	0,23	0,05
	Grau St Ange	0,63	0,63	0,41
<i>Aménagements littoraux de la côte sableuse</i>	Le Barcarès	0,92	1,13	0,77
	Ste Marie	1,69	1,61	1,09
	Etang Canet (grau)	2,27	2,09	1,09
	Etang Canet (mer)	1,80	0,94	0,63
	St Cyprien	0,48	0,61	0,41
<i>Côte rocheuse</i>	Le Racou	0,14	0,14	0,05
	Port de Banyuls	0,02	0,01	0
	Peyrefite	0,07	0,07	0,01

Pour résumer et essayer de simplifier les résultats vus précédemment, une seule station par système est retenue, celle avec les plus fortes densités. Les stations retenues sont donc : La Coudalère (lagune), l'étang de Canet côté grau (aménagements littoraux de la côte sableuse) et pour la côte rocheuse le site de Peyrefîte (fig. II.13). Etant donné que les résultats sont similaires en 2005 et 2006, seule l'année 2006 est retenue considérée comme une bonne année en terme de densités de juvéniles ; l'année 2007 est considérée comme mauvaise. Ainsi, les plus fortes densités de juvéniles de sars se rencontrent sur les aménagements littoraux de la côte sableuse avec des densités 30 fois plus importantes que sur la côte rocheuse les bonnes années (2005 et 2006) et jusqu'à 109 fois supérieures les mauvaises années (2007). Les densités de juvéniles dans la lagune sont très inférieures à celles de la côte sableuse de 9 fois les bonnes années et de 22 fois les mauvaises. Elles sont cependant supérieures de 3 à 5 fois à celles de la côte rocheuse. Une variabilité inter-annuelle est aussi observée, particulièrement marquée sur la côte rocheuse avec des densités divisées par 7 entre 2006 et 2007, alors qu'elles ne sont divisées que par deux sur la côte sableuse et quatre dans la lagune. Enfin, de la variabilité entre les sites au sein de chaque système est observée.

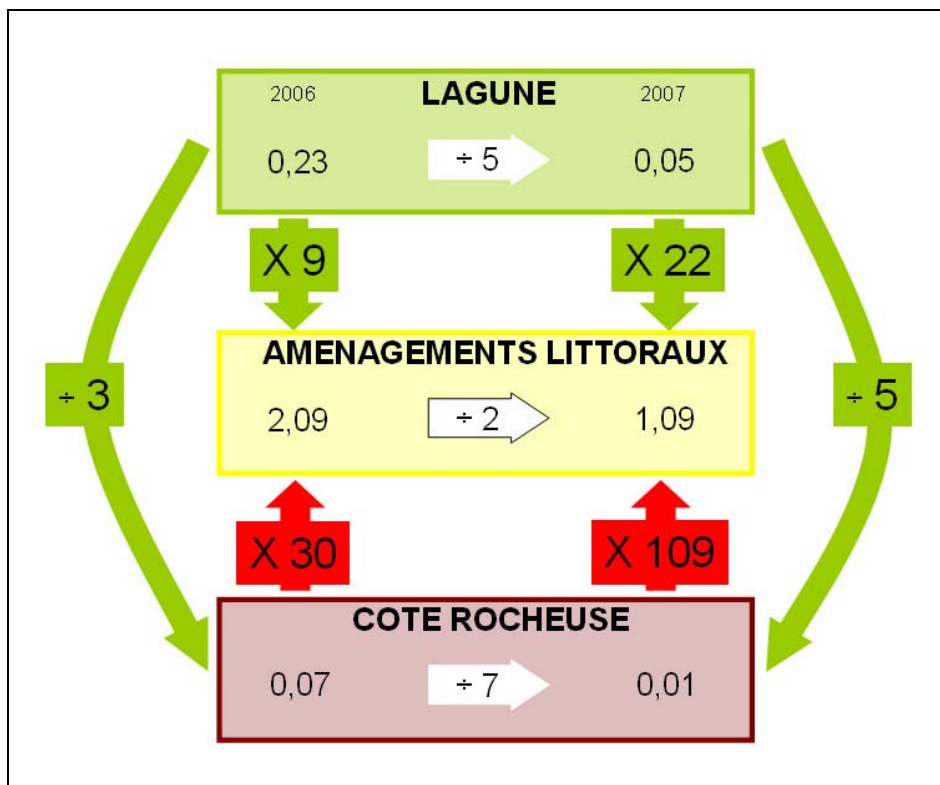


Figure II.13 : Schéma donnant à gauche les densités de juvéniles de sars communs (ind.m⁻²) pour une bonne année (2006) et à droite celles pour une mauvaise année (2007). Pour chaque système (lagune, aménagements littoraux et côte rocheuse), une station, celle avec les plus fortes densités, a été retenue. Les flèches indiquent les coefficients multiplicateurs ou diviseurs entre les différentes valeurs de densités.

III-2.2 Le cas de la lagune de Salses-Leucate

Les stations retenues au niveau de la lagune ont la particularité de se succéder depuis la mer, si on y inclut le brise-lame du Barcarès, jusqu'au centre de la lagune. Ces quatre stations sont des aménagements littoraux, trois sont situées dans la lagune et une en mer. La station marine est le brise-lame du Barcarès, la station suivante, déjà qualifiée de lagunaire est le grau St Ange, suivi de La Coudalère puis du Téleski. Cette dernière station est éloignée de plus de 6 km de la mer. Les densités de juvéniles de sars ont été suivies au niveau de ces quatre stations.

La figure II.14 récapitule les densités observées en 2006 et en 2007. Les plus fortes densités sont observées au niveau du brise-lame du Barcarès, c'est-à-dire en mer. Les densités suivent ensuite un gradient décroissant depuis la mer vers l'intérieur de la lagune. Lors d'une bonne année (2006), les densités sont déjà divisées par 2 de la mer vers le grau. Du grau vers l'entrée de la lagune (La Coudalère), les densités sont encore divisées par 2,8, puis de cette station vers le centre de la lagune (Téleski), les densités sont divisées par 6. Ainsi en mer, des densités de l'ordre d'1 ind.m⁻² sont observées, pour en observer plus que 0,04 au milieu de la lagune. Lors d'une mauvaise année, ces différences sont encore plus marquées, puisque de la mer vers la lagune les densités de juvéniles sont divisées par, 2, puis 8 puis 21 pour se retrouver avec presque aucun individu au niveau de la station du Téleski (0,002 ind.m⁻²).

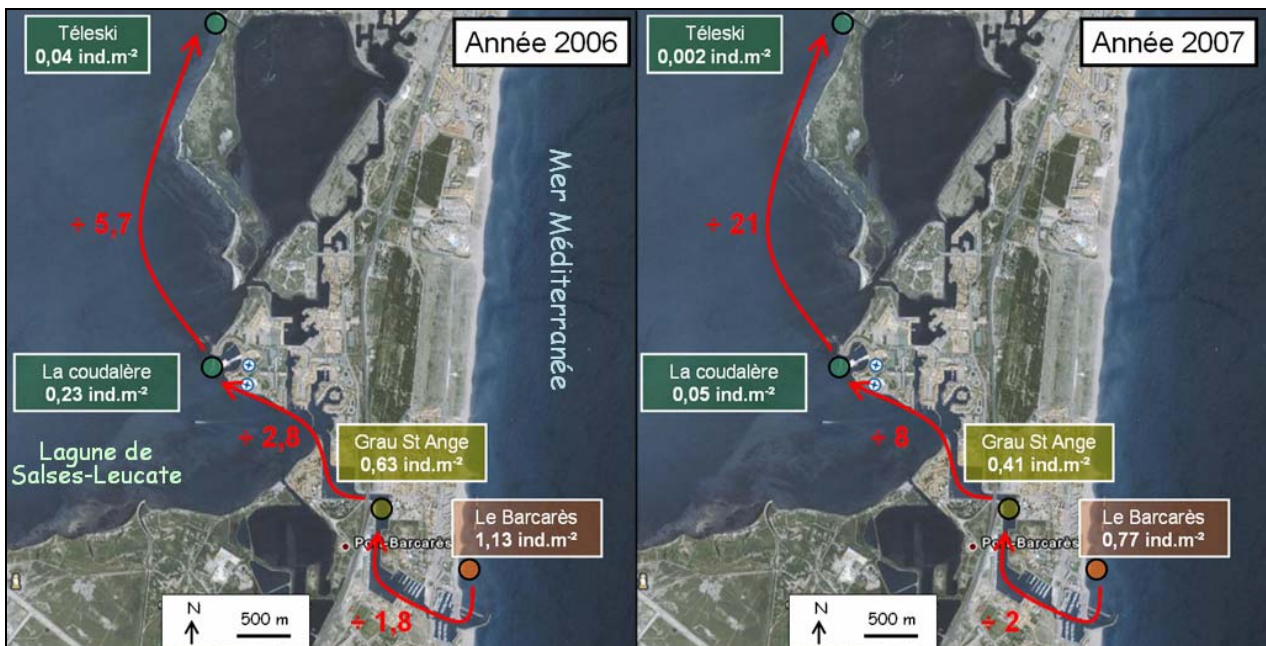


Figure II.14 : Suivis des densités de juvéniles de sars communs depuis la mer vers la lagune en 2006 et 2007. Les flèches indiquent les taux de diminution des densités entre stations. Ces stations se situent dans la partie sud de la lagune de Salses-Leucate, au niveau du Barcarès.

Dans le but d'expliquer les différences observées entre les différents systèmes et même entre les différents sites de chaque système (comme l'exemple de la lagune), nous avons essayé de mettre en évidence les facteurs susceptibles de créer ces différences. Un de ces facteurs est la structure de l'habitat.

III-2.3 Effet de la structure de l'habitat

Plusieurs paramètres physiques et biologiques ont été mesurés au niveau de certaines stations pour lesquelles les densités de juvéniles de sars communs ont été mesurées. Ces paramètres sont en partie susceptibles de caractériser l'habitat (Ruitton *et al.*, 2000). Ils sont décrits par une analyse en composantes principales (ACP) représentée sur les figures II.15 et II.16. Les variations sont retranscrites par les 2 premiers axes expliquant à eux deux près de 62 % de la variance totale (axe 1=35,93 % et axe 2=25,98 %).

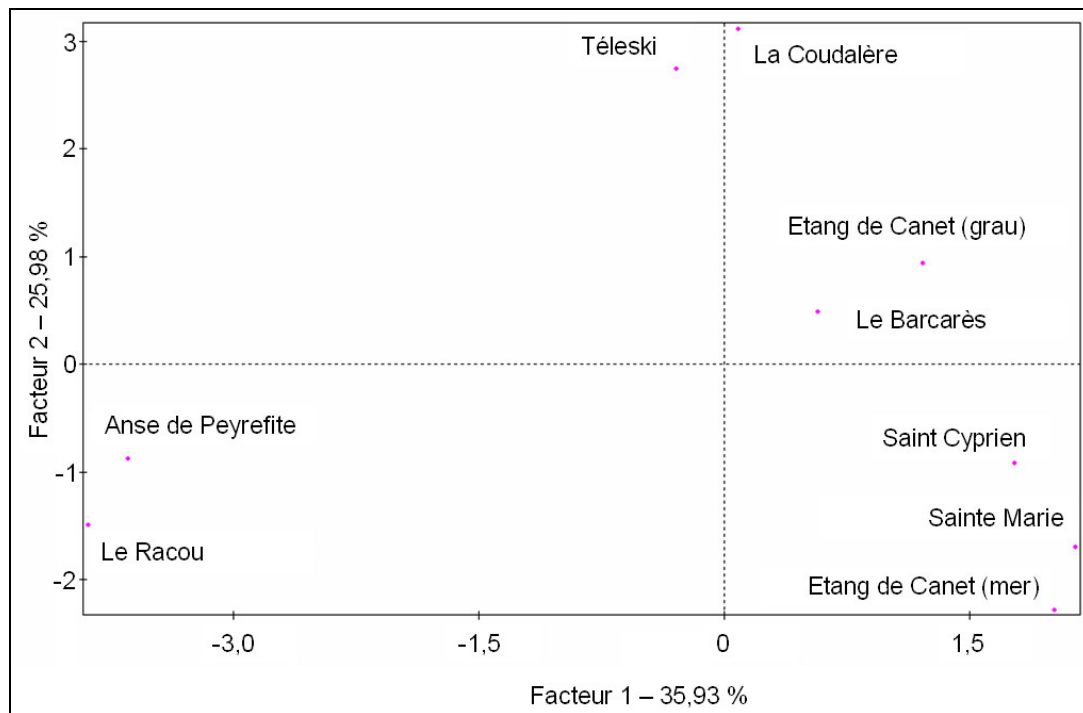


Figure II.15 : Nuage de points issu de l'ACP représentant les différentes stations analysées sur le plan factoriel (1,2).

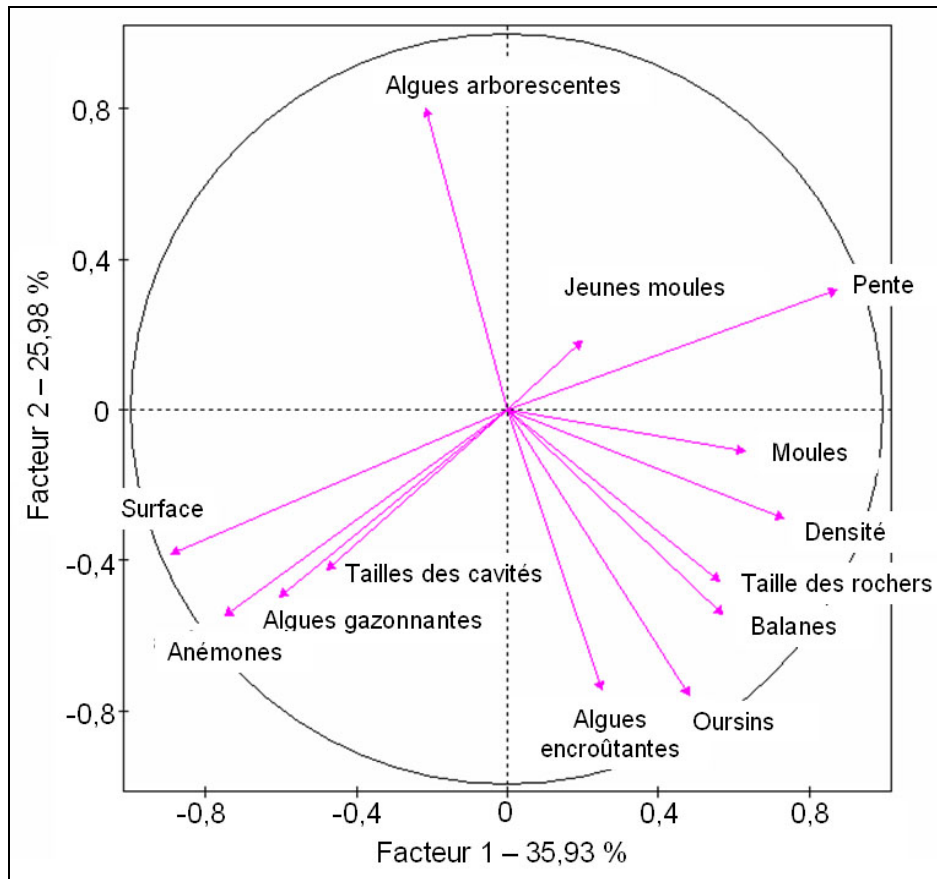


Figure II.16 : Cercle des corrélations réalisé à partir des variables biologiques et environnementales collectées aux différentes stations.

Ainsi, les aménagements littoraux de la côte sableuse (étang de Canet, Le Barcarès, St Cyprien, Ste Marie) sont caractérisés par des habitats de faible surface dont les rochers sont de grande taille et recouverts de moules, de balanes et d'oursins. Les plus fortes pentes sont rencontrées dans ces zones. Au niveau de la côte rocheuse (Anse de Peyrefite, Le Racou), l'habitat a des caractéristiques plutôt inverses avec des rochers de petite taille couplés à des anfractuosités de grande taille. Les pentes sont faibles et les rochers sont recouverts principalement d'algues gazonnantes et d'anémones. Du fait des pentes faibles, c'est sur la côte rocheuse que l'on trouve la plus grande surface d'habitat disponible. Les stations de la lagune (Téleski et La Coudalère) sont principalement caractérisées par un recouvrement de type algues arborescentes.

IV- Discussion

Nous traiterons dans un premier temps de la phase adulte des sars de la côte catalane française, avant de discuter de la phase juvénile, notamment des variabilités inter-annuelles et entre les trois systèmes de la zone d'étude.

IV-1 Les sars communs adultes de la côte catalane française

Le sar commun est un poisson qualifié de poisson de zones rocheuses par beaucoup de manuels d'ichtyologie (Fisher *et al.*, 1987 ; Louisy, 2002), il est donc tout naturellement rencontré sur la côte rocheuse où il constitue régulièrement l'espèce dominante des peuplements de poissons (Dufour *et al.*, 1995 ; Lenfant, 1998). Cependant, et même si jusqu'à ce travail de thèse les scientifiques ne l'ont pas pris en compte, les sars communs sont aussi présents sur la côte sableuse catalane. En effet, ils sont régulièrement pêchés par les pêcheurs professionnels et sont même l'espèce cible au même titre que les dorades (*Sparus aurata*) ou les marbrés (*Lithognathus mormyrus*) lors de conditions météorologiques particulières (vent marin assez fort). Lors des concours de pêche au surf casting sur les longues plages de la côte sableuse, les participants ramènent régulièrement des sars, même si ce n'est pas l'espèce la plus abondante en comparaison des prises de loupes, marbrés et dorades (Köck, 2007). Par ailleurs, lors d'observations réalisées en apnée sur des bancs de sables de la côte sableuse à 2 m de profondeur, des sars communs d'une vingtaine de centimètres ont régulièrement été observés, ils sont intégrés à des bancs de marbrés. Hervé et Bruslé (1980) reportent que des sars adultes sont quelques fois pêchés dans la lagune de Salses-Leucate. Ces observations ont poussé à explorer les populations de sars des aménagements littoraux de la côte sableuse et de la lagune, dans le but de les comparer à celles faites sur la côte rocheuse. Pour cela, des densités et des tailles moyennes de sars communs ont été estimées dans différents sites de la côte catalane.

Les densités ont été estimées à deux profondeurs sur les sites où cela était possible, principalement sur la côte rocheuse. Il en est ressorti comme résultat principal qu'il n'y avait pas de différence de densité de sars communs adultes entre les enrochements côtiers artificiels de la côte sableuse et les zones naturelles de la côte rocheuse. Par contre, des différences ont été observées au niveau de la réserve intégrale de Cerbère-Banyuls à 5 m et des récifs artificiels du Barcarès à 17 m de profondeur, dans ces deux cas les densités sont supérieures (de trois à huit fois) à celles observées dans toutes les autres stations. Les densités supérieures relatées dans la réserve intégrale ne sont pas surprenantes, étant donné que pour la plupart des espèces, les densités et tailles moyennes sont plus élevées dans les aires marines protégées, à

fortiori si la protection est renforcée (Claudet et Pelletier, 2004 ; Claudet, 2006). Des différences ont aussi été relevées entre les deux profondeurs (5 m et 20 m) au niveau de ce site de la réserve intégrale. Cela peut vraisemblablement s'expliquer par le fait que les sars communs se nourrissent principalement de moules et d'oursins, or sur la côte rocheuse, c'est dans les zones peu profondes que ces organismes sont majoritairement présents. De plus, durant la phase estivale, nous avons observé que le sar commun était généralement présent au-dessus de la thermocline, cette dernière oscillant dans la région et en été entre 15 et 25 m. Au niveau des zones non protégées ou en protections partielles de la côte sableuse, ces différences ne sont pas observées entre les deux profondeurs. Cela peut être dû à la pression de pêche que subit la zone peu profonde, notamment par la chasse sous-marine.

Sur les aménagements littoraux de la côte sableuse, les densités de sars communs adultes sont identiques à celles observées sur la côte rocheuse hors protection intégrale. Etant donnée une pression de pêche très importante sur ces structures malgré les arrêtés qui y interdisent toute activité de prélèvement, il semblerait que les densités pourraient être plus élevées. Aucune variabilité d'une année à l'autre n'a été observée, cependant les observations montrent que les densités de sars adultes fluctuent au cours d'une année, avec une quasi absence en hiver. Cela s'explique par le fait que ces zones sont situées sur 3 à 5 mètres de profondeur, or les sars adultes ne fréquentent pas cette profondeur toute l'année. Durant l'hiver, ils se déplacent vers des profondeurs plus importantes, de l'ordre d'une vingtaine de mètres pour trouver des conditions stables de température. En avril, pour la reproduction, ils gagnent des fonds de 20 à 50 m (Fisher *et al.*, 1987 ; Leboulleux, 1992 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1995). Ainsi, il paraît fort probable qu'il n'y ait pas de reproduction de sars communs sur les aménagements littoraux de la côte sableuse.

Cette reproduction pourrait par contre avoir lieu au niveau des récifs artificiels de Leucate et du Barcarès ainsi qu'au niveau du cap Leucate. Les récifs artificiels étudiés sont les sites où les plus fortes densités de sars adultes sont observées, ainsi que les tailles les plus importantes. Le sar commun étant un hermaphrodite protandre, cela signifie qu'au niveau des récifs artificiels il y aurait le plus de femelles matures, donc de potentiel en terme de quantité et de qualité des œufs. Nous pouvons expliquer de telles densités par le fait que ces récifs sont recouverts de moules, aliment privilégié des sars adultes. Nous devons aussi admettre que ces récifs sont posés sur 20 m de profondeur et que les comptages ont été effectués alors que la thermocline était au-delà de 20 m. Lorsque cette thermocline remonte et recouvre les récifs, les sars communs tendent à désertir les récifs, du moins durant la période estivale. De plus les récifs artificiels, installés en été 2004 sont interdits de toute forme de pêches, donc protégés à

la manière de la réserve intégrale de Cerbère-Banyuls. Le site de cap Leucate quant à lui ne montre pas de différence significative avec ce qui a été observé sur les enrochements côtiers de la côte sableuse et les sites naturels hors réserve de la côte rocheuse. Or, d'après les dires des pêcheurs professionnels et les observations de Larénie (2007), les prises de sars communs sont très importantes au niveau du cap Leucate durant les mois de reproduction de cette espèce (Avril notamment). Pour expliquer les densités relativement faibles observées, nous pouvons dire que les sars communs ne sont présents sur cette zone que pour la reproduction et qu'ils la quittent ensuite pour aller vers un habitat de nutrition (récifs artificiels, aménagements littoraux ?). Les comptages sur la zone des 20 m au cap Leucate n'ont pu être réalisés pour des raisons de thermocline assez haute et par conséquent de faibles visibilité sur la zone. Il se pourrait donc que les sars ne soient pas présents sur la zone à 5 m échantillonnée mais plutôt sur des profondeurs plus importantes comme sur les récifs artificiels. Cependant, des plongées régulières sur cette zone durant l'été 2005 dans un but de repérage n'ont jamais permis d'observer de grandes quantités de sars communs. Ainsi, l'hypothèse d'une grande mobilité des sars au niveau de cette zone semble la plus probable, elle sera testée dans le chapitre suivant.

Autant des différences de densités ont pu être observées entre certains sites, autant aucune réelle différence n'a été observée en ce qui concerne les tailles moyennes. Celles-ci sont comprises entre 21 et 25 cm, ce qui correspondrait à des âges moyens de l'ordre de 6 à 10 ans selon Lenfant (1998). Les valeurs maximales de tailles et de densités ont été obtenues au niveau des récifs artificiels du Barcarès, mais aucune différence n'a été relatée entre les zones naturelles de la côte rocheuse et les aménagements littoraux de la côte sableuse. Même sans étude démographique, des adultes sont observés, par conséquent des reproducteurs potentiels sur la côte rocheuse mais aussi sur la côte sableuse. Il n'y a que très peu d'adultes de sars communs dans la lagune, contrairement à ce qu'avait observé Hervé (1980). Les fortes densités et tailles moyennes observées sur les récifs artificiels montrent qu'il existe un potentiel reproducteur extrêmement intéressant dans cette partie de la côte, à proximité du cap Leucate. Ce potentiel semble même supérieur à celui observé au niveau de la réserve marine de Cerbère-Banyuls.

Après avoir décrit le stade adulte du modèle étudié, nous allons analyser la phase juvénile sur cette même côte afin de comprendre le fonctionnement des populations de sars communs entre les trois systèmes que sont la lagune, les aménagements littoraux de la côte sableuse et les sites naturels de la côte rocheuse.

IV-2 Les juvéniles de sars communs de la côte catalane française

Un des résultats majeurs des analyses réalisés est que les densités de juvéniles de sars communs sont bien supérieures sur les aménagements littoraux de la côte sableuse que sur les zones naturelles ou artificielles de la côte rocheuse et de la lagune. Elles sont de l'ordre de 30 à 100 fois plus grandes selon les années. Lors des excellentes années, les aménagements littoraux de la côte sableuse peuvent contenir jusqu'à 144 000 juvéniles contre 9 000 sur la côte rocheuse. Au niveau de la lagune, les densités de juvéniles tendent à décroître lorsque l'on s'éloigne de la mer pour se rapprocher du centre de la lagune. Une variabilité inter-annuelle du nombre de juvéniles a aussi été constatée, cette observation a été réalisée dans les trois systèmes. Néanmoins, ces variations sont beaucoup plus faibles sur les aménagements littoraux de la côte sableuse que dans la lagune ou sur la côte rocheuse. Des variations d'un facteur 2 sont observées dans un premier cas alors que dans les deux autres systèmes, ce sont des variations d'un facteur 5 voire 7.

IV-2.1 La variabilité inter-annuelle des densités de juvéniles

La variabilité inter-annuelle observée au sein de chaque système commence à avoir un début de réponse dans les travaux de Lenfant *et al.* (*in prep*), notamment au niveau de la côte rocheuse. Depuis 1994, une forte variabilité du nombre de juvéniles de sars est observée au fil des années. Lenfant *et al.* (*in prep*) attribuent en partie cette variabilité à un couplage de plusieurs facteurs qui induiraient un succès plus ou moins grand de la ponte et par conséquent du nombre de juvéniles produits. Ces facteurs sont principalement la température de l'eau et la phase de la lune, puis le vent. Si ces facteurs ne sont pas optimaux, alors la ponte ne se déroulera pas dans des conditions favorables de développement des larves, notamment une nourriture adéquate au moment opportun comme le suggère l'hypothèse du match-mismatch de Cushing (1974, 1990). Le vent pouvant aussi influencer sur les processus de rétention des larves à l'endroit où est présent la nourriture, puis plus tard sur les zones d'installation, cela correspondrait à la théorie de la triade de Bakun (1996), expliquée dans la boîte 3. Cependant, l'étude de la variabilité en elle-même n'est pas le but premier de cette thèse. Ici, nous cherchons plutôt à essayer de comprendre pourquoi la variabilité inter-annuelle n'est pas la même dans les trois systèmes alors que les conditions environnementales ne devraient pas être très différentes sur une côte s'étendant sur une soixantaine de kilomètres. Entre 2006 et 2007, les densités ont été divisées par deux sur les aménagements littoraux de la côte sableuse, alors qu'elles le sont par 7 sur la côte rocheuse et par 5 dans la lagune. Pour expliquer une si faible

réduction des densités entre une excellente année (2006) et une mauvaise année (2007) sur les aménagements littoraux, l'hypothèse que lors des bonnes années le milieu est saturé en juvéniles peut être avancée. Cela signifie que ce système ne peut accueillir que 2 ind.m². Si les densités d'arrivée sont plus importantes, la compétition intraspécifique devrait réduire les densités jusqu'à ce seuil de 2 ind.m². Ainsi, entre une excellente année (2006) et une bonne année (2005) aucune différence de densités n'est observée, alors que les différences entre une mauvaise année et une bonne année seront identiques à celles observées entre une excellente année et une mauvaise. Romans (2003) estime en revanche que le milieu est sous saturé en *D. sargus* par rapport aux observations qu'il a fait chez *Diplodus vulgaris*. Nous ne sommes pas en accord avec ce constat car *D. vulgaris* s'installe en janvier, c'est une des rares espèces à le faire, alors que *D. sargus* le fait en Juin comme beaucoup d'autres espèces qui s'installent sur le même habitat (*Diplodus cervinus*, *Boops boops*, *Spondylisoma cantharus*). Ainsi, il paraît logique que le milieu puisse accueillir plus de *D. vulgaris* que de *D. sargus*.

Au niveau de la côte rocheuse, le milieu ne semble pas saturé. Lors des excellentes années, le milieu peut accueillir encore plus de juvéniles contrairement à ce qui a été observé sur les aménagements littoraux de la côte sableuse. Il existe donc des différences entre une excellente année et une bonne année, mais aussi entre ces deux dernières et une mauvaise année. Des phénomènes similaires à ce que nous avons développé à propos de la côte rocheuse sont observés dans la lagune.

IV-2.2 Comparaison côte sableuse aménagée / côte rocheuse

Les résultats obtenus montrent très clairement que les abondances et les densités de juvéniles de sars sont maximales au niveau des aménagements littoraux de la côte sableuse par rapport à la côte rocheuse et à la lagune. En commençant ce travail de thèse, un tel résultat paraissait improbable. En effet, le sar commun est réputé comme étant un poisson de fonds rocheux avec des juvéniles s'installant dans des baies de zones rocheuses (Harmelin-Vivien *al.*, 1995),

Boîte 3, de l'hypothèse du match/mismatch à la triade de Bakun

Les bases de l'hypothèse du **match/mismatch** sont nées au début du 20^{ème} siècle lorsque Hjort (1914) suggéra que le recrutement des poissons dépend de la disponibilité en proies lorsque les larves commencent à se nourrir. Cette hypothèse fut complétée par Cushing (1974, 1990), étant donné que les périodes de ponte et donc de recrutement ne varient pas d'une année sur l'autre contrairement à la production primaire qui peut être très variable au cours de l'année (mais nécessaire aux larves), cela induit que le recrutement dépend de la synchronie entre la ponte et la production primaire.

Bakun (1996) stipule quant à lui qu'il y a 3 conditions favorables nécessaires à la survie larvaire et donc influentes sur le recrutement : un enrichissement des ressources couplé à une concentration de celles-ci vont entraîner une nourriture abondante, et enfin des processus physiques de rétention des larves vont permettre de maintenir ces dernières là où la nourriture abonde. Cette approche à la fois physique et biologique est nommée la **triade de Bakun**.

voire accessoirement dans les lagunes (Man-Wai, 1985). D'ailleurs, Clynick (2006) a montré qu'il n'y avait pas de différence en terme de peuplement de poissons entre un aménagement littoral et une zone rocheuse naturelle adjacente, du moins dans le site qu'il a étudié en Italie. Cependant la zone étudiée ici est sensiblement différente d'un point de vue structure de la côte. En effet, les aménagements littoraux de la côte sableuse sont disposés sur un long littoral sablonneux, éloignés de plusieurs dizaines de kilomètres de toute roche naturelle. D'ailleurs, en comparant les densités de juvéniles sur un brise-lame de la côte rocheuse (port de Banyuls) et une zone naturelle adjacente, nos résultats vont dans le sens de ceux observés par Clynick (2006), à savoir que les densités ne sont pas supérieures sur l'aménagement littoral, elles sont même inférieures dans le cas présent. Il semble alors inexorable d'essayer de comprendre pourquoi les juvéniles sont si nombreux au niveau de la côte sableuse. Pourquoi lors des bonnes années, il y a potentiellement 144 000 juvéniles de sars communs sur les aménagements littoraux de la côte sableuse et seulement 9 000 sur la côte rocheuse ? Alors que le linéaire d'habitats disponibles est sensiblement identique (30 à 40 km).

Romans (2003) avait déjà observé de fortes abondances de juvéniles de sars communs lors de leur phase d'installation en Juin sur un brise-lame de Ste Marie (côte sableuse). Ces ouvrages peuvent être considérés comme des oasis au milieu d'un désert sableux. Effectivement, la côte sableuse est une étendue de sable où les seuls reliefs sont les enrochements artificiels. Ces derniers concentreraient les nouveaux arrivants. Lorsqu'une larve compétente quitte le milieu pélagique pour le milieu benthique, elle va chercher un habitat susceptible de lui apporter un refuge et de la nourriture, si le premier habitat ne répond pas à ses attentes, elle va pouvoir le quitter pour en chercher un autre (McCormick et Makey, 1997 ; Lecchini *et al.*, 2007). Par contre lorsque cette larve compétente trouve un habitat lui apportant un refuge et de la nourriture, elle ne se risque pas à le quitter pour traverser un milieu hostile à la recherche d'une autre zone d'habitat (McCormick et Makey, 1997). D'ailleurs ces enrochements ont en commun avec les oasis des déserts terrestres le fait d'être créés en grande partie par l'homme. Jouvenel (1995) fut le premier à mettre en avant les implications écologiques des édifices portuaires de la côte languedocienne, il suggère que ces différences de nombre de juvéniles entre les zones naturelles et les zones artificielles pourraient être dues à des mortalités différentes. L'auteur estime que les prédateurs sont moins nombreux sur les enrochements artificiels que sur les zones naturelles. Cela impliquerait une plus forte prédation au niveau des zones naturelles qui expliquerait en partie de telles différences de densités de juvéniles entre les deux systèmes. Nous ne sommes pas en accord avec cette hypothèse dans la mesure où de telles différences de densités de prédateurs potentiels n'ont pas été observées dans notre

étude. Même si des comptages de prédateurs n'ont pas été effectués, il a semblé que les densités de prédateurs étaient similaires entre les zones naturelles et artificielles, cela lors des multiples plongées effectuées de jour et de nuit sur ces différents sites. Il est même apparu que les prédateurs étaient plus nombreux sur les zones artificielles. Effectivement, en plus des traditionnels rascasses et gobies rencontrés régulièrement sur les zones naturelles de la côte rocheuse, d'autres prédateurs de juvéniles de sars sont extrêmement abondants sur les zones artificielles : seiches (*Sepia officinis*), congres (*Conger conger*), loups (*Dicentrarchus labrax*), calmars (*Loligo vulgaris*). Ces quatre prédateurs sont, par contre, plutôt rares sur la côte rocheuse. Ces constats effectués, il apparaît difficile de penser que les différences de densités observées entre les enrochements artificiels de la côte sableuse et la côte rocheuse peuvent être liées à la seule prédation plus faible au niveau des enrochements artificiels, surtout pour atteindre des différences aussi importantes entre les sites. Mais étant donné que ces propos ne peuvent être confirmés, l'hypothèse ne peut être totalement écartée : la prédation a certainement un effet, peut-être peu visible étant données les fortes densités de juvéniles sur les enrochements artificiels.

Une hypothèse semblant plus plausible est qu'il n'y aurait pas la même quantité de larves arrivant sur les deux systèmes. Les variations observées au niveau des assemblages de juvéniles après l'installation seraient considérées comme le résultat des variations du flux larvaire, c'est-à-dire le cas d'un recrutement limitant (Doherty, 1991 ; Doherty et Fowler, 1994). Etant donné qu'il existe peu de connaissances sur les larves de sars et les lieux de ponte, le raisonnement se fera par certaines hypothèses. Il est donc difficile de prévoir la trajectoire des larves avant leur arrivée sur la côte. En considérant un cas simple et très théorique où le flux de larves coloniserait la côte avec une même intensité quelque soit le lieu (fig. II.17), alors il apparaît que la côte sableuse présente une zone de captage beaucoup plus grande (40 km) que la côte rocheuse (16 km). Ainsi, plus de larves arriveraient sur la côte sableuse et s'orienteraient vers les oasis que sont les enrochements artificiels peut être grâce à des signaux sonores ou chimiques (Lecchini *et al.*, 2005 ; Lecchini *et al.*, 2007). Cela aurait pour résultat de concentrer les futurs juvéniles, faisant ainsi accroître les densités. Alors même si en terme de linéaire côtier, les distances sont à peu près les mêmes dans les deux systèmes, une quarantaine de kilomètres ; la côte rocheuse est beaucoup plus escarpée avec de nombreuses baies et criques. Du coup, les 40 km de linéaires de cette côte sont contenus dans 16 km à vol d'oiseau (fig. II.17). Le nombre de juvéniles pourrait être expliqué simplement par une topographie différente des deux côtes, la zone potentielle de captage de larves étant plus grande sur la côte sableuse.

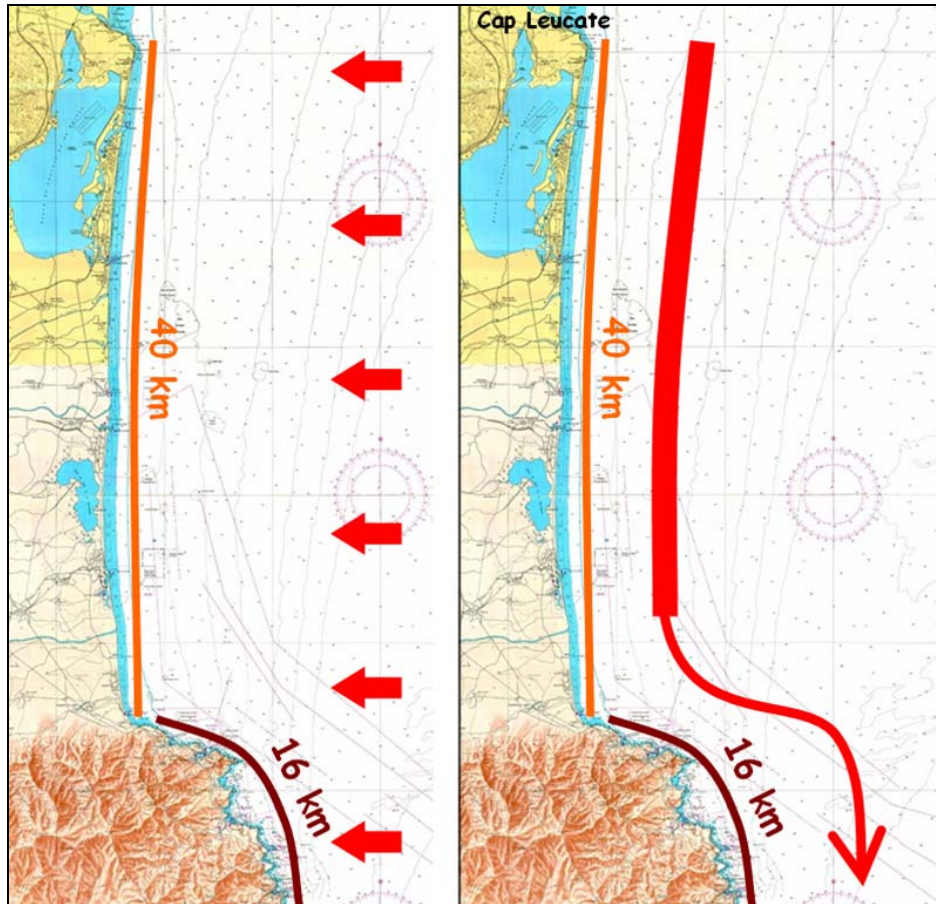


Figure II.17 : Trajectoires théoriques d'arrivée des juvéniles de sars communs sur la côte catalane française (flèches rouges). En orange, la côte sableuse qui mesure à vol d'oiseau 40 km. En marron, la côte rocheuse qui représente 16 km à vol d'oiseau.

Néanmoins, cette hypothèse d'un flux larvaire constant quelque soit le lieu de la côte catalane française paraît très simplifiée et assez éloignée de la réalité. Guizien *et al.* (2006) et Roussel (2007) font état d'un courant côtier dominant sur la zone dirigé vers le sud lors des épisodes de tramontane, vent très dominant dans la région puisqu'il y a eu 131 jours de vent à plus de 60 km.h^{-1} entre 1950 et 1980 ; 230 jours entre 1995 et 1997 d'après Wilke (1999). De plus, Crech'riou (2000) a montré que les larves de *D. sargus* sont généralement concentrées dans la zone côtière (entre la côte et 2 milles nautiques). Ces constats vont plutôt dans le sens d'un flux de larves dirigé depuis le nord vers le sud (fig.II.17). Dans le cas où la majorité des larves seraient regroupées en un nuage et suivant un flux nord-sud, la côte sableuse recevrait des larves avant la côte rocheuse. Les 40 km de côte sableuse capteraient une grande partie des larves, il en resterait alors beaucoup moins pour alimenter la côte rocheuse. De plus, sur cette côte rocheuse le nuage de larves ne balayerait pas 40 km mais seulement 16 km. Ce flux nord-sud pourrait aussi expliquer le fait que les densités de juvéniles à St Cyprien soient les plus faibles observées sur la côte sableuse. En effet, cette station est la plus au sud de ce système,

c'est donc elle qui recevrait le moins de juvéniles. Un tel scénario impliquerait un décalage dans le temps des arrivées de juvéniles entre les aménagements littoraux de la côte sableuse et de la côte rocheuse. Ce décalage n'a pas pu être mesuré, par contre Romans (2003) a observé un décalage du pic de juvéniles à l'installation en 1999, c'est-à-dire de leur arrivée sur la côte. D'ailleurs, d'après le même auteur, ce pic représente 80 % des juvéniles qui arrivent sur la côte chaque année. Pour cette année 1999, Romans (2003) a observé le pic de juvéniles le 12 juin à Ste Marie (plutôt partie nord de la côte sableuse), le 14 juin à St Cyprien (plutôt partie sud de la côte sableuse) et le 17 juin au niveau de l'anse de Paulilles sur la côte rocheuse. De telles observations vont dans le sens de l'hypothèse développée précédemment, à savoir qu'un nuage de larve se déplacerait le long de la côte du nord vers le sud et alimenterait d'abord la côte sableuse avant d'arriver sur la côte rocheuse. Cette hypothèse sous entend aussi que tous les juvéniles de sars communs présents sur la côte catalane française seraient issus d'un même pool de larves provenant du nord de la zone d'étude, peut-être au niveau du cap Leucate. Cependant cette observation n'a été constatée que sur une seule année (1999), elle demande évidemment d'être validée sur plusieurs années consécutives.

D'après les observations d'adultes réalisées précédemment, il semble peu envisageable de penser qu'un seul pool d'œufs soit émis au niveau de la côte catalane française. En effet, des sars adultes ont été observés tout le long de la côte, avec les plus fortes densités et tailles au niveau des récifs artificiels du Barcarès et de la réserve intégrale de Cerbère-Banyuls. Ces deux sites représenteraient les deux pools principaux de reproducteurs sur la côte. Des groupes moins importants de reproducteurs pourraient être présents sur d'autres sites tels que les roches isolées de la côte sableuse (roche de St Nazaire, du Barcarès) et quelques sites de la côte rocheuse (Collioure, cap Béar...). Très peu d'informations sont disponibles sur le comportement reproducteur du sar commun en méditerranée. La seule information connue est qu'au mois d'Avril, il quitte la côte pour aller sur des fonds de 40m où vraisemblablement, des bancs de sars se retrouvent pour se reproduire puis rejoindre la côte par la suite pour se nourrir (Leboulleux, 1992). L'existence d'une unique zone de reproduction sur la côte catalane française nous semble peu probable car durant la période de reproduction des sars communs matures sont régulièrement pêchés à différents endroits de la côte que ce soit à cap Leucate, à St Cyprien ou sur la côte rocheuse. Cela est renforcé par les observations de Lenfant et Planes (2002) qui montrent que des différences génétiques observées au sein d'une cohorte suggèrent des pontes en petits groupes.

D'après toutes ces constatations, un modèle de distribution et d'intensité des flux de larves de sars communs sur la côte catalane française peut être proposé. Il explique en partie les

différences de densités et d'abondances de juvéniles observées entre les aménagements littoraux de la côte sableuse et la côte rocheuse naturelle. La figure II.18 présente ce modèle :

1- Il existerait deux pools principaux de géniteurs sur la côte catalane française. Un serait situé au niveau des récifs artificiels du Barcarès et de Leucate, ce pool peut être étendu jusqu'au cap Leucate. En effet, d'après les pêcheurs professionnels de la zone, les pêches de sars communs sur cette zone sont maximales durant les mois d'Avril et Mai (reproduction du sar commun). Le second pool de géniteur serait situé au niveau de la réserve marine de Cerbère-Banyuls. Le pool de géniteurs de cap Leucate va produire une grande quantité d'œufs, donc de larves. Les juvéniles du cap Leucate proviendraient en partie de larves venant de zones plus au nord.

2- Dans le cadre d'un courant principal nord-sud, ces larves vont être entraînées vers le sud, où après un mois de vie planctonique, elles vont alimenter en juvéniles les enrochements artificiels de la côte sableuse. Le flux de larves devient ainsi moins conséquent et beaucoup moins de larves arrivent au niveau de la côte rocheuse. Ce flux de larves arrivant sur la côte rocheuse est alimenté par des pools secondaires de géniteurs. En effet, tout au long de la côte il existerait aussi des pools de géniteurs moins importants. Sur la côte sableuse, ces pools seraient des roches naturelles isolées posées sur 30 à 50 m de profondeur (roches de St Nazaire et de St Laurent) mais aussi l'épave de l'Alice Robert, cargo de 100 m de long coulé en 1942 au large d'Argelès sur 50 m de fonds, celle-ci étant réputée comme extrêmement poissonneuse. En ce qui concerne la côte rocheuse, ces pools annexes pourraient être le cap Béar et les épaves posées sur 40 m de profondeur au niveau de Port-Vendres (le Saumur, l'Astrée et le Saint Lucien), d'autres roches isolées ou fond de coralligène peuvent aussi être considérés comme des pools secondaires.

Néanmoins beaucoup moins de larves arrivent sur la côte rocheuse par rapport à ce qui a alimenté la côte sableuse.

3- La réserve marine de Cerbère-Banyuls, du fait des densités et des tailles des sars adultes, peut aussi être considérée comme un très fort pool de géniteurs de sars communs, au même titre que le cap Leucate. Au niveau de cette zone il va y avoir émission d'une importante quantité d'œufs, qui vont être exportés vers le sud, c'est-à-dire en Espagne et en aucun cas alimenter la partie française de la côte catalane.

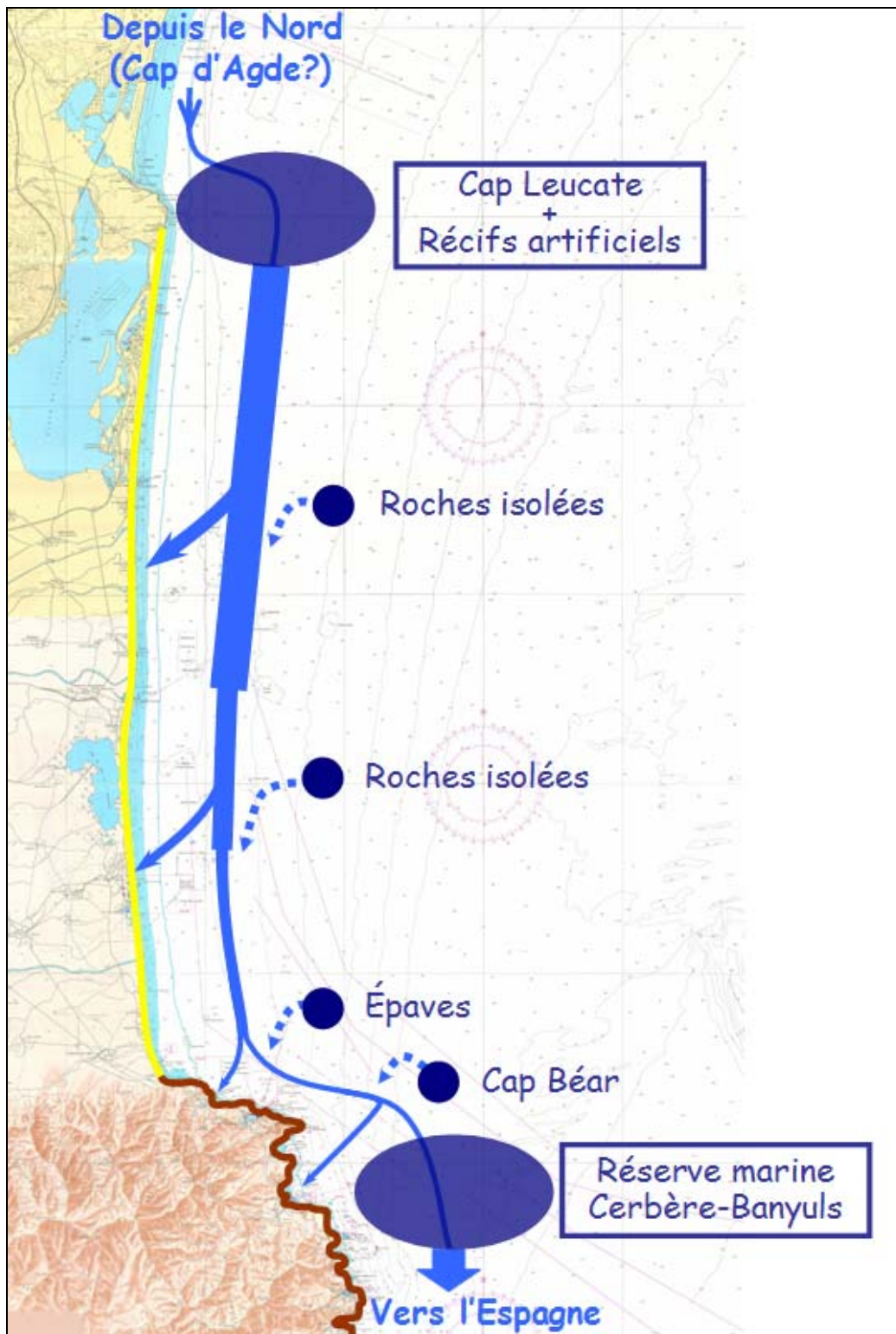


Figure II.18 : Modèle de distribution et d'intensité des flux de larves de sars communs sur la côte catalane française. Les cercles bleus représentent le pool d'œufs disponible, proportionnel au nombre d'adultes, la taille des cercles étant proportionnelle au nombre d'œufs pondus. Les flèches en traits pleins bleus représentent les flux de larves, l'épaisseur des flèches est proportionnelle à l'intensité des flux. Les flèches pointillées bleues représentent les apports en larves des zones où les pools d'œufs sont moins importants. En jaune la côte sableuse, en marron la côte rocheuse.

Un tel modèle de fonctionnement nécessite bien entendu d'être validé. Pour cela, des analyses génétiques pour déterminer l'origine des juvéniles semblent envisageables tout comme des microanalyses chimiques des otolithes. La détermination des pics de densité de juvéniles sur plusieurs années et à plusieurs sites semble également nécessaire. Des pêches expérimentales sur les lieux susceptibles d'être ceux de reproduction pourraient permettre de localiser les lieux de pontes du sar commun sur la côte catalane française. De plus une étude hydrodynamique poussée de la côte semble nécessaire afin de localiser d'éventuelles zones de rétention, mais aussi de mesurer la force des courants. Cela permettrait peut être de vérifier si un œuf pondu au niveau du cap Leucate peut se retrouver un mois plus tard au niveau de la côte rocheuse à l'état de larve puis de juvénile.

Un fonctionnement comme celui décrit ci-dessus implique que la grande majorité des juvéniles de sars communs de la côte sableuse, mais aussi de la côte rocheuse serait issue de reproductions au niveau du cap Leucate. Ce modèle pourrait expliquer les différences de densités de juvéniles observées le long de la côte catalane, notamment les grandes densités sur les aménagements littoraux de la côte sableuse. Cela impliquerait la mise en place d'une surveillance, voire d'une protection au niveau du cap Leucate qui à l'heure actuelle est laissé à l'abandon par les gestionnaires, alors qu'il subit une forte pression de pêche (Larénie 2007), notamment durant les périodes de reproduction. La mise en place d'une réserve naturelle serait alors souhaitable. Pour aller dans ce sens, le site du cap Leucate jusqu'au Barcarès vient d'être proposé en Site Natura 2000 par la Diren Languedoc Roussillon. De la même manière dont les cours d'eau français sont gérés, la pêche pourrait être fermée à tous les utilisateurs durant certaines périodes bien définies comme lors de la reproduction de certaines espèces cibles.

Clynick (2006) montre que les ports et les zones situés dans les parties protégées des brise-lames sont propices au développement du zooplancton et par conséquent des juvéniles de poissons s'en nourrissant. Ces enrochements sont des zones très riches en matières organiques, du fait notamment d'apports réguliers d'eau douce par les rejets de stations d'épuration ou par l'apport d'eau via les fleuves, mais aussi du faible hydrodynamisme entraîné par les enrochements côtiers. Cela implique une forte production primaire et par cascade une abondance de nourriture pour les juvéniles. Une forte densité d'organismes filtreurs et herbivores (moules et oursins) sur ces enrochements témoigne d'une forte production primaire et de la faune qui lui est associée, principalement des annélides, des bivalves, des œufs de poissons dont se nourrissent les juvéniles de sars en complément d'algues (Figueiredo *et al.*, 2005).

Cependant, cette hypothèse ne peut expliquer à elle seule les différences de densités observées entre les trois systèmes. Au niveau de la lagune, la production primaire est aussi très élevée (Hervé et Bruslé, 1980 ; Quigard et Zaouli, 1980 ; Wilke, 1999), or les densités de juvéniles sont faibles par rapport à celles observées sur les enrochements côtiers artificiels.

Des différences en termes d'habitats ont aussi clairement été observées entre les aménagements littoraux de la côte sableuse et la côte rocheuse. La structure de l'habitat est couramment utilisée pour expliquer la variabilité des assemblages de poisson en Méditerranée et les différences d'abondances de poisson à une échelle locale, de l'ordre de quelques mètres (Garcia-Charton et Perez-Ruzafa, 2001 ; Clynick, 2006). Dans le cas présent, les différences de densités que nous observons sont difficilement attribuables à la seule structure de l'habitat étant donné que la comparaison d'habitats n'a pas lieu à l'échelle locale (quelques mètres) mais plutôt à une échelle plus grande (plusieurs kilomètres). D'ailleurs, en comparant deux zones très proches (échelle locale) au niveau de la côte rocheuse, une artificielle et une naturelle, les densités sont plus élevées au niveau de la zone naturelle. Donc les différences que nous observons ne peuvent pas être attribuées à la seule structure de l'habitat.

En commençant ce travail de thèse, beaucoup d'espoir était porté en la capacité de nourricerie de la lagune de Salses-Leucate et le rôle qu'elle pourrait avoir dans le maintien des populations de poissons de toute la côte catalane française. Ces espoirs étaient fondés sur des observations réalisées au début des années 1980 comme quoi il y aurait de fortes densités de juvéniles de poissons (dont des sars) dans les lagunes languedociennes (Hervé et Bruslé, 1980 ; Quignard et Man-Wai, 1981) et sur le rôle de nourricerie souvent attribué aux lagunes (Leber *et al.*, 1996 ; Beck *et al.*, 2001). Dans ces conditions, la question qui se pose maintenant est la suivante : comment expliquer que les densités de juvéniles observées dans la lagune soient beaucoup plus faibles que celles observées au niveau des enrochements côtiers artificiels de la côte sableuse alors que tous deux sont situés dans la même zone géographique ?

IV-2.3 La lagune de Salses-Leucate et la perte de sa fonction de nourricerie

Le faible nombre de juvéniles de sars observés dans la lagune par rapport aux aménagements littoraux de la côte sableuse peut être dû à un mauvais échantillonnage de cette zone. En effet, la visibilité très médiocre et sa grande étendue pourraient être la cause d'un sous-échantillonnage. Néanmoins, de nombreuses plongées préliminaires à ce travail de thèse n'ont

pas permis l'observation de juvénile de sar commun sur des sites naturels de la lagune. Les seuls juvéniles ont été remarqués sur des habitats artificiels, notamment des enrochements et les tables ostréicoles. Même si cette hypothèse semble peu probable, elle ne peut être écartée. Nous avons vu précédemment que cette lagune communiquait avec la mer par l'intermédiaire de trois graus extrêmement anthropisés, leurs bordures étant exclusivement constituées d'enrochements artificiels. Durant ce travail, les efforts ont été focalisés au niveau de la partie sud de la lagune et du grau St Ange. Ce grau était intermittent, constitué exclusivement de sable avant d'être totalement aménagé dans les années 1960. Il devint alors ouvert en permanence et ses bordures ont été stabilisées par des enrochements. De plus, un port a été construit en son centre. A l'heure actuelle, le grau St Ange présente près de 6 km d'enrochements artificiels.

En mesurant les densités de juvéniles de sars communs depuis des enrochements côtiers situés en mer au niveau de la sortie du grau, jusqu'à une station au centre de la lagune, il apparaît que les densités de juvéniles suivent un gradient décroissant depuis la mer vers la lagune. Les densités étant très élevées au niveau de la mer, plutôt faibles dans la lagune et intermédiaire dans le grau. Ainsi comme le montre la figure II.19, un modèle de dispersion du nuage larvaire lorsqu'il pénètre dans la lagune peut être proposé :

1- Ce nuage très important va arriver sur la côte via les courants, les larves vont rencontrer un habitat qui leur est favorable, en l'occurrence les aménagements côtiers situés avant le grau St Ange côté mer. Ces aménagements vont donc capter une partie assez conséquente du nuage larvaire, qui se trouve ainsi réduit.

2- Ce qu'il reste du nuage larvaire va ainsi pénétrer dans le grau. Or, ce grau est constitué de 6 km d'enrochements, qui représentent autant d'habitats potentiels pour les juvéniles de sars. Ce grau va donc capter une grande partie du nuage larvaire restant.

3- Ainsi le nombre de larves entrant dans la lagune est très réduit, voire inexistant lors des mauvaises années ; c'est le cas en 2007 où un seul juvénile a été observé dans la station située au centre de la lagune.

Les enrochements artificiels situés en amont de la lagune captent la quasi-totalité des larves susceptibles de pénétrer dans la lagune. La lagune semble donc perdre son rôle de nourricerie au profit de ces aménagements littoraux. Cette baisse du nombre de larves pénétrant dans la lagune pourrait aussi être dû à une très forte prédation au niveau des graus. De nombreux prédateurs pourraient profiter de cette entrée massive de larves dans la lagune. Ainsi, il n'est pas rare que des sardines (*Sardina pilchardus*), voire des anchois (*Engraulis encrasicolus*)

soient signalés sporadiquement dans les graus en plus des prédateurs de larves habituels comme les juvéniles de loup (*Dicentrachus labrax*), mais aussi les anguilles (*Anguilla anguilla*) et autres Gobidés (Com. Pers.). Cette hypothèse d'une mortalité par prédation à l'entrée de la lagune devra être testée dans les études ultérieures (contenus stomacaux des prédateurs).



Figure II.19 : Modèle d'entrée et de dispersion du flux larvaire de sars communs dans la partie sud de la lagune de Salses-Leucate au niveau du grau St-Ange (en jaune). Le flux de larves est représenté par les flèches rouges, l'épaisseur de celles-ci est proportionnelle à l'intensité du flux larvaire.

D'après les constatations réalisées au niveau des aménagements littoraux de la côte sableuse, se pose la question de savoir comment le système fonctionnait avant l'implantation de toutes ces structures d'origine anthropique qui semblent tant prisées par les juvéniles de sars communs. Ces implantations ont commencé dans les années 1960, avec un essor lors des années 1970. A l'heure actuelle, des brise-lames sont régulièrement construits : St Cyprien en 2005, projet au niveau d'Argelès, Ste-Marie et Canet pour les années à venir.

Hélas, il n'existe que très peu de données sur l'ichtyofaune de la lagune avant 1960. Quignard et Zaouali (1980) mentionnent que lors de son inventaire à la fin du 19^{ème} siècle, Gourret (1897) n'a pas observé de sars communs dans la lagune de Salses-Leucate. D'après Quignard et Zaouali (1980) cela ne signifie pas nécessairement qu'il n'y en avait pas mais peut être que l'échantillonnage était inadapté. Rappelons que les sars rencontrés dans les lagunes ont généralement moins d'un an et ne sont pas du tout ciblés par la pêche. Or les données

recueillies par Gourret (1897), l'ont été par la pêche artisanale. Néanmoins des études menées dans les étangs palavasiens avant que ces derniers ne soient excessivement anthropisés montrent une grande abondance de juvéniles de sars communs au niveau d'herbiers de phanérogames notamment (Quignard et Man-Wai, 1982 ; Quignard et Man-Wai, 1983 ; Quignard *et al.*, 1984).

Comme le montre la figure II.20, avant les années 1960, la lagune de Salses-Leucate communiquait avec la mer par un seul grau permanent situé au nord de la lagune (actuel grau des conchyliculteurs). Il existait aussi un grau intermittent en lieu et place de l'actuel grau St Ange dans le sud de la lagune. Tant au niveau de cette dernière, que de la côte côté mer, il n'y avait aucun enrochement, seulement des fonds sablonneux ou coquilliers. Il semblerait que des herbiers de zostères recouvraient le fond de la lagune.

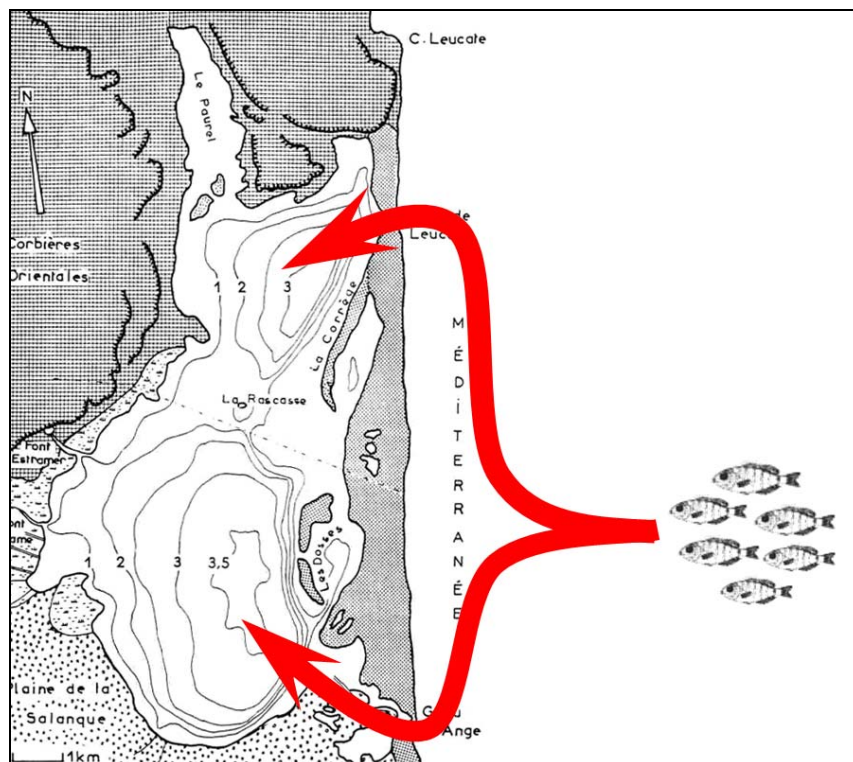


Figure II.20 : Modèle d'entrée et de dispersion du flux larvaire de sars communs dans la lagune de Salses-Leucate avant la construction des aménagements littoraux dans les années 1960. La carte est tirée d'Arnaud et Raimbault (1969).

A cette époque, quand le nuage de larves arrivait à la côte, il ne trouvait probablement pas d'habitat satisfaisant pour entrer en phase d'installation, les larves continuaient donc leur chemin et pénétraient dans la lagune par le grau. A l'intérieur de la lagune elles trouvaient un habitat leur offrant des refuges (herbiers de zostères) et une grande quantité et qualité de nourriture étant donné la forte production primaire présente dans les lagunes (fig.II.20). Les

juvéniles y restaient de Juin à octobre-novembre avant de rejoindre le milieu marin pour y trouver des conditions moins extrêmes durant l'hiver, du moins c'est ce qui a été observé dans la lagune de Mauguio par Quignard *et al.* (1984). La lagune de Salses-Leucate jouait alors pleinement sa fonction de nourricerie. Désormais ce n'est plus le cas, elle a, semble-t-il, perdu ce rôle au profit des aménagements littoraux qui, à l'heure actuelle, constituent de réelles nourriceries. Cependant, rien n'empêche de penser que, comme le disait Gourret (1897), il n'y avait pas de sar commun dans la lagune de Salses-Leucate avant l'ouverture des graus artificiels. Dans ce cas là, le nuage de larves formé au niveau du cap Leucate était peut-être entraîné vers le sud, les habitats adéquats à l'installation n'étaient alors pas rencontrés avant la côte rocheuse. L'hypothèse que des lagunes situées au sud de la côte sableuse pouvaient jouer ce rôle de nourricerie comme l'étang de Canet ou la lagune de St Cyprien (actuel port de cette ville) peut être émise. Une telle hypothèse implique qu'à cette époque la côte rocheuse recevait plus de juvéniles si et seulement si les adultes étaient aussi nombreux qu'à l'heure actuelle.

Pour en revenir à l'époque actuelle, les enrochements côtiers artificiels paraissent être une aubaine pour certaines espèces, essentiellement de zones rocheuses. Ils servent de nourricerie aux juvéniles qui y trouvent une nourriture abondante et un refuge. Une fois devenus adultes, ils quittent cette zone pour intégrer les populations adultes présentes dans les zones rocheuses naturelles ou artificielles (récifs artificiels). Ces enrochements se substituent aux lagunes ou aux herbiers qui généralement jouent ce rôle de nourricerie. En effet lagunes et herbiers de phanérogames sont de plus en plus dégradés par l'anthropisation (modification des courants, rejets d'eaux usées, apport important d'alluvions, etc.) qui crée ces enrochements artificiels et ports. De plus, Bruslé et Cambrony (1992) montrent que les lagunes peuvent devenir de véritables pièges pour les juvéniles de poissons, notamment par l'augmentation de la fréquence des malaïgues (phénomènes d'eutrophisation) due en partie à la pollution apportée par les activités humaines qui amplifie ce phénomène naturel et caractéristique des milieux paraliques.

Les résultats de cette études montrent que les enrochements côtiers de la côte sableuse semblent être saturés en juvéniles, dans ce cas précis le système est typiquement un habitat limitant (Holbrook *et al.*, 2000 ; Schmitt et Holbrook, 2000 ; Holbrook et Schmitt, 2002, Sale *et al.*, 2005). Alors qu'en se rapprochant soit de la lagune, soit des sites naturels de la côte rocheuse, l'habitat ne devient plus limitant, mais cette fois-ci c'est le nombre de post-larves arrivant sur les sites qui est limitant, autrement dit c'est le recrutement qui est limitant d'après les termes de Doherty (1991).

Lors des comptages de juvéniles sur les enrochements, nous avons observé à plusieurs reprises et parfois en forte densité des juvéniles d'espèces emblématiques de Méditerranée tel que le corb (*Sciaena umbra*), le denti (*Dentex dentex*) et le sar tambour (*Diplodus cervinus*) alors qu'ils ne sont observés que très sporadiquement sur la côte rocheuse. Les enrochements artificiels semblent avoir un rôle très important dans le maintien des populations de poissons et de la biodiversité. Il n'est pas prôné dans ce travail d'installer des aménagements côtiers tout le long des principales côtes sableuses méditerranéennes. Néanmoins, il semble opportun de protéger ceux qui existent contre la pêche et la pollution notamment. D'ailleurs, des arrêtés municipaux interdisent presque systématiquement la pêche sur ces ouvrages ; les faire respecter apporterait un plus au maintien de ces nourriceries. Pour les futures constructions, nous ne voyons pas d'amélioration à apporter étant donné que ces milieux semblent déjà saturés en juvéniles. Les aménagements littoraux n'ont été en aucun cas construits dans le but de servir de nourricerie, néanmoins le hasard semble ici avoir bien fait les choses.

Lors d'observations effectuées durant les mois hivernaux sur les aménagements côtiers de la côte sableuse, aucun adulte n'a été observé. L'hypothèse d'une mortalité de tous semble peu plausible, les poissons se sont donc probablement déplacés vers d'autres sites. De même les juvéniles qui grandissent sur les enrochements côtiers de la côte sableuse vont acquérir après six mois de croissance une capacité de déplacement qui va leur permettre de changer d'habitat et de zone. Que deviennent tous ces sars ? Quelles directions vont-ils privilégier ? Vont-ils alimenter la côte rocheuse et ainsi s'opposer au déficit en juvéniles que nous avons observé ? Le chapitre suivant aura pour vocation principale de répondre à ces questions.

Chapitre III : La connectivité entre différents systèmes (lagune, côte sableuse et ses aménagements littoraux, côte rocheuse) : rôle dans le maintien des populations de poissons.

I- Objectifs et hypothèses de travail

Ce chapitre a pour but principal d'essayer d'établir l'existence d'une connectivité entre les différents systèmes (lagune, aménagements littoraux de la côte sableuse, côte rocheuse) et le rôle de cette éventuelle connectivité dans le maintien des populations de poissons. En effet, le chapitre précédent a montré que les enrochements côtiers artificiels présentaient de fortes densités de juvéniles en comparaison à celles observées sur la côte rocheuse ou dans la lagune. Nous savons aussi que ces juvéniles atteignent au bout d'un an une taille leur permettant d'avoir de grandes facultés de déplacements (Santos *et al.*, 2006). Or, sachant que durant la période hivernale, les adultes sont totalement absents de ces enrochements côtiers, il paraît maintenant nécessaire de s'intéresser au devenir de ces juvéniles de poissons une fois leur taille adulte atteinte. Effectivement le caractère de nourricerie de ces enrochements côtiers suggère un changement d'habitat lors de la phase de recrutement (passage juvénile → adulte).

Pour suivre les changements d'habitats (nourriceries vers habitat adulte par exemple), le marquage de poisson est une méthode appropriée. Le but de cette manipulation est de marquer un grand nombre de poissons dans les divers systèmes étudiés et de les capturer par la suite pour évaluer les déplacements minimums qu'ils ont pu effectuer. Pour cela les poissons sont marqués avec des marques permettant d'identifier les lieux de marquage (lagune, enrochements côtiers artificiels, récif artificiel, côte rocheuse) mais aussi la période de marquage. Cette approche peut apporter des résultats très précieux sur les mouvements de poissons. C'est également une technique dont les résultats sont très aléatoires du fait de taux de recapture souvent très faibles, entre 5 et 10% (Metcalf et Arnold, 1997 ; De Pontual *et al.*, 2003 ; D'Anna *et al.*, 2004 ; Santos *et al.*, 2006). L'implication des organismes gestionnaires (Prud'homies, Comité Local des Pêches) devrait permettre d'augmenter sensiblement le taux de recapture.

I-1 Le marquage d'animaux, d'hier à aujourd'hui

Le marquage d'animaux est utilisé depuis fort longtemps par l'Homme. L'objectif est de pouvoir identifier individuellement un animal. Ainsi les premiers animaux à être marqués, ont été des animaux domestiques, principalement du bétail marqué au fer rouge, il y a 3 800 ans

en Mésopotamie. Au 13^{ème} siècle, les cygnes du roi d'Angleterre étaient marqués par des incisions au niveau de la base du bec. L'objectif était alors, pour le propriétaire, d'identifier ses animaux. Les premiers marquages à but scientifique ont eu lieu vraisemblablement en Angleterre, en 1909 avec les premiers baguages d'oiseaux. C'est ainsi qu'une hirondelle marquée en Grande Bretagne a été retrouvée en 1912 en Afrique du Sud à près de 10 000 km de son lieu de marquage.

Comme le montre cet exemple, le marquage scientifique permet de suivre les animaux migrateurs, mais pas seulement. Il permet aussi d'obtenir des informations sur la biologie de l'espèce marquée, notamment sa croissance, sa durée de vie, sa période et son lieu de reproduction. Le marquage peut donner des informations quant au comportement d'une espèce, et enfin à tout ce qui touche à l'écologie et à la dynamique des populations : abondance, taux de mortalité, immigrations, émigrations, identification des populations principalement et ce toujours dans le but de développer des stratégies de gestion des espèces (Wydoski et Emery, 1983; Buckley et Blankenship, 1990). Les premières données ont été obtenues sur des oiseaux par Lack (1942) qui estima des taux de mortalité d'après les données obtenues par les baguages d'oiseaux en Angleterre.

Comme chez les oiseaux, il existe beaucoup d'espèces migratrices chez les poissons, et des études ont été menées il y a une centaine d'années sur ces vertébrés. Certainement des saumons auxquels il avait été supprimé la nageoire adipeuse pour les reconnaître. Bolle *et al.* (2005) nous indiquent que les premiers marquages de plie (*Pleuronectes platessa*) ont eu lieu en 1916. Les marquages sur ces poissons ont connu leur apogée dans les années 1960 et les mêmes auteurs estiment que durant le 20^{ème} siècle, 50 000 plies ont été marquées et recapturées. Concernant la mer Méditerranée, Audouin (1960) s'intéressa aux migrations de daurades de la région de Sète en utilisant plusieurs sortes de marques. Lasserre (1976) pris la suite de cette étude en utilisant des marques operculaires. Une daurade marquée à Agde a été capturée 2 ans plus tard près de Marseille, 155 km plus loin. Durant les années 1980, les stocks de beaucoup d'espèces de poissons commerciaux ont diminué (hareng, morue, saumon) et cela a entraîné la mise en place de plusieurs études afin de mieux comprendre la dynamique des populations touchées par cette baisse. Un des outils privilégiés était le marquage - recapture. Cette technique va par la suite être délaissée au profit de l'ascension de la génétique moléculaire dans le monde de l'écologie au milieu des années 1990. Actuellement, la génétique est toujours très présente, la modélisation a pris aussi une part importante pour tenter d'expliquer des phénomènes écologiques. Or pour faire fonctionner et valider ces modèles, des données de terrain sont indispensables. C'est ainsi que depuis

quelques années les études de marquage - recapture se multiplient. Cependant une des grosses difficultés des études de marquage - recapture par rapport à des études de génétique, est que dans le premier cas le travail se fait avec des animaux vivants alors que généralement en génétique, le chercheur travaillera sur des individus morts, même si dorénavant de plus en plus d'études de génétique privilégient le prélèvement d'un fragment de tissus, permettant de relâcher l'animal vivant (Almany *et al.*, 2007).

Les avancées technologiques ont aussi été bénéfiques au marquage des animaux avec notamment le développement des marques électroniques. Il est maintenant possible de suivre à la minute près un poisson, de savoir à quelle profondeur il évolue, à quelle température, à quelle position GPS au mètre près. Bien évidemment tout cela a un coût non négligeable, mais c'est possible (Jadot *et al.*, 2006 ; Kodder *et al.*, 2007).

I-2 Les contraintes liées au marquage d'animaux

Le marquage est une technique vers laquelle les chercheurs hésitent grandement à se tourner du fait de sa difficulté de mise en place et du travail de terrain considérable que cela nécessite. Les deux difficultés principales d'une campagne de marquage - recapture sont la capture de poissons vivants et viables après le relâcher et la recapture des poissons marqués.

Le premier élément est donc de savoir s'il est possible de se procurer des poissons vivants, viables et en nombre suffisant. De plus, le poisson doit tolérer une manipulation à la main hors de l'eau et le stress engendré doit être minime. Ensuite il faut vérifier l'incidence de l'apposition d'une marque sur la survie du poisson, sur son comportement et sur sa croissance. Enfin, la tenue de la marque est primordiale ainsi que la reconnaissance de celle-ci afin d'optimiser le nombre de recaptures.

Malgré ces difficultés le marquage - recapture fournit des données que peu d'autres méthodes permettent d'obtenir. En effet, lorsque un animal a été marqué à un point A et recapturé à un point B, il est certain que le poisson a au moins parcouru la distance AB en un temps donné, certitude qu'on n'aura pas avec d'autres méthodes.

II- Méthodes : Marquage de poissons

Les campagnes de marquage - recapture se déroulent selon un schéma directeur assez général. Il consiste en : une réflexion sur l'étude et l'intérêt du marquage pour celle-ci, le choix de la technique de marquage, la capture, le marquage, le relâcher, la recapture et l'analyse des données plus le retour des conclusions. Mais selon les espèces et les lieux explorés, des variantes et des mises au point doivent être effectuées. Dans cette partie nous tâcherons d'expliquer de quelle façon le schéma directeur a été adapté à notre étude.

II-1 Choix de la marque

Dans le cadre de cette étude, les paramètres à prendre en compte étaient les suivants :

- les poissons capturés feront entre 10 et 40 cm,
- ces poissons sont plutôt robustes,
- la marque devra être extrêmement visible car les recaptures se feront en plongée ou via les pêcheurs professionnels et amateurs et
- une rétention de la marque la plus longue possible sera souhaitable pour un suivi sur 1 an.

Parmi un panel de marques disponibles, deux types de marques ont retenu notre attention : la marque spaghetti de type T-bar (FD-68BC, Floy Tag[®]) et l'implant visible d'élastomère (VIE) de NMT[®] (fig. III.1). Cette dernière a rapidement été laissée de côté du fait de sa faible visibilité pour des personnes non initiées, ce malgré une très bonne rétention et une adaptabilité à toutes les classes de tailles de poisson.

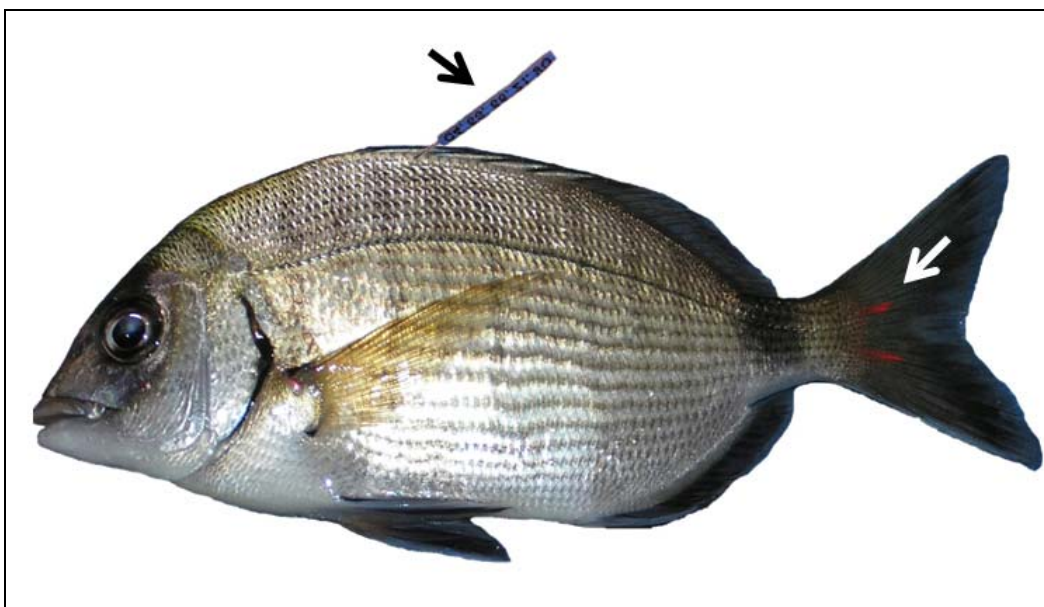


Figure III.1 : Sar marqué par VIE (flèche blanche) et par une marque spaghetti (flèche noire).

Le marqueur retenu a donc été le marquage direct sur le poisson de type : T-bar anchor tag. C'est une marque externe très largement utilisée lors de nombreuses études antérieures (Macpherson 2002; De Pontual *et al.* 2003). Elle appartient à une large gamme de marques appelées par analogie « spaghetti » (Fig. III.2). Le principe consiste en l'implantation d'une tige de vinyle sous la nageoire dorsale du poisson à l'aide d'un pistolet. L'apposition de la marque est rapide. La tenue est bonne malgré un risque de perte dans le cas d'une mauvaise pose.



Figure III.2 : Marque spaghetti de type T-bar anchor tag et son pistolet injecteur. A : marques en place dans le pistolet. B : marque posée sur le poisson et C : pistolet injecteur.

Les avantages de cette marque sont (i) un coût réduit, (ii) une pose simple et (iii) une bonne visibilité comme l'atteste la figure III.2. Un autre avantage non négligeable est le fait qu'il est possible d'inscrire le numéro de téléphone du laboratoire sur la marque. Ainsi quand un pêcheur capture un poisson, même s'il n'a pas été averti de la campagne de marquage, il peut toujours téléphoner au laboratoire via ce numéro de téléphone.

Les désavantages concernent principalement la rétention (ou tenue) de cette marque. La rétention des marques de ce type varie surtout en fonction de l'espèce marquée. Buzby et Deegan (1999) observent 92% de rétention chez le black-bass *Micropterus salmoides* un an après la pose de la marque. Des résultats similaires ont été obtenus par Gurtin *et al.* (1999) pour le brochet *Esox lucius* avec 87% de rétention après un an. Cependant ces mêmes auteurs (Gurtin *et al.*, 1999) observent une rétention de 49% pour un omble d'Amérique du Nord *Thymallus arcticus*. Dunning *et al.* (1987) observent une rétention de 43% après un an chez le loup américain *Morone saxatilis*, au bout de deux ans, tous les loups ont perdu leur marque. Chez un black-bass, toujours en Amérique du nord, Walsh et Winkelman (2002) observent une rétention de 76% après un mois et demi, puis 48% après 4 mois. Une telle variabilité entre

les espèces nous a incité à mener une expérimentation pour connaître le taux de rétention d'une marque spaghetti sur le sar commun. D'autant plus qu'une seule étude de ce type avait été menée sur cette espèce durant 60 jours (Giacalone *et al.* 2003). Après 60 jours, les 105 poissons marqués avaient tous gardé leur marque. Une période de deux mois de tests semble plutôt courte dans la mesure où nous espérons une tenue de la marque d'environ une année. Une partie consacrée à ce test de rétention sera abordée à la fin de cette partie.

II-2 La capture des poissons

La capture d'animaux vivants est une des contraintes principales des études de marquage - recapture. En effet, pour éviter ou minimiser tout biais après le marquage, l'animal relâché doit être dans un état le plus proche possible de celui qui a précédé sa capture. Or la capture des poissons par des méthodes traditionnelles de pêche est souvent très traumatisante. De plus, toutes ces méthodes de pêche ne peuvent être utilisées pour pêcher toutes les espèces de poisson. Le sar commun est une espèce recherchée par les pêcheurs de la côte catalane, il se pêche principalement de trois façons : filet trémail, chalut et palangre. Le filet trémail est posé au minimum pendant 12 heures. A la remontée, le poisson est soit mort, soit considérablement blessé et n'a que peu de chances de survivre. Le chalut pêche beaucoup moins longtemps que le filet trémail, néanmoins la grande quantité de poissons présente dans le chalut couplée à la remontée rapide de celui-ci provoque une forte mortalité pendant la pêche ou après suite aux blessures subites par le poisson, notamment des lésions au niveau de la vessie natatoire. Il est toutefois possible de récupérer des poissons viables par chalutage, mais cela implique des moyens très lourds en matériel et en personnel. Cette méthode est généralement utilisée en dernier recours pour des espèces qui ne sont pas capturables autrement. Ce fut le cas de De Pontual *et al.* (2003) pour la capture de merlu *Merluccius merluccius*, où un chalut spécial fut fabriqué. Néanmoins filets trémaux et chaluts sont très peu sélectifs. La palangre est une autre technique qui peut être employée pour capturer des sars, elle consiste en une ligne immergée à laquelle sont reliés des hameçons (généralement tous les mètres). Cette technique peut apparaître plus sélective à premier abord car elle va privilégier la capture de grands individus. Mais en pratique, cette technique ne s'avère que très peu efficace pour attraper des poissons vivants. En effet, elle nécessite un certain savoir-faire pour la mettre en œuvre, mais aussi parce que le poisson peut avaler l'hameçon et ainsi diminuer ses chances de survie s'il est relâché. De plus la pêche à la palangre est très irrégulière tant en quantité de prises, qu'en qualité (il n'est pas rare de capturer des espèces autres que l'espèce cible). Ainsi, ces trois méthodes ne conviennent pas à la capture dans des bonnes conditions et en nombre suffisant

de sars communs en vue d'un marquage. Il a également été envisagé de récupérer les poissons via des pêcheurs plaisanciers, mais là aussi les captures sont trop aléatoires pour envisager une étude sur plusieurs mois.

Pour palier à ce problème de capture des poissons, D'Anna *et al.* (2004) ont marqué des poissons issus de l'aquaculture. Ces sars ont été élevés durant un an, avant d'être marqués puis relâchés dans le milieu naturel. Ils n'avaient jamais été mis en présence de prédateurs éventuels avant d'être relâchés dans le milieu naturel. N'ayant pas de comportement de fuite à l'approche des prédateurs, notamment des congères, il en a résulté une forte mortalité par prédation. Même s'il est assez aisé de se procurer des sars d'aquaculture, cette technique ne semble pas être la plus adéquate à cause de la prédation, mais aussi à cause du comportement. En effet, un animal d'aquaculture risque de ne pas avoir le même comportement qu'un animal sauvage. Enfin, un lâcher d'animaux d'aquaculture pourrait avoir une incidence sur les populations sauvages en termes de patrimoine génétique.

Les techniques vues précédemment n'ont pas paru adaptées à l'étude, une autre technique a dû être mise au point. Pour cela, nous avons utilisé un trait de vie particulier du sar commun : son activité diurne qui entraîne une phase de sommeil la nuit venue. Durant son sommeil, le sar commun comme beaucoup d'autres Sparidés, est posé sur le fond, tout en restant immobile (fig. III.3).



Figure III.3 : Photographie de sars communs en phase de sommeil. L'individu de gauche dort toutes nageoires déployées afin de paraître plus volumineux à l'égard d'un éventuel prédateur. Le sar du milieu, beaucoup plus gros dort posé sur le fond. Le sar de droite dort à l'abri dans une anfractuosité.

Il est alors possible de capturer le poisson qui dort en plongée libre ou autonome selon les profondeurs de travail. Dans le cadre de cette étude seule la plongée autonome a été utilisée. Les manipulations commencent environ une heure après le coucher du soleil, afin que la majorité des poissons soit endormi. Le travail subaquatique s'effectue en équipe de deux, un plongeur s'occupant de l'éclairage et du repérage des sars, l'autre plongeur équipé de deux épousettes s'occupe de la capture du poisson repéré par le premier (fig. III.4).



Figure III.4 : Photographie d'un sar commun capturé à l'aide d'une épousette et en scaphandre autonome.

Une fois que le poisson a été capturé, il est stocké dans une bourriche. Deux types de bourriches ont été utilisés. Lorsque les manipulations s'effectuaient à faibles profondeurs (5 à 6 mètres), une bourriche flottante a été employée (fig. III.5), celle-ci était tractée par un des deux plongeurs.



Figure III.5 : De gauche à droite, la bourriche flottante vue de la surface. Les photographies du milieu et de droite montrent les poissons présents dans la bourriche.

En travaillant dans des profondeurs supérieures à 10 m, il devient impossible de tracter une bourriche flottante et de remonter à plusieurs reprises à la surface au cours de la plongée. Avant de commencer les captures, une bourriche fixe était donc installée sur le fond, munie de lampes à éclats pour qu'elle soit repérable (fig. III.6). Cette méthode implique de capturer des poissons dans le proche environ de la bourriche.



Figure III.6 : Photographie de la bourriche fixe, longue de 3 mètres et en maille très fine, elle évite aux poissons de se blesser. La qualité médiocre de la photographie est en grande partie due à la très mauvaise visibilité sur la zone de récifs artificiels.

Même si les sars sont susceptibles de dormir durant la nuit, lorsqu'ils sont éclairés, ils doivent être rapidement capturés, sinon ils se réveillent et s'échappent. De plus, au cours de cette étude, il a été constaté que tous les sars n'étaient pas en phase de sommeil durant la nuit contrairement à ce que l'on trouve dans la plupart des manuels d'ichtyologie (Fisher *et al.*, 1987 ; Louisy, 2002). En effet, des sars totalement actifs au milieu de sars en phase de sommeil ont souvent été observés. Ce constat est soutenu par le fait que les pêcheurs à la ligne capturent des sars communs durant la nuit, même à deux heures du matin. Ces captures sont le signe d'une activité du poisson, car en mordant à l'hameçon, cela signifie qu'il cherche à se nourrir.

Du fait de l'autonomie limitée d'une bouteille de plongée, les immersions durent entre une heure et deux heures selon les profondeurs de travail. Ce laps de temps permet de capturer de 15 à 30 sars selon les densités de poissons et le nombre de plongeurs sur le terrain.

Par la suite la bourriche est ramenée au bateau. Dans le cas de la bourriche fixée sur des fonds supérieurs à 10 m, la remontée doit être assez lente (de l'ordre de 5 à 10 min) afin de limiter les effets du gonflement de la vessie natatoire. Elle sera tout de même gonflée, mais cela est sans incidence si les poissons sont rapidement ramenés au fond et si les différences de température entre fond et surface n'excèdent pas 2 à 3 °C. De Pontual *et al.* (2003) ont dû percer la vessie natatoire des merlus remontés d'une profondeur de 20 m. Cela n'est pas nécessaire pour les sars communs du fait de leur plus grande robustesse. Pour les zones où la bourriche flottante est utilisée, le problème de décompression ne se pose pas.

II-3 Le marquage des poissons

Les marques spaghetti utilisées ont été achetées auprès de la société Floy Tag[®] (www.floytag.com). Etant donné le vaste intervalle de tailles de poissons qu'il était envisagé de marquer (10 à 40 cm), la plus petite marque spaghetti fabriquée (référence : FD-68BC) a été choisie. Cette marque mesure un peu moins de 3 cm et permet de marquer des poissons de 15 cm minimum (données Floy Tag[®]). Astruch (2005) a montré que cette marque n'a pas d'incidence sur la croissance et le comportement des poissons. D'après ses observations, il est aussi possible de marquer des poissons de 13 cm à l'aide de cette marque. Pour des tailles inférieures, l'auteur a observé des gênes lors de la nage du poisson.

La marque est constituée d'une partie en nylon en forme de T qui est implantée dans le muscle du poisson au niveau de la nageoire dorsale, le but étant de bloquer le T de la marque entre les arrêtes de la base de la nageoire dorsale. La tige en nylon est surmontée d'un enrobage en silicone de couleur (fig. III.7). Cet enrobage est la partie visible de la marque et par conséquent reste à l'extérieur de l'animal. Chaque marque porte un numéro d'identification (ex : « EPHE 00001 ») qui lui est propre. Afin de maximiser les recaptures, le numéro de téléphone du laboratoire a été inscrit sur chaque marque (fig. III.7). Pour pouvoir identifier le lieu de marquage d'un poisson observé en plongée, des marques de couleurs différentes ont été utilisées pour chaque zone marquée. En effet, la lecture du numéro présent sur la marque est impossible lors d'une plongée de jour étant donné la vitesse de fuite du poisson. Cependant l'identification de la couleur permet d'obtenir une information sur le lieu de marquage du poisson (fig. III.7)

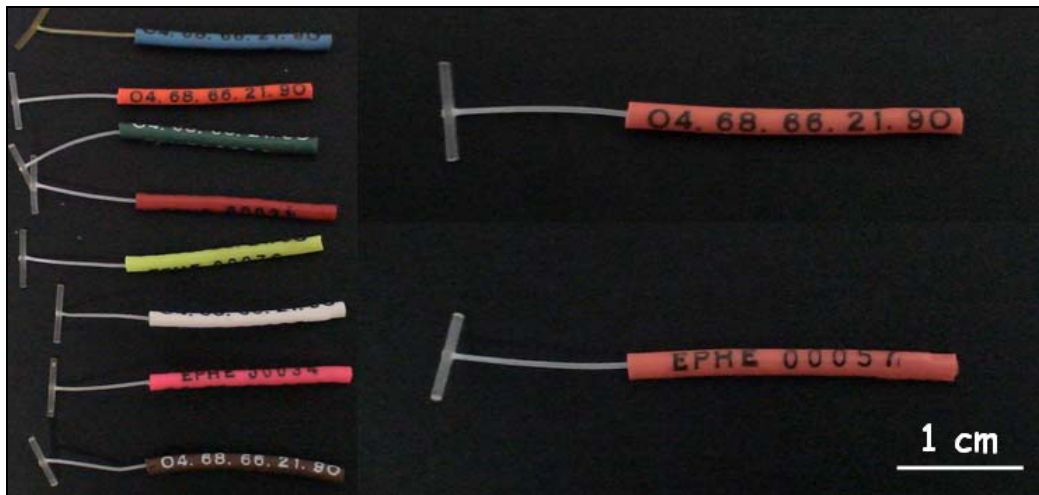


Figure III.7 : Sur la gauche de la figure, apparaissent les différentes couleurs de marques utilisées. Sur la droite, les deux faces de la marque : d'un côté le numéro d'identification, de l'autre le numéro de téléphone du laboratoire.

Les poissons stockés dans la bourriche sont transférés dans un bac d'eau de mer contenant de l'anesthésiant. L'anesthésiant utilisé est de l'eugénol à la concentration de 0,2 ml par litre d'eau de mer. L'anesthésie a pour but d'éviter tout stress et toute blessure aux poissons lors des manipulations de marquage. Une fois le poisson endormi (perte de tonus musculaire), il est mesuré au millimètre près (longueur totale), puis marqué au niveau de la nageoire dorsale à l'aide d'un pistolet (fig. III.8).

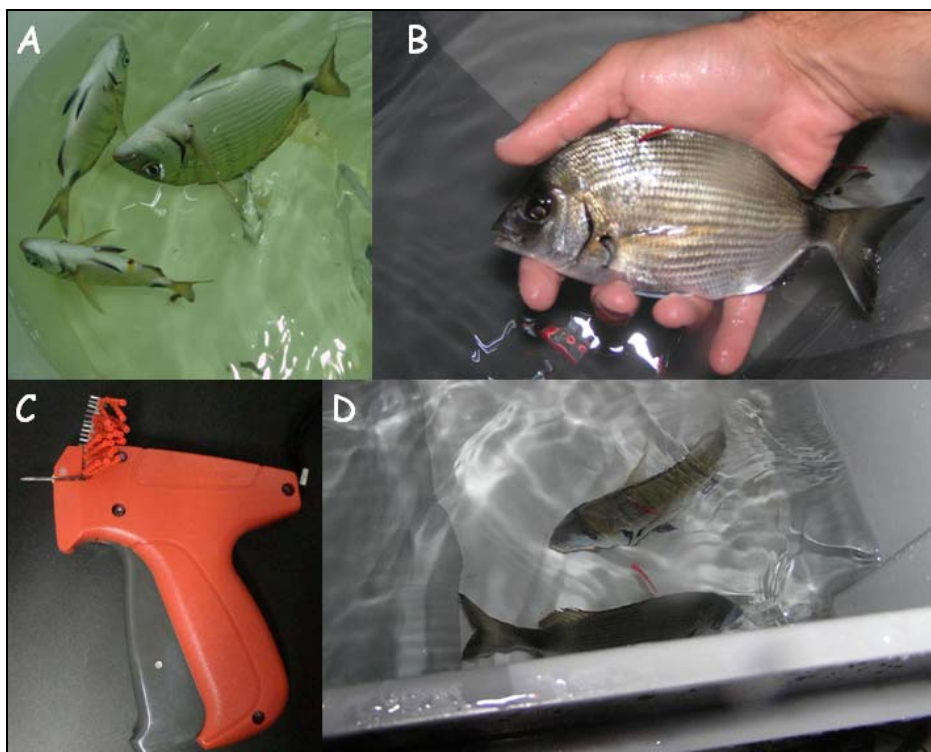


Figure III.8 : Différentes étapes depuis l'anesthésie jusqu'au marquage. A, sars anesthésiés. B, un sar venant d'être marqué. C, le pistolet marqueur. D, sars en phase de réveil.

Une fois marqués, les poissons sont mis dans un bac de réveil afin de dissiper l'anesthésie. Après 15 min, le réveil est effectif, les poissons peuvent être relâchés. Lorsque la capture s'est effectuée dans peu d'eau, les poissons sont relâchés directement. En revanche quand la capture a eu lieu dans plus de 10 m d'eau, les poissons doivent être ramenés au fond par des plongeurs. En effet, ceux-ci flottent en surface du fait du gonflement de leur vessie natatoire. Ils ne peuvent donc pas descendre par leurs propres moyens.

II-4 Les sites de marquage

Les marquages ont été effectués dans les trois systèmes : la côte rocheuse, la côte sableuse et ses aménagements littoraux, puis la lagune. Pour chaque système, le choix des sites de marquage a grandement été influencé par les densités en sars adultes observées lors de comptages préliminaires.

- Ainsi sur la côte rocheuse, deux sites ont été retenus : l'anse de Peyrefite située au sud de la réserve marine de Cerbère – Banyuls et l'anse de Paulilles qui est située plus au Nord et hors réserve (fig. III.9).

- De fortes densités de sars ont été observées sur la côte sableuse, mais seulement à proximité d'aménagements littoraux. Les marquages ont donc eu lieu sur plusieurs sites qui sont situés du nord au sud, au niveau des enrochements côtiers du Barcarès, des enrochements côtiers de Sainte-Marie, de la digue du port de Canet-en-Roussillon, de la digue du grau de l'étang de Canet – Saint Nazaire et des enrochements côtiers de Saint Cyprien. Tous ces sites sont situés à la côte. Nous avons également ajouté un site situé beaucoup plus au large constitué par les récifs de Leucate et du Barcarès. Ils reposent sur 20 m de profondeur environ à un mille nautique de la côte (fig. III.9).

- Bien que peu de sars aient été observés dans la lagune de Salses – Leucate, des essais de marquages de sars ont été réalisés au niveau de la digue de La Coudalère (fig. III.9).

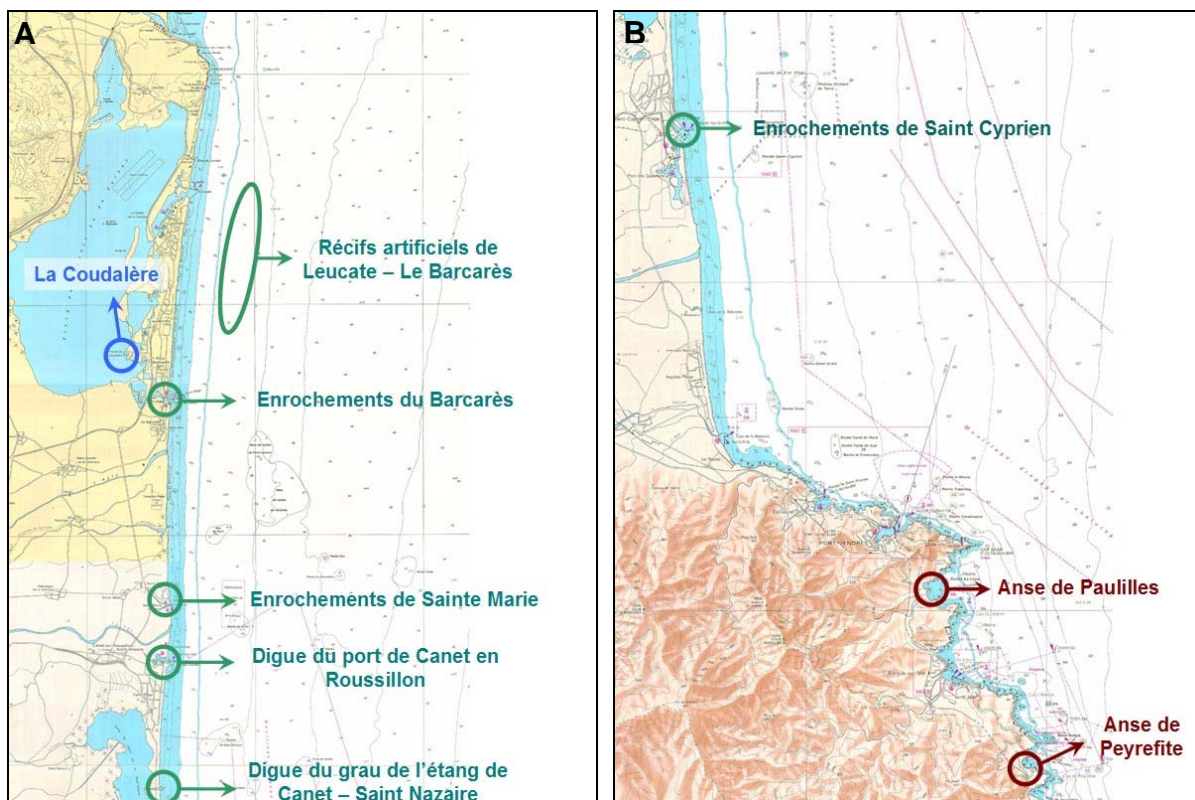


Figure III.9 : Sites retenus pour le marquage. En vert, les sites côte sableuse ; en marron, côte rocheuse et en bleu, lagune. A : partie nord de la zone d'étude. B : partie sud de la zone d'étude.

II-5 La recapture

Nous appelons recapture tous les poissons qui ont été marqués au préalable et qui ont ensuite été soit capturés par des pêcheurs (filet, ligne, chasse) soit simplement observés en plongée.

La phase de recapture est très aléatoire. Généralement, 5 à 10% des animaux marqués sont recapturés (Metcalfé et Arnold, 1997 ; De Pontual *et al.*, 2003 ; D'Anna *et al.*, 2004 ; Santos *et al.*, 2006).

Afin d'optimiser les recaptures, une campagne d'information a été menée auprès des gestionnaires (Prud'homies, Comité local des Pêches) afin que tous les pêcheurs professionnels soient informés et puissent agir positivement en cas de capture d'un poisson marqué. Les pêcheurs de Port-la-Nouvelle (Aude) jusqu'à ceux de la Catalogne espagnole ont été sensibilisés, notamment via la diffusion d'affiches (fig. III.10) ou suite à des réunions ou encore à des rencontres sur le terrain. Les pêcheurs plaisanciers ont été informés surtout par une campagne d'affichage dans les magasins de pêche ou via les associations de pêcheurs à la ligne. Les chasseurs sous-marins ont été informés lors des concours de chasse, mais aussi par une campagne d'affichage dans les magasins spécialisés et par plusieurs articles dans la revue Apnéa, une des revues les plus lues par les chasseurs sous-marins (fig. III.10).



Figure III.10 : Différents moyens de communication utilisés afin de sensibiliser un maximum de personnes au déroulement d'une campagne de marquage de sars. De gauche à droite : affiche en français, affiche en catalan, article dans une revue de chasseurs sous-marins (Apnée).

Pour assurer une meilleure coopération de tous les pêcheurs, une récompense de 20 € par poisson marqué ramené a été offerte. Il s'est vite avéré que les poissons ont été ramenés par les pêcheurs grâce au numéro de téléphone présent sur la marque plutôt qu'à la campagne d'affichage elle-même.

En plus de ces recaptures, des plongées régulières ont été effectuées sur les lieux de marquage pour compter les poissons marqués. La nuit, il est possible d'identifier le poisson en lisant le numéro sur la marque parce que le poisson est immobile. En revanche, la journée seule la couleur est visible, ce qui apporte seulement des informations sur le lieu de marquage du poisson (fig. III.11).



Figure III.11 : Photographies de sars dans le milieu naturel. Sur la photographie de droite, notons la présence d'algues sur la marque.

II-6 Analyse des données

Après les recaptures par les pêcheurs, la localisation du lieu de pêche est obtenue, elle est comparée à la position du lieu de marquage, ainsi des distances théoriques parcourues peuvent être obtenues et analysées sur un SIG (MapInfo 7.5).

II-7 Test de rétention de la marque

Parallèlement à la campagne de marquage en mer, un test de rétention de la marque en enceinte close a été effectué afin d'évaluer le temps de tenue de la marque. En effet il est inutile d'attendre des recaptures de poissons si ces derniers ont été marqués 300 jours plus tôt, alors que le temps de rétention est de 200 jours par exemple. De plus ce temps de rétention va permettre de réajuster les données de recapture obtenues.

Pour réaliser cette expérimentation, un travail en collaboration avec l'aquarium de Canet en Roussillon a été effectué. Il a mis à notre disposition un bac en extérieur de 6 000 litres et la nourriture pour les poissons. Le bac est circulaire (fig. III.12), des structures rocheuses ont été installées afin que le milieu se rapproche le plus possible du milieu de vie naturel du sar commun. Le but étant aussi de créer des anfractuosités pour que le poisson s'y faufile et voir si la marque peut être arrachée ou non.



Figure III.12 : Photographie du bac ayant servi au test.

Aucune filtration n'a été utilisée car il y avait un renouvellement constant de l'eau, le bac étant en circuit ouvert. Deux arrivées d'air assuraient une oxygénation suffisante du bac

notamment durant les mois chauds d'été. Pour l'hiver, afin d'éviter une diminution de la température de l'eau en dessous de 10 °C, une bâche isolante a été installée sur la surface de l'eau et des chauffages ont été immergés dans le bassin.

L'expérience a débuté le 31 octobre 2006 pour se finir le 15 juin 2007, soit 228 jours plus tard. 35 poissons ont été capturés dans le milieu naturel, puis acclimatés durant 15 jours dans le bac de 6 000 litres. Au bout de ces 2 semaines tous les poissons se nourrissaient convenablement, signe d'une bonne santé et d'une bonne acclimatation. Ainsi le 31 octobre 2006, les 35 poissons ont été marqués suivant le protocole utilisé pour les marquages en mer. Pour assurer une bonne maintenance des poissons, il n'a pas été possible de mettre plus de poisson. Tous les 50 jours, le bac était vidé et les marques perdues récupérées. Tous les poissons étaient alors endormis et examinés afin de voir l'état et la tenue de la marque lorsqu'elle était encore présente. Une fois le test terminé, tous les poissons ont été relâchés sans leur marque.

III- Résultats

Le marquage a eu lieu sur deux années, 2005 et 2006. Les sars n'étant pas visibles à la côte durant la période hivernale, les marquages n'ont donc pu être effectués qu'à partir du printemps et ce jusqu'à la fin de l'automne. En 2005, le printemps a servi à la mise au point de la technique, les marquages ont donc débuté au début du mois de juillet pour se finir à la mi-octobre. Le marquage en 2006 a débuté à la mi-juin et s'est terminé à la fin du mois de septembre.

Tout le travail de marquage a été effectué de nuit et en grande partie à faible profondeur, c'est-à-dire dans une zone fortement soumise aux conditions météorologiques et où la visibilité se dégradait fortement à la moindre agitation en surface. Les sorties n'ont été possibles que lorsque les conditions météorologiques étaient optimales (peu de vent et peu de houle). Vingt cinq sorties ont été organisées en 2005, autant en 2006, c'est-à-dire près de 150 heures d'immersions pour capturer les poissons.

III-1 Test de rétention de la marque

Durant les 228 jours qu'a duré ce test, 5 poissons sont morts. Après autopsie, il est possible d'affirmer que ces poissons sont morts suite à des blessures causées par des congénères. Le sar commun, bien qu'étant très grégaire en milieu naturel, a tendance à devenir territorial lorsqu'il est en captivité, à fortiori dans un volume plutôt restreint ; il semble peu probable

que la pose d'une marque soit la cause de la mort de ces poissons. Par conséquent, nous avons pris seulement en compte les 30 poissons restants pour nos analyses.

Au terme de l'expérimentation, soit 228 jours après la pose de la marque, 13 poissons sur 30 possédaient encore leur marque, c'est-à-dire 43,3 % des poissons marqués. Globalement, 100 % des poissons sont encore marqués 50 jours après leur marquage. Ils sont encore 83 % après 100 jours, 70 % après 150 jours. En revanche au bout de 200 jours, moins d'un poisson sur deux (47 %) est encore marqué (fig. III.13).

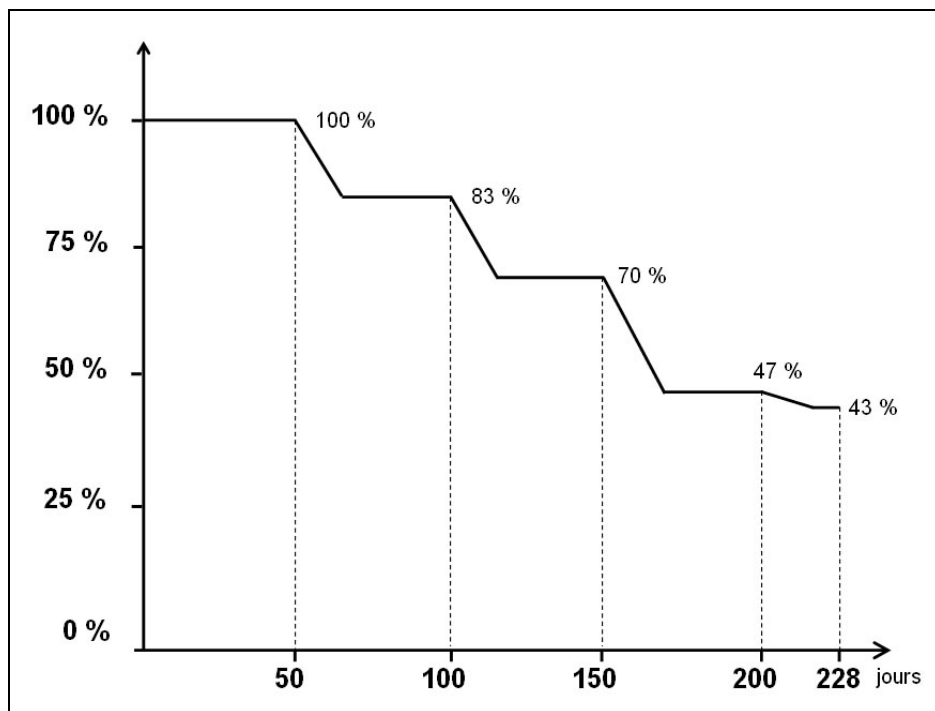


Figure III.13 : Graphique du pourcentage de poissons marqués en fonction du temps écoulé depuis le marquage.

III-2 Bilan des poissons marqués

Les poissons ont été marqués dans 9 sites différents, se répartissant dans les trois systèmes : la côte rocheuse, la côte sableuse et la lagune. Durant les deux années de marquage, 597 poissons ont été capturés, marqués et relâchés, 284 en 2005 et 313 en 2006 (tab. III.1).

Lors de l'année 2005, nos efforts se sont focalisés sur le marquage des sars de la côte sableuse. Le poisson marqué à Banyuls en 2005 qui apparaît dans le tableau 6 est un poisson qui avait été précédemment marqué à Sainte-Marie, capturé vivant à Banyuls et donc relâché à Banyuls après qu'il eut été mesuré et identifié.

En 2006, des poissons ont été marqués dans les trois systèmes. Sur la côte rocheuse, 50 poissons ont été marqués hors réserve à Paulilles et 61 dans la réserve partielle à Peyrefite.

Dans la lagune, seulement 9 poissons ont été marqués du fait des faibles densités observées. Aucune mortalité n'a été observée durant les phases de capture, marquage et relâcher.

Tableau III.1 : Nombre de poissons marqués par site et par année, sur la côte rocheuse, les enrochements côtiers de la côte sableuse et dans la lagune.

		2005	2006	Total	
Côte rocheuse	Anse de Paulilles	0	50	50	112
	Anse de Peyrefite	0	61	61	
	Banyuls (port)	1	0	1	
Enrochements côtiers Côte sableuse	Récifs artificiels	0	54	54	476
	Le Barcarès	0	25	25	
	Sainte Marie	70	62	132	
	Canet en Roussillon	30	0	30	
	Grau de l'étang de Canet	48	6	54	
Saint Cyprien	135	46	181		
Lagune	La coudalère	0	9	9	9
Total		284	313	597	

III-3 Bilan des poissons recapturés

Sur les 597 poissons marqués, 86 recaptures ont été comptabilisées, soit un pourcentage de 14,4% (tab. III.2).

Tableau III.2 : Nombres de poissons recapturés par mode de pêches ou d'observations.

	Nombre d'individus	Pourcentage
Chasse sous-marine	3	3,5%
Pêche à ligne	8	9,3%
Pêche au filet	2	2,3%
Plongée sous-marine	73	84,9%
Total	86	14,4 % des poissons marqués

Plusieurs méthodes ont permis la recapture : la chasse sous marine, la pêche à la ligne et la pêche au filet. Dans ces trois cas, l'identification du poisson a été possible. Un quatrième mode de recapture a été la plongée sous-marine, le terme de recapture est employé dans ce cas, mais le poisson n'a jamais été prélevé, il a seulement été observé. Comme le montre le tableau III.2, les observations en plongée sous-marine ont été les plus fructueuses avec près de

85% des recaptures. La pêche à la ligne représente presque 10% des recaptures. Par contre, la part de la pêche au filet, c'est-à-dire la part de la pêche professionnelle dans ces recaptures est très faible avec seulement deux poissons recapturés, moins de 2,5% des recaptures totales. La chasse sous-marine a représenté 3,5% des recaptures.

Le tableau III.3 montre que les taux de recapture peuvent être très différents selon les sites de marquage. L'anse de Peyrefite est le site où il y a eu le plus de poissons recapturés avec 47 poissons soit 77% des poissons marqués à cet endroit, tous ont été recapturés en plongée sous-marine. Par contre, à Paulilles seulement 5 poissons ont pu être recapturés, c'est-à-dire 10% des poissons marqués. Sur la côte sableuse, c'est pour le site de Sainte Marie que le plus de retours ont été observés, 17 poissons soit 12,9% des poissons marqués sur ce site. Au niveau des récifs artificiels, près de 10% de retour ont été constaté avec 5 poissons ramenés. Ces taux de recapture par site de marquage devront être analysés avec précaution car l'effort mis en œuvre pour le marquage et pour les recaptures n'a pas été le même pour chaque site. Par contre, le nombre de déplacements observés par site va être une information plus fiable et mieux interprétable.

III-4 Bilan des déplacements observés

Lorsque le lieu de recapture sera distant d'au moins 100 m du lieu de marquage, nous considérerons que le poisson a effectué un déplacement. Les déplacements de plus d'1 km seront distingués des déplacements inférieurs.

C'est à Sainte Marie et au niveau des récifs artificiels que le plus de déplacements ont été observés avec respectivement 5 et 3 poissons qui se sont déplacés (tab. III.3). Au niveau de la côte sableuse, 11 poissons se sont déplacés (2,3% des poissons marqués sur ce système) contre 2 sur la côte rocheuse (1,8% des poissons marqués sur ce système). Aucun déplacement n'a été observé depuis la lagune, en grande partie du fait du très faible nombre de poissons marqués (9 poissons).

Sur les 86 poissons recapturés, 24 ont pu être identifiés. Pour ces derniers, les informations suivantes sont connues : taille, date, lieu et profondeur lors du marquage et lors de la capture. D'après ces données, une distance minimale parcourue et une durée de parcours sont obtenues (tab. III.4) si le poisson s'est déplacé. Sur ces 24 poissons, 14 ont été recapturés au même site que celui de leur marquage, avec des intervalles de temps qui vont de deux jours à 294 jours après le marquage. Les dix autres poissons ont été recapturés plus ou moins loin de leur lieu de marquage. Le record revient à un poisson retrouvé 34 km plus loin que le lieu où il avait été marqué 13 jours auparavant. Les distances parcourues vont ainsi de 200 m à 34 km.

Tableau III.3 : Nombre de poissons recapturés par zone de marquage (côte rocheuse, aménagements littoraux de la côte sableuse et lagune), le taux de recapture induit et le nombre de déplacements observés par zone.

	Nombre de poissons marqués	Nombre de poissons recapturés	Taux de recapture	Déplacements
Anse de Paulilles	50	5	10,0%	1
Anse de Peyrefite	61	47	77,0%	1
Banyuls (port)	1	0	0,0%	0
<i>RECIFS ARTIFICIELS</i>	54	5	9,3%	5
<i>LE BARCARES</i>	25	1	4,0%	1
<i>SAINTE MARIE</i>	132	17	12,9%	3
<i>CANET EN ROUSSILLON</i>	30	3	10,0%	1
<i>GRAU DE L'ETANG DE CANET</i>	54	3	5,6%	0
<i>SAINT CYPRIEN</i>	181	5	2,8%	1
<i>La coudalère</i>	9	0	0,0%	0

Tableau III.4 : Poissons recapturés dont la date et le lieu de marquage ont pu être identifiés.

Lieu marquage	Lieu capture	Date de marquage	Date de capture	Durée (jours)	Distance (km)	Profondeur marquage	Profondeur capture	Taille (mm)	Engin	
Peyrefite	Peyrefite	16/06/06	28/06/06	13	0	3 m	1 m	170	Plongée	
		19/06/06	28/06/06	10	0	3 m	1 m	208	Plongée	
		19/06/06	20/06/06	2	0	3 m	1 m	214	Plongée	
		19/06/06	28/06/06	10	0	3 m	1 m	215	Plongée	
		20/06/06	27/07/06	8	0	3 m	1 m	318	Plongée	
		20/06/06	03/08/06	45	0	3 m	1 m	318	Plongée	
		20/06/06	27/06/06	8	0	3 m	1 m	166	Plongée	
Récifs artificiels	Récifs artificiels	31/08/06	19/09/06	20	0,2	17 m	17 m	385	Plongée	
		31/08/06	04/09/06	5	0,2	17 m	17 m	350	Plongée	
		31/08/06	04/09/06	5	0,2	17 m	17 m	208	Plongée	
		Leucate (grau)	04/09/06	14/09/06	11	6,7	17 m	2 m	210	Ligne
	Port La Nouvelle	19/09/06	03/10/06	15	20	17 m	2 m	220	Filet	
Le Barcarès	Argelès	07/09/06	23/09/06	17	29	2 m	2 m	180	Ligne	
Ste Marie	Ste Marie	22/09/05	23/09/05	2	0	2 m	2 m	158	Plongée	
		22/09/05	11/10/05	20	0	2 m	2 m	212	Ligne	
		05/10/05	10/10/05	6	0	2 m	2 m	188	Chasse	
		05/10/05	25/07/06	294	0	2 m	2 m	184	Plongée	
		26/07/06	24/08/06	30	0	2 m	2 m	190	Ligne	
		25/07/06	23/08/06	30	0	2 m	2 m	164	Ligne	
		Banyuls	05/10/05	17/10/05	13	34	2 m	4 m	162	Ligne
		Port Vendres	22/09/05	05/04/06	196	27	2 m	2 m	163	Ligne
	Cap Béar	25/07/06	31/10/06	99	28	2 m	10 m	330	Filet	
St Cyprien	St Cyprien	11/08/05	02/09/05	23	0	2 m	2 m	205	Chasse	
		11/07/06	25/08/06	46	0,8	2 m	5 m	200	Ligne	

Les 62 autres poissons recapturés n'ont pu être identifiés individuellement. Cependant le fait que chaque lieu de marquage ait été différencié par l'utilisation d'une marque de couleur différente permet d'obtenir un minimum d'informations : le lieu de marquage, celui de la recapture et par conséquent la distance minimale parcourue par ces poissons. Une information sur la durée entre marquage et recapture est aussi obtenue puisque le jour de recapture et une estimation du jour de marquage sont connus. Généralement, pour chaque zone de marquage, la campagne de marquage a duré moins de 15 jours. Ainsi quand la date de marquage d'un poisson n'est pas connue, celle correspondant au dernier jour de la campagne pour la zone à laquelle il a été marqué a été retenue.

D'après le tableau III.5, il apparaît que l'anse de Peyrefite (située dans la réserve marine de Cerbère – Banyuls) est le site qui induit le plus de retour. Par contre très peu de poissons se sont déplacés depuis ce site, seulement un individu a été retrouvé dans le port de Banyuls 5 km au nord.

Tableau III.5 : Poissons recapturés dont l'identification individuelle n'a pu être possible. Pour chaque trajet (lieu de marquage – lieu de recapture), il est donné le nombre de poissons recapturés ayant fait ce trajet, les durées minimums et maximums observées pour ce trajet. Quand il y a eu déplacement, la distance parcourue est donnée et la durée max. correspond à la durée de parcours.

Lieu de marquage	Lieu de recapture	Nombre	Durée min. (jours)	Durée max. (jours)	Distance (Km)	Date recapture
Peyrefite	Peyrefite	39	5	352	0	/
	Port de Banyuls	1	/	342	5	27/05/07
Paulilles	Paulilles	4	2	41	0	/
	Ilots paulilles	1	/	2	0,8	29/06/06
Ste Marie	Ste Marie	8	2	285	0	/
Canet	Canet	2	9	9	0	/
	Ste Marie	1	/	26	3	10/10/05
Etang de Canet	Etang de Canet	3	8	28	0	/
St cyprien	St Cyprien	3	13	13	0	/

Il ressort aussi que les recaptures sont intervenues principalement durant les deux premiers mois qui ont suivis le marquage. 33 poissons ont été recapturés dans les dix premiers jours, 24 de plus pour le premier mois et 14 pour le deuxième mois. 12 recaptures ont été effectuées après 250 jours. Par contre seulement trois poissons ont été capturés entre 60 jours et 250

jours (fig.III.14). Cette période correspond souvent à la période hivernale. Ces résultats sont à mettre en relation avec le test de tenue de la marque effectué en parallèle.

D'après les deux tableaux (tab. III.4 et III.5) vus précédemment, sur les 86 poissons recapturés, 13 l'ont été à un endroit différent que celui de leur lieu de marquage. Deux groupes peuvent être constitués.

- Huit poissons ont parcouru plus d'un kilomètre après leur marquage.
- Cinq poissons ont parcouru moins d'un kilomètre après avoir été marqué.

Aucun lien entre la taille des poissons et leurs déplacements (durée, distance) n'a pu être mis en évidence.

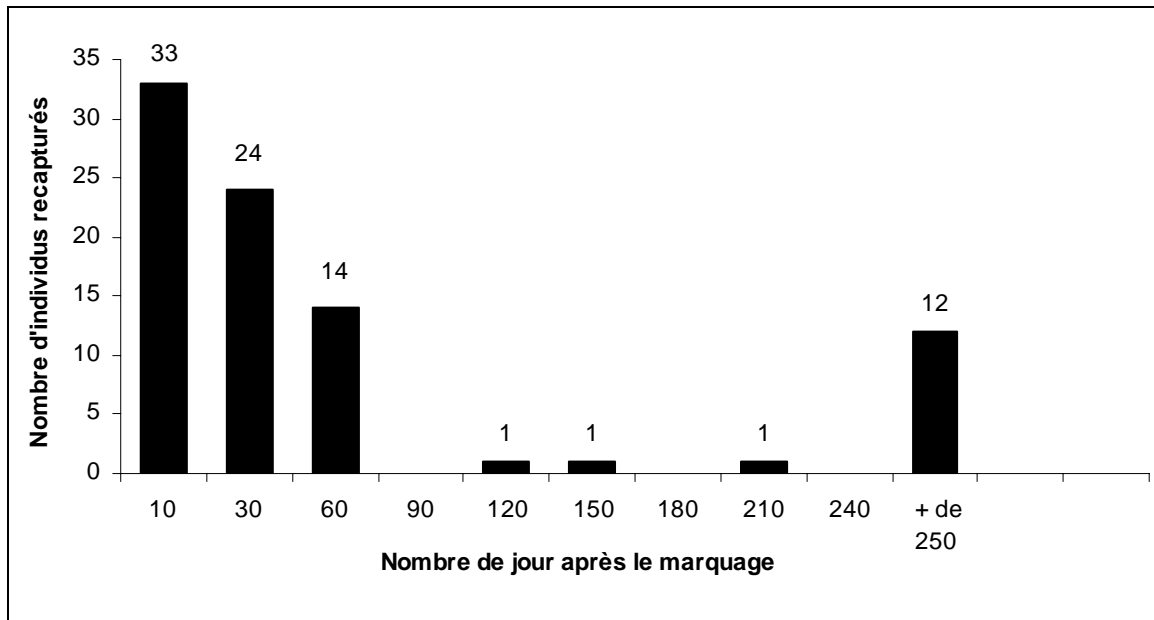


Figure III.14 : Nombre de poissons recapturés en fonction du nombre de jours écoulés depuis le marquage.

En ce qui concerne les poissons s'étant déplacés, les recaptures ont été effectuées préférentiellement durant les mois d'automne (septembre et octobre). Des recaptures sont aussi observées pendant le printemps, mais en nombre beaucoup plus faible, un sar en avril, mais aussi en mai et en juin. Le poisson capturé en août l'a été le 25 août (fig. III.15). Les déplacements sont effectués plutôt durant l'automne et sûrement durant le printemps. Aucun déplacement n'est observé durant l'hiver (novembre à avril), ni durant les mois les plus chauds (Juillet et Août).

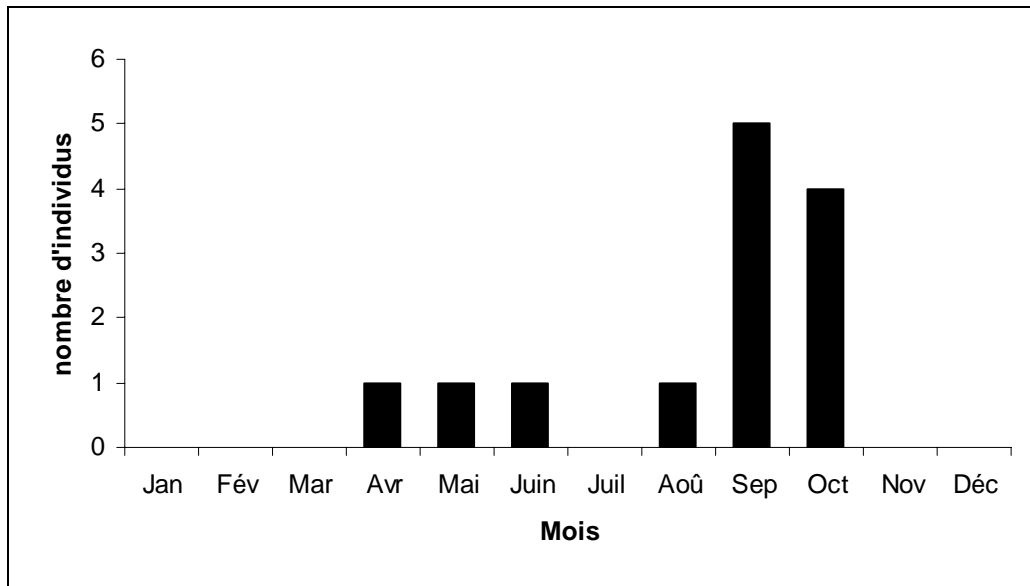


Figure III.15 : Nombre de poissons recapturés par mois à un lieu différent de celui de leur marquage.

La figure III.16 représente les déplacements des poissons qui ont parcouru plus d'un kilomètre après leur marquage. Il apparaît clairement sur cette carte qu'il y a deux directions de déplacement privilégiées, à partir de deux secteurs assez différents.

- Un déplacement vers le nord pour deux poissons marqués sur les récifs artificiels du Barcarès. Ces sars de 21 et 22 cm ont parcouru respectivement 6,7 et 20 km minimum, en 11 et 15 jours après avoir été marqués. Ces poissons marqués sur une zone de récifs artificiels à près de 20 m de profondeur et à environ un mille nautique de la côte, ont tous les deux été recapturés à la côte sur fond sableux dans 2 m d'eau.

- La seconde tendance observée privilégie des déplacements vers le sud. Notamment grâce à l'observation des déplacements de trois sars depuis Sainte Marie vers la côte rocheuse. Le premier mesurant 16 cm a été recapturé 13 jours après son marquage à Banyuls, au moins 34 km plus loin. Le deuxième, d'une taille de 33 cm a été capturé au niveau du cap Béar 99 jours après le marquage à environ 28 km de là. Et enfin le troisième de 16 cm a été recapturé 196 jours après son marquage à 27 km de Sainte Marie au niveau de Port-Vendres. Ces trois poissons ont été marqués sur des enrochements côtiers artificiels posés sur une côte sableuse dans moins de 3 m d'eau. Deux de ces poissons ont été recapturés dans des milieux très semblables c'est-à-dire dans moins de 3 m d'eau, mais au niveau d'une côte rocheuse naturelle. Le plus gros sar (33 cm) a été recapturé à une profondeur avoisinant les 10 m, mais toujours dans un milieu rocheux. Un 4^{ème} poisson, marqué au Barcarès, a été recapturé 29 km plus loin et 17 jours plus tard au niveau du port d'Argelès. Plus précisément, ce poisson de 18 cm a, comme les précédents, été marqué dans moins de 3 m d'eau au niveau d'enrochements côtiers

artificiels posés sur une côte sableuse. La recapture est intervenue bien au sud, sur la digue du port d'Argelès, à quelques dizaines de mètres de la limite nord de la côte rocheuse catalane.

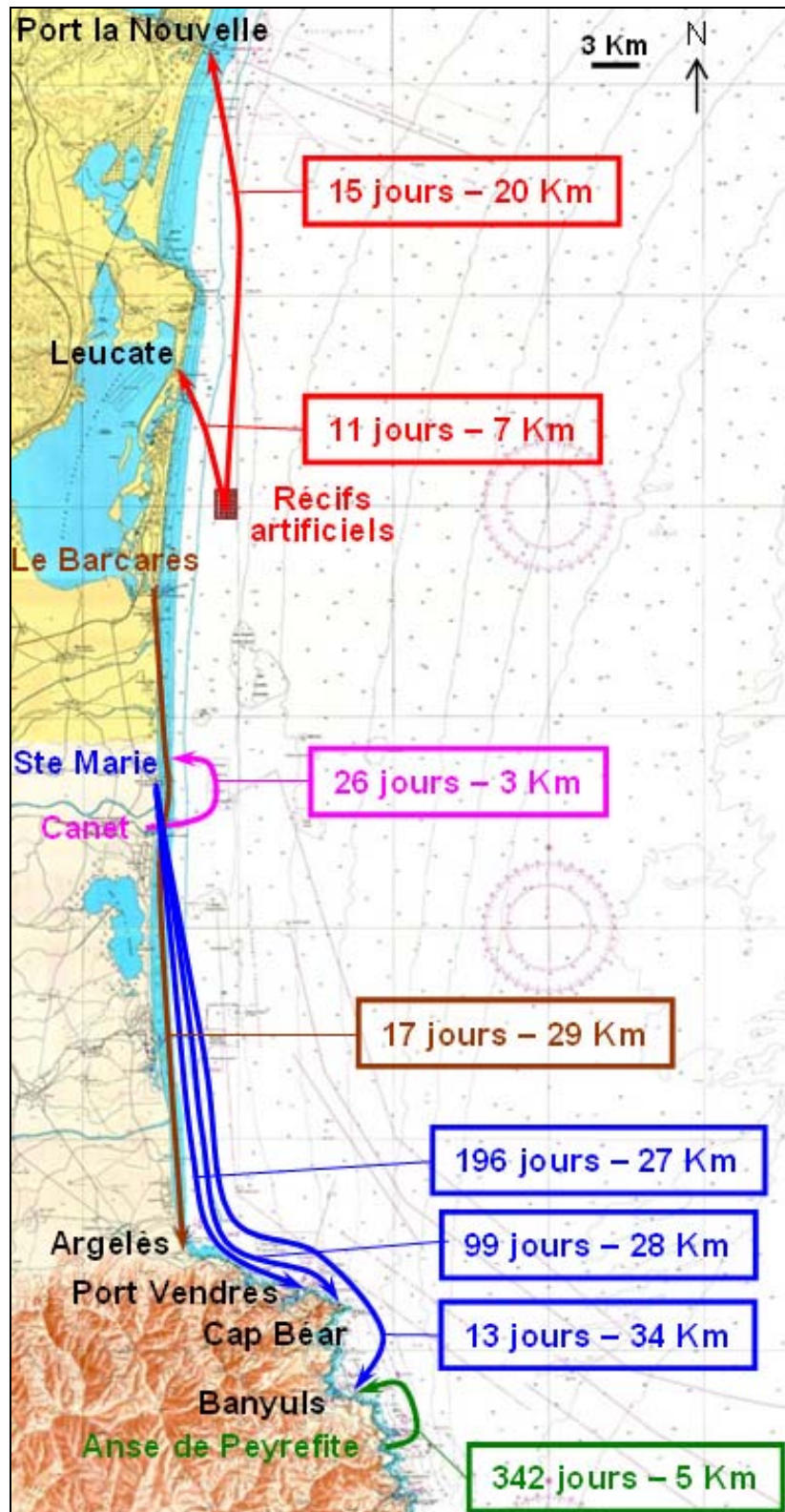


Figure III.16 : Carte de la zone d'étude sur laquelle figurent les 8 poissons recapturés à plus d'un kilomètre de leur lieu de marquage. Le temps entre le marquage et la recapture est donné pour chaque poisson, ainsi que la distance minimale parcourue.

Tous les poissons marqués sur la côte sableuse à la côte et qui ont été recapturés à plus d'1 km de leur lieu de marquage, ont privilégié un déplacement vers le sud. Tous, sauf un poisson de 20 cm marqué sur la digue du port de Canet et recapturé 3 km au nord au niveau des aménagements littoraux de la plage de Sainte Marie, 26 jours après le marquage.

En revanche, il semble étonnant qu'un seul déplacement de plus d'1 km de poissons marqués sur la côte rocheuse ait été observé. En effet, seul un poisson marqué dans l'anse de Peyrefite a été retrouvé 5 km au nord dans le port de Banyuls 342 jours après son marquage. Cependant il faut noter qu'un poisson marqué a été signalé sur la côte rocheuse côté espagnol, aux alentours de Port-Bou. Il a été impossible de récupérer ce poisson, par conséquent, il est impossible de savoir si ce poisson venait de la côte rocheuse ou de la côte sableuse.

Sur les 5 poissons ayant parcouru moins d'un kilomètre, 3 sars ont particulièrement retenu notre attention. Ces sars, de très grosse taille pour deux d'entre eux (39 et 35 cm, très proche de la taille maximum de l'espèce) et de 21 cm pour le troisième, n'ont parcouru que 200 m en 5 jours pour deux d'entre eux et la même distance en 20 jours pour un autre (le plus gros). Comme le montre la figure III.17, ces sars se sont déplacés au sein d'une zone de récifs artificiels, d'un amas chaotique vers un autre, peut être en banc étant donné qu'ils ont été marqués le même jour au même endroit.

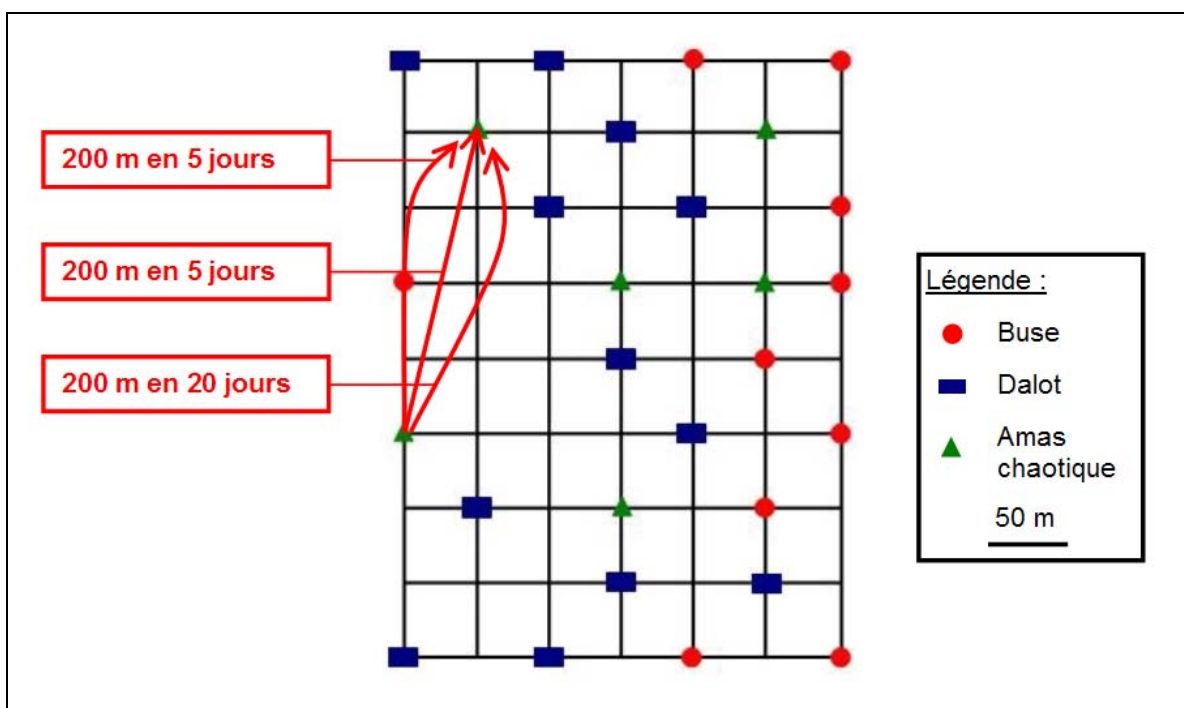


Figure III.17 : Déplacements observés au sein d'une zone de récifs artificiels du Barcarès. La distance minimale parcourue en fonction du temps apparaît dans les cadres rouges.

Les autres déplacements de moins d'1 km, ne semblent pas significatifs, avec un poisson qui s'est déplacé de 800 m le long de la côte rocheuse en deux jours et un second qui a changé de digue en faisant 800 m en 46 jours au niveau du port de Saint Cyprien.

IV-Discussion

Dans un premier temps, la validité de la méthode de marquage utilisée sera discutée. A la suite de ça, nous discuterons quant aux recaptures de sars obtenues puis de la connectivité existant entre les sous-populations de sars communs de la côte catalane française avant de terminer par une synthèse des connaissances acquises grâce à cette campagne de marquage.

IV-1 Validité de la méthode de marquage utilisée

Les campagnes de marquage, restent un travail difficile pour les personnes qui ont participé aux différentes phases : marquages, recaptures et tests en aquarium. Cependant, les résultats qui en ressortent permettent de mieux comprendre le degré de connectivité qui existe entre les différentes sous-populations de sars communs de la côte catalane française, notamment en ce qui concerne le stade adulte.

Lors de la première année de la campagne de marquage, une grande partie de notre temps a été consacrée à la mise au point de la méthode : choix des sites, mise au point de la technique de marquage, optimisation des recaptures, communications auprès des acteurs locaux. Astruch (2005) a participé à la mise au point de la technique de marquage et a montré que celle-ci n'handicapait pas le poisson, tant dans sa croissance que dans son comportement. Les tests de rétention de la marque ont montré que 50 jours après le marquage tous les poissons ont conservé leur marque, ils sont encore 83 % après 100 jours puis un peu moins de la moitié (47 %) après 200 jours. Des résultats du même ordre ont été observés sur une autre espèce de poisson marin (le loup américain *Morone saxatilis*) en Amérique du Nord par Dunning *et al.* (1987). Giacalone *et al.* (2003) ont réalisé le même type d'expérience sur le sar commun, ils ne sont pas allés plus loin que 60 jours pour des problèmes de maintenance, 100% des poissons étaient encore marqués. Par rapport à ce qui a été réalisé précédemment sur d'autres espèces de poissons, les taux de rétention obtenus sont très bons au bout de 100 jours, par contre ils sont beaucoup moins bons après 200 jours (tab. III.6). Cela peut s'expliquer par les différences de comportement entre les différentes espèces de poissons qui ne fréquentent pas du tout le même biotope. Le sar commun est une espèce fréquentant les substrats rocheux et les anfractuosités qui y sont associées. Ils vont s'y faufiler et risquer de perdre la marque en la

coincant sur les parois. De plus la marque est insérée dans les muscles dorsaux, ceux-ci sont très sollicités par la nage, les multiples contractions peuvent contribuer à éjecter la marque. Or le sar commun est un poisson necto-benthique qui passe une grande partie de son temps d'activité à nager.

Tableau III.6 : Revue bibliographique des études sur la rétention des marques de type spaghetti sur des espèces de poissons semblables au sar commun.

Auteurs	Durée	Taux de rétention	Espèce
Buzby et Deegan (1999)	1 an	92%	<i>Micropterus salmoides</i>
Gurtin <i>et al.</i> (1999)	1 an	87%	<i>Esox lucius</i>
Gurtin <i>et al.</i> (1999)	1 an	49%	<i>Thymallus articularis</i>
Dunning <i>et al.</i> (1987)	1 an	43%	<i>Morones saxatilis</i>
Walsh et Winkelman (2002)	45 j	76%	<i>Micropterus sp.</i>
Walsh et Winkelman (2002)	120 j	48%	<i>Micropterus sp.</i>
Giacalone <i>et al.</i> (2003)	60 j	100%	<i>Diplodus sargus</i>
Présente étude	50 j	100%	<i>Diplodus sargus</i>
Présente étude	100 j	83%	<i>Diplodus sargus</i>
Présente étude	200 j	47%	<i>Diplodus sargus</i>

Cent jours après le marquage, nous pouvons nous attendre à une chute du nombre des recaptures pour un même effort de recapture. Or, cet effort est inconstant et difficilement quantifiable tant les acteurs susceptibles de recapter des poissons sont nombreux et divers. Cette étude aura donc permis de savoir que cette marque tenait assez longtemps sur le sar commun pour mener une étude sur une année et laisser le temps au poisson de se déplacer.

La campagne de marquage s'est déroulée sur deux années (2005 et 2006), 597 sars communs adultes de tailles comprises entre 13 et 39 cm ont été marqués. Tous ces poissons ont survécu à la capture et au marquage puisque aucune mortalité n'a été observée, que ce soit lors des marquages ou après lors des plongées de contrôle. La technique utilisée permet de relâcher des poissons dans de bonnes conditions en limitant le stress et la mortalité. Lors de marquage avec la même marque et la même espèce de poisson, D'Anna *et al.* (2004) ont observé un taux de mortalité post marquage de 4,5 %. Giacalone *et al.* (2003) estiment que la mortalité due au marquage de sars communs est de 15 % dans le cadre de leur étude. Notre technique de marquage ne cause pas de mortalité, mais elle permet de marquer un nombre limité de poissons en comparaison à ce qu'ont marqué D'Anna *et al.* (2004). En effet, ils ont marqué et relâché 7000 poissons. Il est vrai qu'ils ont travaillé sur des poissons d'aquaculture, solution

qui n'a pas été retenue dans cette étude. Il aurait été aberrant de marquer des poissons issus de l'aquaculture alors que le but de l'étude est d'évaluer un comportement migratoire naturel des sars nés sur les zones d'aménagements littoraux. Ainsi pour capturer des poissons sauvages dans de bonnes conditions de survie et dans les milieux qui nous intéressaient, la méthode de capture de nuit en plongée en scaphandre autonome semble la plus appropriée. Néanmoins la capture à l'aide de grandes nasses (2 m de côté) mériterait d'être tentée, car sur des petits fonds elle ne devrait pas causer de blessures physiques aux poissons et permettrait d'augmenter le nombre de prises.

IV-2 Les recaptures de sars marqués

Sur les 597 poissons marqués, 86 ont été recapturés, soit 14,4 % des poissons préalablement marqués. Ce taux de recapture est supérieur à ce que l'on trouve généralement dans la littérature. D'Anna *et al.* (2004) ont récupéré 8,2 % des sars communs qu'ils ont marqués ; toujours sur la même espèce, Santos *et al.* (2006) obtiennent un taux de recapture de 4,5 %. Pour d'autres espèces comme le merlu (*Merluccius merluccius*), ce taux peut être bien plus bas. De Pontual *et al.* (2003) n'ont récupéré que 2,7 % des poissons qu'ils ont marqués. Pour la plie (*Pleuronectes platessa*), Metcalfe et Arnold (1997) obtiennent 12 % de recapture. En tout état de cause, le taux de recapture dépend de plusieurs facteurs, notamment l'effort de recapture mis en place. Le mode de vie et la mobilité de l'espèce ciblée sont aussi primordiaux. En effet, les recaptures d'un poisson benthique vivant près de la côte sont plus aisées que celles d'un poisson pélagique à fortes capacités de déplacements. La phase de recapture est donc très aléatoire car elle dépend principalement des acteurs locaux. Dans le but d'optimiser le nombre de recaptures, nous avons choisi d'aller recapturer des poissons marqués en plongée sous-marine, en plus des recaptures obtenues par les pêcheurs. Cela s'est avéré extrêmement efficace puisque près de 85 % des recaptures obtenues sont dues à des observations réalisées en plongée sous-marine. Les pêcheurs plaisanciers, c'est-à-dire à la canne à pêche, ont recapturé 10 % des sars marqués, les 5 % restant l'ont été par les chasseurs sous-marins et les pêcheurs professionnels. La faible part de la pêche professionnelle dans les recaptures (2,3 %) est surprenante. En effet, une grande partie de nos efforts de communication ont été dirigés vers ces acteurs de la pêche locale, espérant qu'ils ramènent beaucoup plus de poissons que ceux qu'ils ont fourni au final (deux poissons marqués). Cela représente quatre fois moins de poissons recapturés que ce qui l'a été par les pêcheurs plaisanciers (huit poissons). Bien entendu, il n'est pas imaginable de conclure que les pêcheurs plaisanciers pêchent quatre fois plus de sars sur la côte catalane française que les

pêcheurs professionnels. Effectivement l'effort de pêche n'est pas le même, la zone de pêche non plus ; les pêcheurs plaisanciers pêchant majoritairement dans de très petits fonds, alors que les pêcheurs professionnels pêchent plutôt au-delà de 10 m de profondeur. Pour expliquer ce faible taux de recaptures de la part des pêcheurs professionnels, l'hypothèse que la marque n'a pas été assez visible en rapport avec leur activité peut être avancée. En effet, lorsqu'un pêcheur plaisancier capture un poisson, il l'observe minutieusement. Au contraire, les pêcheurs professionnels capturent beaucoup plus de poissons par pêcheur, ils n'ont pas le temps d'observer chaque poisson, surtout lorsque les captures sont importantes. Ainsi un poisson marqué ne sera pas forcément repéré par le pêcheur. Mais dans ce cas là, il est très probable que le poisson soit repéré ensuite par les intermédiaires (criée, mareyeurs, consommateurs). Ainsi l'hypothèse que les poissons marqués recapturés par les pêcheurs professionnels ne soient pas repérés par ces derniers ou toutes les autres personnes qui manipuleront les poissons après eux peut difficilement être acceptée. Même si l'hypothèse de l'arrachage de la marque lorsque le poisson se maille dans le filet est tout à fait plausible, il est aussi possible d'admettre que les pêcheurs plaisanciers ramènent plus de sars parce qu'ils pêchent dans des zones plus riches en sars communs. Néanmoins les observations effectuées durant le chapitre précédant tendent à prouver le contraire avec des densités de sars communs très fortes sur des zones situées sur une vingtaine de mètres de profondeur (récifs artificiels). Les pêches expérimentales réalisées dans le cadre du suivi scientifique des récifs artificiels n'ont pas permis de capturer beaucoup de sars communs malgré leur présence signalée lors des comptages visuels en plongée (Lenfant *et al.*, 2007). Cette différence observée dans les recaptures pourrait être due aux engins de pêche différents utilisés par les pêcheurs professionnels d'une part et par les pêcheurs plaisanciers d'autre part. Les sars communs se laisseraient plus facilement attraper à la ligne qu'au filet.

Les recaptures que nous avons effectuées en plongée sous-marine ont permis d'augmenter singulièrement le taux de recapture, néanmoins tous les poissons qui se sont déplacés sur plus d'un kilomètre ont été recapturés par des pêcheurs professionnels et plaisanciers. Cela peut s'expliquer assez facilement car les plongées avaient lieu sur les zones de marquage, généralement les poissons qui y étaient observés avaient été marqués sur la même zone, les poissons s'étant déplacés étaient recapturés sur des zones que nous ne prospectons pas en plongée.

Pour une station de la réserve marine de Cerbère-Banyuls (anse de Peyrefite), un taux de recapture de 77 % a été obtenu, c'est-à-dire 47 poissons recapturés sur 61 marqués et un seul déplacement observé. Il est vrai que ce site est celui où le plus grand nombre de plongées de

recapture a été organisé. De plus l'effet réserve aidant, les sars sont très peu farouches et se laissent facilement approcher, ainsi les poissons marqués sont aisément repérables. Pour l'autre station de marquage de la côte rocheuse, cette fois située hors réserve, le taux de recapture obtenu est beaucoup faible, 10 %. Contrairement à la station de la réserve marine, les sars hors réserve sont beaucoup plus farouches et difficilement approchables et par conséquent identifiables. Ce résultat montre que les poissons adultes, du moins pour cette espèce, ont tendance à rester dans la réserve marine. Celle-ci deviendrait une zone de concentration de cette espèce qu'y s'y sédentarise. Des résultats similaires ont été obtenus sur le mérrou brun (*Epinephelus marginatus*) dans la même réserve marine (Lenfant *et al.*, 2003 ; Astruch *et al.*, 2007).

Pour les aménagements littoraux de la côte sableuse, les taux de recaptures sont assez variables d'une station à l'autre. Pour certaines, les taux sont semblables à ceux qui ont été observés sur la zone hors réserve de la côte rocheuse. Pour d'autres, ces taux sont extrêmement bas, malgré un effort, somme toute, assez proche. Cela montre que selon les aménagements littoraux, les sars y seraient plus ou moins sédentaires d'un jour sur l'autre. Cela peut être appuyé par des observations réalisées notamment sur la digue du grau de l'étang de Canet, où certaines nuits plusieurs dizaines de sars pouvaient être observés alors que le lendemain seules quelques unités ont été comptabilisées. Lors du chapitre précédent, il a été montré qu'il n'y avait pas de sar commun observé durant l'hiver sur les aménagements littoraux, mais dès que les beaux jours reviennent les densités de sars deviennent équivalentes à celles observées sur la côte rocheuse. Ces aménagements sont donc des habitats temporaires pour les sars communs adultes, ils n'y passeraient qu'une partie de l'année. Sur certains, les sars communs semblent plutôt sédentaires durant la période estivale (Ste Marie, Canet en Roussillon) alors que d'autres servent plutôt de lieu de passage (une ou deux nuits) (St Cyprien, Grau de Canet en Roussillon). De telles conclusions ne sont pas possibles avec de simples mesures de densités car celles-ci peuvent être semblables d'un jour sur l'autre du fait du renouvellement des sars, par exemple un banc de poisson quitte la zone, alors qu'un autre s'y arrête. Or si des poissons sont marqués un jour et non réobservés le lendemain ou les jours suivants, ceci montre bien qu'ils se sont déplacés vers des zones adjacentes alors que les densités n'ont guère variées.

IV-3 La connectivité des sars adultes sur la côte catalane française.

Sur les 86 poissons recapturés, 13 se sont déplacés. En ce qui concerne les poissons marqués sur la côte rocheuse, seulement deux se sont déplacés, un hors réserve et un dans la réserve

marine. Les distances sont assez faibles, 800 m pour le premier et 5 km pour le second. Le déplacement du poisson marqué dans la réserve marine est tout de même intéressant car ce poisson est sorti de la réserve marine et a été recapturé au niveau du port de Banyuls. Bien évidemment, nous ne pouvons tirer que peu de conclusion sur l'observation d'un seul individu.

Les déplacements observés sur la côte rocheuse semblent assez anecdotiques, en comparaison de ce qui se passe sur les aménagements littoraux et les récifs artificiels de la côte sableuse. En effet, pour ces derniers, sept poissons se sont déplacés sur plus d'1 km. Deux types de déplacements ont été observés, vers le sud et vers le nord. Quatre poissons se sont déplacés vers le sud, trois depuis Ste Marie et un depuis Le Barcarès. Ces poissons ont parcouru une trentaine de kilomètres, pour des durées comprises entre 13 jours et près de 200 jours. Trois d'entre eux ont été recapturés sur des sites naturels de la côte rocheuse alors qu'ils avaient été marqués sur des aménagements artificiels de la côte sableuse. Le quatrième, lui aussi marqué sur un aménagement littoral, a été recapturé aux portes de la côte rocheuse au niveau d'Argelès sur mer. Vu son origine et la direction qu'il prenait, rien n'empêche de penser qu'il se dirigeait vers la côte rocheuse. Ces 4 poissons ont en commun d'avoir été marqués sur des aménagements littoraux, pas forcément la même année, et qu'ils ont parcouru une trentaine de kilomètres pour se retrouver sur la côte rocheuse. Pour le poisson recapturé 13 jours après avoir été marqué, 30 km plus loin, il n'est guère envisageable qu'il ait parcouru beaucoup plus de kilomètres durant cette période relativement courte. Par contre, le poisson qui a parcouru le même nombre de kilomètre mais en 200 jours, a très bien pu effectuer un trajet beaucoup plus long. En effet, seul les lieux et dates de marquage et de recapture sont connus, mais aucune information n'est disponible sur les trajets potentiels effectués entre les deux instants. Cela met clairement en évidence un des problèmes de ce type de marquage. En effet, Metcalfe et Arnold (1997) ont montré que des plies marquées avec des marques spaghettis du même type que celles utilisées dans cette étude mais aussi avec des marques électroniques capables d'indiquer le trajet exact des poissons, montraient des histoires de vie extrêmement différentes. D'après les marquages à l'aide de marques directes, ces poissons auraient parcourus 88 km alors que les marques électroniques révèlent que 900 km ont été parcourus. Pour en revenir aux quatre poissons de notre étude, la seule information certaine est que ces poissons ont quitté des aménagements littoraux de la côte sableuse pour des sites naturels de la côte rocheuse.

Par ailleurs, sur ces quatre sars communs, trois mesuraient entre 16 et 18 cm, cela correspondrait à des poissons entrant dans leur deuxième année, voire leur troisième année de

vie selon Lenfant (1998). Ainsi, ces sars arrivés à l'état de larves puis de juvéniles sur les aménagements littoraux de la côte sableuse, passeraient la première année de leur vie à grandir sur ces sites, voire une seconde puis quitteraient le site vers les zones naturelles de la côte rocheuse pour certains, ou de la côte sableuse pour d'autres. C'est ce qui a d'ailleurs pu être observé au niveau des récifs artificiels du Barcarès. En effet, lors des comptages effectués dans le cadre du suivi scientifique de ces récifs, la présence de très jeunes sars communs, de taille inférieure à 15 cm (un an environ) a été remarquée à plusieurs reprises. Or ces récifs sont situés sur 20 m de profondeur, à près de 2 km de la côte et donc relativement loin des zones potentielles de nourricerie des juvéniles de sars communs. Lorsque les sars communs ont atteint cette taille de 15 cm environ, ils sont donc capables d'effectuer des déplacements vers des zones profondes, mais aussi vers des zones assez lointaines, c'est le cas du sar de 16 cm marqué à Ste Marie sur un brise-lame et retrouvé 13 jours plus tard 34 km plus loin à Banyuls sur la côte rocheuse. Trois des quatre sars étaient de petite taille (moins de 18 cm), le quatrième en revanche est beaucoup plus gros, 33 cm, c'est-à-dire qu'il a au moins 10 ans selon des études de croissance réalisée sur cette espèce (Lenfant, 1998 ; Abecasis *et al.*, 2008). L'origine de ce sar est difficile à définir étant donné son âge et les capacités de déplacement qui lui sont attribuées. Le fait de l'avoir marqué permet de dire qu'à un moment de sa vie, il était sur un enrochement côtier artificiel et 99 jours plus tard il était sur la côte rocheuse par 10 m de profondeur, au moins 28 km plus loin de son lieu de marquage. Par contre, pour les sars de 16 à 18 cm, il paraît possible d'imaginer qu'avant de se déplacer vers la côte rocheuse, ils étaient sédentaires au niveau des aménagements littoraux du fait de leur jeune âge. Bien entendu, on ne peut pas exclure que lorsqu'ils ont été marqués, ces sars avaient déjà commencé leur déplacement depuis des aménagements littoraux adjacents. Un changement d'enrochement artificiel a été observé pour un sar marqué à Canet et recapturé à Ste Marie, soit 3 km parcourus en 26 jours. Un autre changement de digue a été observé au niveau de St Cyprien, le poisson aurait parcouru 800 m en 46 jours. Ces déplacements sont tout de même anecdotiques par rapport aux déplacements relatés précédemment. Néanmoins, il faut garder à l'esprit qu'entre temps ils ont pu parcourir beaucoup plus de distance comme le montre Metcalfe et Arnold (1997) lors de leur étude sur les plies. Alors que Harmelin-Vivien *et al.* (1995) observaient une transition assez lente entre l'habitat juvénile et l'habitat adulte permettant d'éviter la compétition intra-spécifique, dans cette étude une transition qui semble être beaucoup plus brutale est observée. Ceci peut être expliqué par la fragmentation de l'habitat et donc des distances importantes qui séparent habitats juvéniles et habitats adultes.

En résumé, les sars communs des aménagements littoraux vont se déplacer car ils ne peuvent y passer l'hiver et doivent trouver des conditions plus stables de température notamment (Fisher *et al.*, 1987 ; Leboulleux, 1992 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1995). Ils ne peuvent pas non plus s'y reproduire, la reproduction a lieu sur des zones plus profondes (Leboulleux, 1992). Ainsi les déplacements observés sont soit dirigés vers des zones plus profondes (récifs artificiels, roches naturelles isolées), soit vers la côte rocheuse. Les aménagements littoraux peuvent alors être considérés comme des nourriceries pour les juvéniles et des habitats transitoires pour les adultes. Ces derniers vont s'y nourrir, s'y reposer quelques nuits et continuer leur chemin vers d'autres habitats de reproduction, de refuge ou de nutrition.

Le deuxième type de déplacements observés au niveau des sars communs marqués sur la côte sableuse sont des déplacements dirigés vers le nord. Cette fois-ci les sars n'ont pas été marqués sur des aménagements littoraux mais sur les récifs artificiels du Barcarès. Cinq poissons se sont déplacés. Trois poissons de tailles comprises entre 21 cm et 38,5 cm (5 et 20 ans) ne se sont déplacés que de 200 m en 5 jours entre deux zones de récifs artificiels. Les deux autres poissons ont, quant à eux, quitté les récifs artificiels pour des zones plus côtières. Le premier a été retrouvé sur un aménagement littoral, 7 km plus au nord. Le second a aussi été retrouvé au nord, au-delà du cap Leucate au niveau de Port la Nouvelle, dans quelques mètres d'eau. Ces deux poissons ont une taille semblable, 21 et 22 cm, par conséquent âgés d'environ 5 à 6 ans. Ainsi contrairement à ce qui a été observé précédemment avec des déplacements dirigés vers la côte rocheuse, cette fois-ci les déplacements semblent aussi orientés, mais vers le nord et le cap Leucate voire au-delà.

Les résultats de cette étude montrent que les sars de la côte sableuse sont extrêmement mobiles, cela est sans doute en rapport avec un habitat très fragmenté. Les poissons vont alors être obligés de se déplacer pour se nourrir et pour se reproduire notamment. Le fait que des poissons soient plus mobiles en milieu fragmenté qu'en milieu non fragmenté n'a pas encore été montré chez les poissons. Cependant des exemples en milieu terrestre ont été observés. En effet, certains papillons sont capables d'avoir une grande mobilité lorsque leur habitat est fragmenté afin de se procurer des ressources alimentaires mais aussi reproductives. Lorsque les ressources ne sont pas dispersées, donc dans des habitats continus, ces mêmes papillons sont très peu mobiles (Merckx *et al.*, 2003). Cette mobilité des sars de la côte sableuse s'oppose à la relative sédentarité des sars de la côte rocheuse où, sur 111 poissons marqués et 52 recapturés, seulement deux déplacements ont été observés, un de moins d'1 km et l'autre de 5 km. Aucun échange avec les systèmes adjacents n'a été constaté, que ce soit au sud ou au nord. Néanmoins il semblerait que des sars marqués ont été observés en Espagne sur la côte

rocheuse, mais tout cela reste hypothétique car ces poissons auraient été aperçus par des plongeurs et non par nos soins.

Alors que des déplacements de sars sont observés depuis la côte sableuse et ses aménagements littoraux vers la côte rocheuse, le contraire n'a pas été observé. Les poissons qui quittent la côte sableuse pour la côte rocheuse, ne semblent pas revenir à leur point d'origine, même s'il a pu y avoir des déplacements entre le marquage et la recapture non observés comme le cas des déplacements de plies observées par Metcalfe et Arnold (1997). De plus, et cela semble primordial en termes de gestion, les déplacements auraient lieu préférentiellement en automne, du moins durant les mois de septembre et octobre. Il semblerait que les mois d'avril et de mai soient aussi propices aux déplacements des sars, néanmoins étant donné que les sars recapturés à cette époque ont été marqués durant l'été précédent, soit environ 200 jours avant, il est normal d'en recapturer moins qu'à l'automne, étant donné les résultats obtenus lors des tests de rétention de la marque. Ainsi, le nombre de recaptures faites en avril-mai peut être facilement multiplié par deux. En revanche, durant les mois où les recaptures sont les plus nombreuses (juin, juillet et août), très peu de déplacements sont observés. Durant l'hiver, aucun déplacement n'a été observé, vraisemblablement à cause de la baisse d'activité des pêcheurs et des poissons à cette époque. Pourquoi, les sars communs semblent se déplacer préférentiellement au printemps et à l'automne ? Nous pouvons émettre ici deux hypothèses distinctes. Tout d'abord, les poissons qui se sont déplacés, l'ont fait depuis des aménagements littoraux pour la plupart. Ces aménagements sont peu profonds, or le sar commun adulte passe l'hiver plus en profondeur (Fisher *et al.*, 1987 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1995). Dans ce cas, il est possible d'imaginer que les poissons vont passer l'été à se nourrir sur ces enrochements car la nourriture y est abondante, puis avant que les mauvaises conditions environnementales arrivent, ils vont quitter la zone pour des sites plus protégés, en profondeur notamment. Astruch *et al.* (2007) ont observé ce type de phénomène chez des mérours bruns suivis par télémétrie acoustique. Juste avant qu'une tempête vienne s'abattre sur la zone, les mérours disparaissent, soit plus en profondeur, soit ils se cachent. Le même comportement a été mis en évidence chez des requins à pointes noires (*Carcharhinus limbatus*) où avant l'arrivée de tempêtes tropicales, les requins sont capables de migrer en profondeur en détectant la baisse des pressions atmosphériques annonciatrices de ces épisodes météorologiques (Heupel *et al.*, 2003). En prévision de mauvaises conditions, les poissons peuvent être capables de se déplacer vers des zones plus propices. Les déplacements observés au printemps doivent avoir un lien avec la reproduction qui a lieu en avril, les poissons s'étant reproduits rejoignent des lieux de

nutrition. De tels comportements ont pu être décrits sur d'autres espèces de poissons, notamment d'eau douce où l'augmentation printanière de température induit un déplacement des poissons vers des zones agrégatives de reproduction (Guy *et al.*, 1992 ; Jeffrey et Edds, 1999).

IV-4 Synthèse

Finalement cette campagne de marquage recapture a été très fastidieuse à mettre en place avec d'innombrables incertitudes liées à ce type d'étude. Même si elle n'a pas permis de quantifier les échanges qui existent entre les différents systèmes, nous avons pu clairement mettre en évidence que des sars adultes quittaient les aménagements littoraux de la côte sableuse pour la côte rocheuse et ses habitats naturels. Par conséquent, il existe une connectivité entre les habitats de la côte catalane française au niveau de la phase adulte.

De plus, les déplacements des sars des récifs artificiels vers des zones plus au nord appuient l'hypothèse émise dans le chapitre précédent, à savoir qu'il y aurait un pool important de géniteurs présents au niveau du cap Leucate et de ses alentours qui alimenterait en larves tous les aménagements littoraux de la côte sableuse et une partie de la côte rocheuse. Il existerait donc un retour d'individus par la phase adulte vers le nord pour alimenter ce pool de géniteurs potentiels.

Chauvet *et al.* (1992) avaient observé le déplacement d'un loup depuis la lagune de Lapalme au nord du cap Leucate vers Argelès proche de la côte rocheuse catalane, ainsi que le déplacement d'un muge doré *Liza aurata* depuis Canet sur la côte sableuse vers Argelès. Ces deux espèces sont assez ubiquistes, très fréquentes dans les lagunes, mais aussi sur les zones sableuses et rocheuses. Elles sont par ailleurs réputées comme étant très mobiles. Néanmoins cette étude avait quand même permis de suggérer une certaine connectivité au sein de cette côte catalane, entre les zones sableuses et rocheuses. Connectivité qui ne peut être niée dorénavant et qui pourrait en partie expliquer le maintien des populations de sars communs de la côte rocheuse catalane avec, chaque année, un flux de jeunes sars adultes quittant les aménagements littoraux de la côte sableuse pour la côte rocheuse naturelle. Ce flux ayant principalement lieu durant les mois de septembre et d'octobre, ainsi qu'au printemps. Nous pouvons essayer de quantifier ces déplacements et le nombre de poissons intégrant la côte rocheuse. Effectivement, 34 sars marqués sur la côte sableuse ont été recapturés, 11 se sont déplacés (32 %). Sur ces 11 poissons, 4 ont migré vers la côte rocheuse, c'est-à-dire 12 % des poissons recapturés. En tenant compte du taux de rétention de la marque, nous pouvons imaginer que ce taux de migration est plus élevé et plus proche de 20 %, l'objet du chapitre

suisant sera d'affiner ces résultats. Etant donné le nombre de juvéniles, mais aussi d'adultes présents sur les aménagements littoraux de la côte sableuse, il est possible que le nombre de poissons faisant le trajet côte sableuse → côte rocheuse soit non négligeable et contribue au maintien des populations de la côte rocheuse, voire de la biodiversité en général.

La figure III.18 permet de synthétiser les résultats obtenus dans ce chapitre. Il existerait bien trois sous-populations de sars sur la côte catalane française :

- une sous-population côte rocheuse,
- une sous-population regroupant les sars des aménagements littoraux de la côte sableuse et
- une troisième sous-population qui ne semble pas être celle à laquelle nous pensions au commencement de ce travail, la lagune ; mais plutôt le complexe cap Leucate – récifs artificiels.

Il existerait des échanges entre ces trois sous-populations, celle des aménagements littoraux de la côte sableuse exporterait une grande quantité de sars, notamment vers la côte rocheuse où près de 20 % des sars adultes se dirigeraient. Ces sars sont principalement des jeunes adultes de un à deux ans, probablement issus d'une installation sur ces aménagements littoraux. Des sars de plus grandes tailles quittent aussi les aménagements littoraux de la côte sableuse pour la côte rocheuse. Il se pourrait d'ailleurs que ces sars de grandes tailles proviennent en fait de la sous-population de cap Leucate qui, en se dirigeant vers la côte rocheuse, pourraient faire des arrêts sur les aménagements littoraux pour se nourrir et dormir. Des sars de cap Leucate se déplacent aussi vers le nord, peut être pour alimenter une autre sous-population. Sinon, cela indiquerait que la sous-population de cap Leucate pourrait s'étendre bien plus au nord que le simple cap Leucate. En revanche, la côte rocheuse reçoit des poissons depuis la côte sableuse, mais elle n'en n'exporte pas, si ce n'est peut être vers le sud en Espagne.

Les sars communs de cap Leucate et des aménagements littoraux de la côte sableuse sont très mobiles dans leurs recherches d'habitats du fait notamment de sa fragmentation. Dans un habitat plutôt continu et vaste comme la côte rocheuse, les sars apparaissent bien plus sédentaires, à fortiori dans la réserve marine. Même si ce travail de doctorat n'a pas pour but de parler du fonctionnement des aires marines protégées, la sédentarité des poissons observée dans la réserve marine de Cerbère-Banyuls emmène à discuter ce sujet. En effet, les aires marines protégées sont généralement installées dans un but de protection d'un ensemble d'écosystèmes, mais aussi dans un but de repeuplement des zones adjacentes non protégées par une exportation de biomasse depuis l'aire marine protégée vers l'extérieur (Claudet et

Pelletier, 2004 ; Claudet, 2006 ; Stelzenmuller, 2007). Il est vrai que dans le chapitre précédent, nous avons constaté que la réserve marine de Cerbère-Banyuls pourrait exporter une grande quantité de larves vers l'extérieur de l'aire marine protégée, notamment vers la côte espagnole comme le montre Roussel (2007). En revanche les expériences de marquage montrent que les sars adultes ne sont pas exportés ou très peu. Un poisson sur 47 recapturé a quitté la réserve marine pour une zone adjacente très proche (moins d'un kilomètre). Bien entendu, comme précisé précédemment, il est possible qu'entre le marquage et la recapture les poissons se soient déplacés. Néanmoins cette hypothèse est peu probable. D'après nos observations, les sars marqués semblaient fréquenter continuellement la zone de marquage. Il faut aussi rappeler que le comportement des poissons dans ce site (anse de Peyrefite) peut être modifié du fait de la présence d'un sentier sous-marin et de la grande fréquentation touristique qu'il induit. Les sars communs de toutes tailles sont particulièrement attirés par les piétinements des baigneurs susceptibles de mettre à découvert d'éventuelles proies. Cela pourrait accentuer la sédentarisation des poissons. D'où l'intérêt une nouvelle fois de réaliser des marquages à l'aide de marques électroniques ou acoustique, dans la même zone mais aussi des zones moins fréquentées par les baigneurs. Cela permettrait de valider ou non l'hypothèse émise quant à la non exportation de poissons adultes depuis les aires marines protégées.

Le chapitre précédent avait permis de montrer que les aménagements littoraux de la côte sableuse avaient substitué le rôle de nourricerie aux lagunes. Nous constatons désormais qu'ils contribuent aussi au maintien des populations de sars de la côte rocheuse, avec près de 20 % des sars adultes qui vont y migrer. Il apparaît désormais indispensable de mettre en place un plan de gestion des aménagements littoraux de la côte sableuse afin de préserver les poissons qui, à un moment donné, iront intégrer les populations de la côte rocheuse. Les idées de gestion que nous pouvons proposer seront détaillées dans le dernier chapitre de ce travail. Lors de cette étude de marquage, les hypothèses émises se basent sur peu de poissons recapturés et s'étant déplacés, c'est pour cela que nous allons dans le chapitre suivant essayer de conforter nos résultats par l'utilisation d'une technique complémentaire, la microanalyse chimique des otolithes.

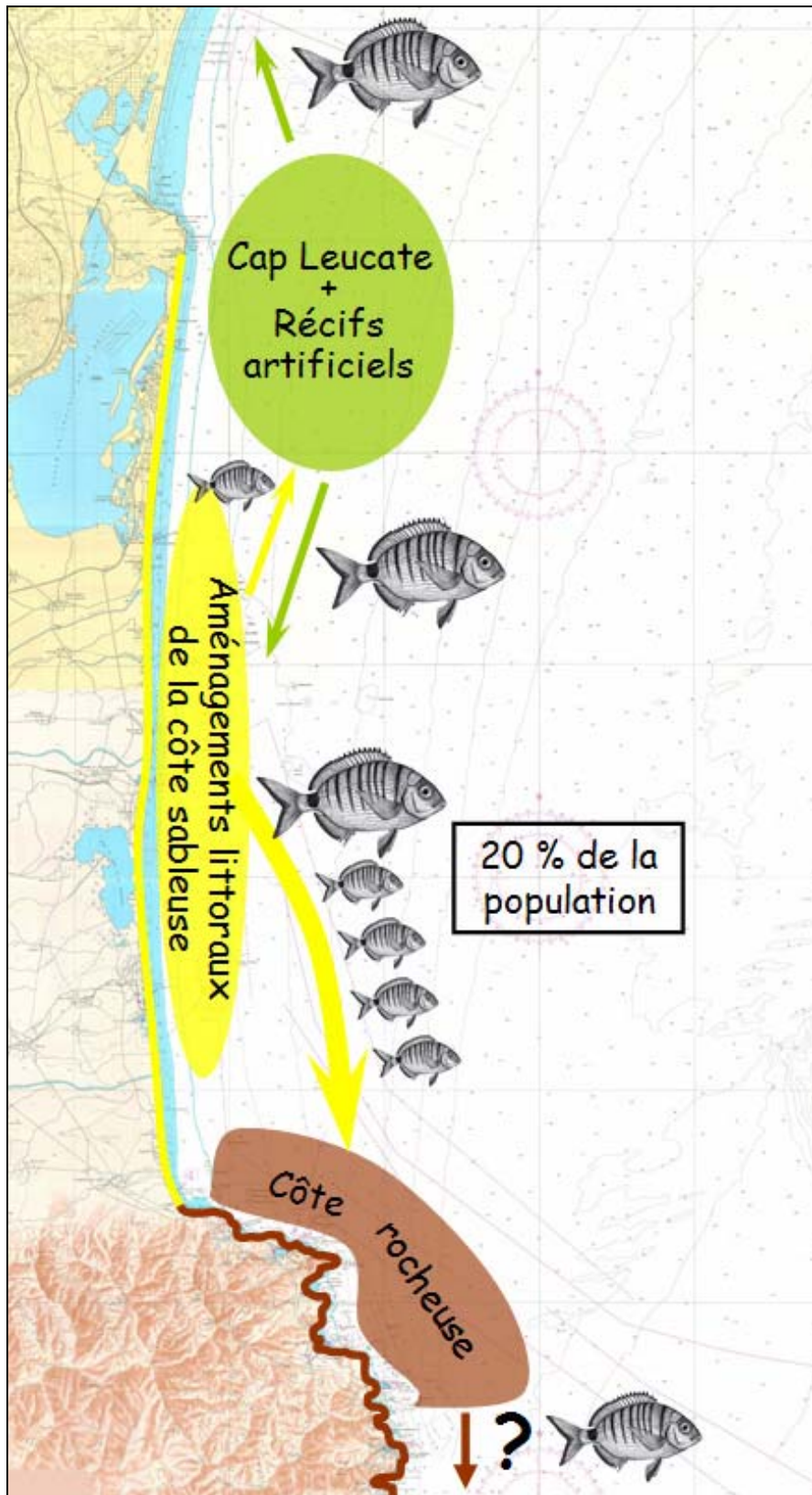


Figure III.18 : Schéma présentant la connectivité entre trois sous-populations de sars communs de la côte catalane française, en ce qui concerne la phase adulte. Les flèches indiquent les échanges, leur épaisseur l'intensité de ces échanges. La taille des poissons indique s'il s'agit principalement de jeunes adultes, ou d'adultes plus âgés.

Chapitre IV : La microanalyse chimique des otolithes, un outil d'identification des nourriceries.

I- Objectifs et hypothèses de travail

Nous avons vu dans les chapitres précédents que les enrochements côtiers de la côte sableuse s'étaient substitués à la lagune dans le rôle de nourricerie et que le nombre de juvéniles était considérable par rapport à ce que nous avons observé sur les zones naturelles de la côte rocheuse. Pour expliquer cette différence, nous avons alors émis l'hypothèse d'une connectivité entre la côte rocheuse, les aménagements littoraux de la côte sableuse et le cap Leucate, cette connectivité se réalisant lors de la phase larvaire. Par la suite, nous avons aussi mis en évidence une connectivité lors de la phase adulte avec près de 20 % des poissons adultes originaires des enrochements artificiels qui rejoindraient la côte rocheuse lorsqu'ils sont âgés d'un à deux ans. Nous avons aussi identifié une sous-population de sars au niveau du cap Leucate, incluant les récifs artificiels du Barcarès.

Ainsi, l'objectif principal de ce chapitre est de pouvoir identifier une ou plusieurs nourriceries sur la côte catalane française. Cette identification doit nous servir à estimer la part de chaque nourricerie dans la composition des populations adultes présentes sur cette zone et d'affiner le taux de migration existant entre les aménagements littoraux de la côte sableuse et la côte rocheuse.

C'est à partir de l'étude des otolithes des poissons (fig. IV.1) que nous tenterons d'apporter des réponses à cette question. Les otolithes sont connus depuis longtemps pour leur utilisation en tant qu'estimateurs de l'âge des poissons osseux (Reibish, 1899). Au cours de ces dernières années, leur intérêt s'est encore accru. Ces concrétions calcaires sont apparues comme étant de véritables "boîtes noires" où s'inscrivent non seulement l'âge mais aussi tous les événements marquants de la vie d'un individu (reproduction, stress, etc...) (Baillon, 1992, Lecomte-Finiger, 1992). L'otolithe croît par apposition d'un nouveau matériel sur sa surface. Ce phénomène cyclique, fonction du métabolisme du calcium et de la synthèse des acides aminés, conduit à la formation de microzonations composées de deux parties :

- une zone d'accrétion large, riche en cristaux de carbonate de calcium (CaCO_3) orientés radialement et
- une zone "de discontinuité" étroite et organique, composée de fibres épaisses de protéines (otoline).

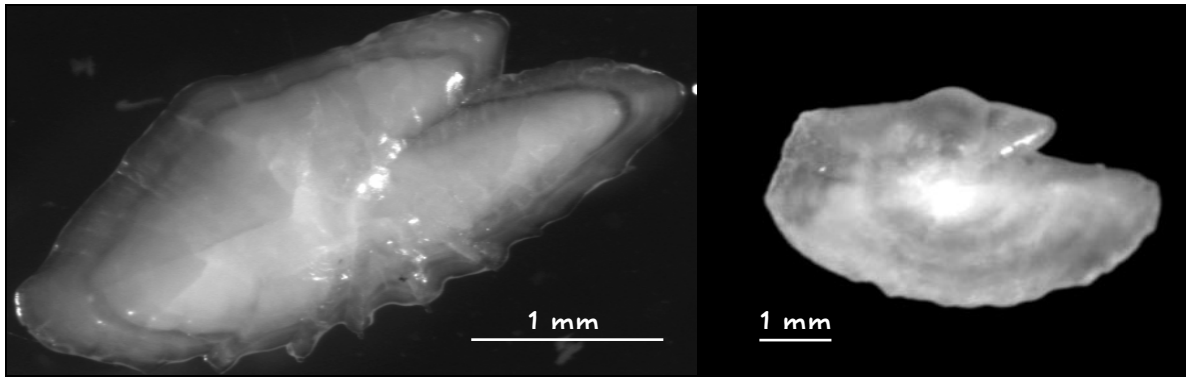


Figure IV.1 : Photographies d'otolithes (*sagittae* droites) observés à la loupe binoculaire, à gauche un otolithe d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) de deux ans ; à droite un otolithe de sar commun (*D. sargus*) de moins de un an. Les deux otolithes mesurent 4 mm de long.

Les otolithes sont présents dans l'oreille interne des poissons osseux (Osteichthyens), juste à l'arrière de l'encéphale. Ce sont des organes d'équilibration qui permettent la réception de stimuli telles que l'accélération angulaire, la pression, la gravité. Ils se présentent sous la forme classique de trois paires de concrétions calcaires : la *sagitta*, le *lapillus* et l'*asteriscus*. La *sagitta*, la plus grande des trois, est désignée ici sous le terme général d'otolithe. Elle évolue morphologiquement et en taille au cours de la croissance (Lecomte-Finiger, 1992).

Les otolithes sont un des marqueurs chronologiques les plus fiables dans le monde animal, car ils permettent d'estimer l'âge et la croissance à une échelle tant quotidienne qu'annuelle (Campana et Thorrold, 2001).

Même si l'otolithe est en grande partie constitué de cristaux d'aragonite (CaCO_3), ceux-ci baignent dans une matrice protéique formée à partir du sac otique entourant l'otolithe. Dans des cas exceptionnels, l'aragonite peut être remplacée par de la vaterite et plus rarement de la calcite. Cela est rencontré en cas de stress externe du poisson (augmentation violente de la température, baisse du taux en O_2 dissout, etc.). Mais au sein des cristaux d'aragonite eux-mêmes, il peut y avoir une substitution des ions Ca^{2+} par d'autres ions divalents tels le strontium (Sr), baryum (Ba), zinc (Zn), cadmium (Cd), manganèse (Mn), etc. Campana (1999) a identifié les éléments susceptibles de varier selon leur disponibilité dans le milieu. Une bonne cohérence a pu être relevée dans le cas d'éléments tels que le Sr, le Zn, le Mn, le Ba, le plomb (Pb) et le fer (Fe) indiquant que leur abondance relative dans l'environnement pouvait être reflétée dans l'otolithe. Campana (1999) a également noté que les concentrations en Lithium (Li), Cd et Nickel (Ni) et autres éléments beaucoup moins abondants dans l'otolithe pourraient également refléter correctement leur disponibilité environnementale.

Ainsi, les microanalyses chimiques permettent de caractériser l'habitat, l'histoire environnementale, les paléo-environnements, de discriminer des populations, de caractériser

le métabolisme et les événements ontogéniques (métamorphose). Néanmoins, des techniques d'analyses différentes sont nécessaires pour étudier chacun de ces événements.

La microanalyse chimique des otolithes a été, dans un premier temps, beaucoup utilisée dans le cadre d'études sur des poissons amphihalins. En effet, les différences de composition élémentaire entre l'eau douce et l'eau de mer a été la plus simple à appréhender, notamment avec les rapports Sr/Ca et Ba/Ca (Volk *et al.*, 2000 ; Elsdon et Gillanders, 2004). Avec l'augmentation de la sensibilité des appareils de mesure, il a été possible de doser plusieurs autres éléments avec précision (fig. IV.2) et d'utiliser cette technique couplée à l'ablation laser afin d'aller analyser des zones correspondant seulement à une année de croissance par exemple.

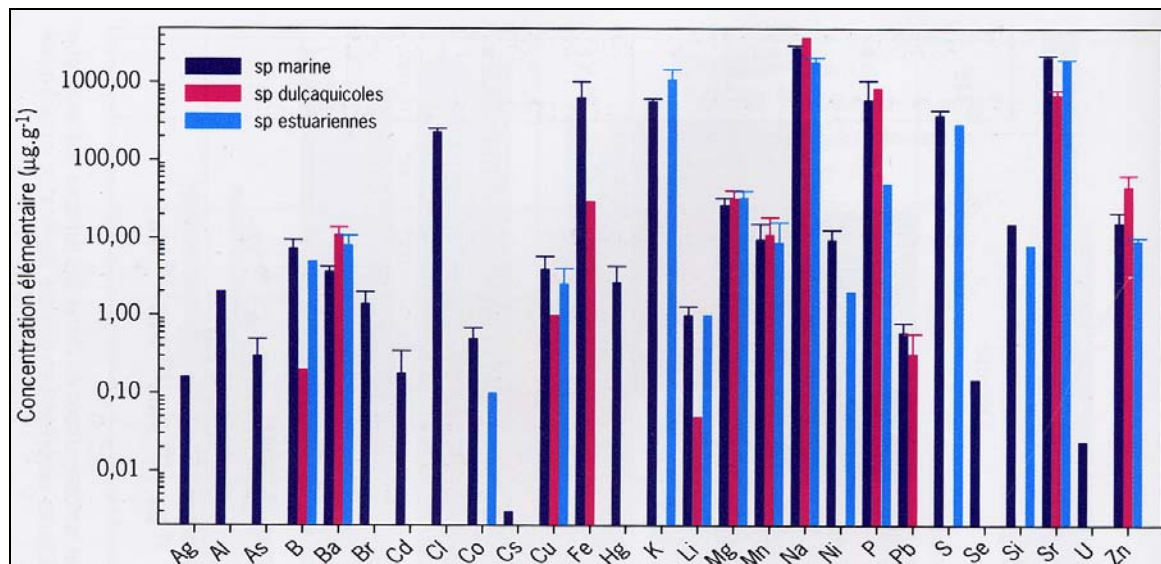


Figure IV.2 : Visualisation synthétique des données publiées concernant la composition des otolithes en éléments mineurs ou traces d'espèces occupant trois principaux types d'habitat. Les bâtons sans barre d'erreur indiquent les concentrations d'éléments qui n'ont été observées que dans une seule étude. D'après les données de Campana (1999). Graphique issu de De Pontual et Geffen (2002).

Gillanders *et al.* (2001) ont montré qu'il n'y avait pas de différence de composition élémentaire des otolithes sur des sites séparés de 100 m ou moins. Par contre, des différences commencent à apparaître pour des sites distants de 10 km, cette étude a été réalisée sur une espèce très proche du sar commun, à savoir le sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*) et en Méditerranée (au sud de l'Espagne). Bien évidemment, ces différences de composition élémentaire des otolithes dépendent de la zone étudiée. Les caractéristiques hydrologiques des lagunes, les apports terrigènes via les fleuves et l'anthropisation sont, sans doute, des facteurs

favorisant les différences entre sites de la composition élémentaire des otolithes. Or, la zone considérée pour notre étude regroupe tous ces éléments (lagune, ports, fleuves).

Ainsi, nous avons essayé de mettre en évidence la présence d'une ou plusieurs nourriceries sur la côte catalane dans les trois systèmes : lagune, aménagements littoraux de la côte sableuse et côte rocheuse ; ceci dans le but d'estimer la contribution de chaque nourricerie à la composition des populations des sars adultes de la côte rocheuse et de la côte sableuse (aménagements littoraux et cap Leucate).

Les larves de *Diplodus sargus* passent un mois dans le plancton avant de se métamorphoser en juvéniles et de venir s'installer sur la côte à la fin du mois de mai, voire au début du mois de juin. Les juvéniles mesurent alors un centimètre environ. Ils sont incapables de se déplacer sur de longues distances et demeurent sédentaires, pour la plupart, jusqu'au printemps suivant. Quelques individus, les plus gros, se déplaceront à la fin de l'automne. Aucune publication ne traite du déplacement des juvéniles de sars communs durant leur première année de vie, toutes les informations données précédemment étant issues d'observations personnelles. Ainsi, dans ce travail nous avons considéré que les juvéniles de sars communs ne se déplaçaient pas durant leur première année de vie. Les seuls déplacements observés concernent des trajets de recherche de nourriture, ils n'excèdent pas quelques dizaines de mètres. En effet, ces juvéniles sont inféodés à un habitat décrit par Harmelin-Vivien *et al.* (1995). Celui-ci est généralement un fond de baie à pente douce. Les baies sont généralement bordées par des caps à fortes pentes totalement inadéquates à la survie des juvéniles de sars communs et aussi à cause d'une trop forte exposition aux prédateurs. Cette sédentarité va nous permettre de caractériser les nourriceries potentielles de la côte catalane française. Effectivement, en analysant la composition élémentaire des otolithes de juvéniles de sars communs capturés dans divers sites de cette côte, nous pouvons espérer caractériser ces nourriceries. Cette caractérisation permettra par la suite d'identifier les nourriceries d'origine des sars adultes.

II- Matériels et Méthodes

II-1 La microanalyse chimique des otolithes

Contrairement aux os, les otolithes sont métaboliquement inertes. Ainsi, chaque nouveau dépôt de matériel ne peut être réabsorbé ou remanié (Campana *et al.*, 2000). De plus, 90 % du CaCO₃ et des éléments traces qui composent les otolithes sont issus du milieu environnant, même s'il existe des filtres biologiques allant à l'encontre d'une relation linéaire entre l'eau et la composition élémentaire des otolithes (Gillanders, 2002b). En utilisant ces propriétés de l'otolithe, un certain nombre d'auteurs ont commencé à utiliser la microanalyse chimique des otolithes dans leurs études au début des années 1990, notamment pour distinguer des stocks de poissons (Edmonds *et al.*, 1989, 1991, 1992 ; Campana *et al.*, 1994 ; Campana *et al.*, 1995 ; Proctor *et al.*, 1995 ; Campana *et al.*, 2000 ; Gillanders, 2001 ; Bergenius *et al.*, 2004). Beaucoup d'autres auteurs se sont servis de la microanalyse chimique des otolithes pour détecter la diadromie chez certaines espèces de poissons (Kalish, 1990 ; Secor, 1992, Coutant et Chen, 1993 ; Zimmerman, 2005 ; Clarke *et al.*, 2007a). Certains auteurs se sont aussi intéressés à la détermination des zones d'installation passées de poissons adultes, c'est-à-dire déterminer la ou les nurseries d'où sont issus des poissons adultes (Gillanders et Kingsford, 1996 ; Gillanders, 2002a, 2002b, 2005).

Même si le coût des microanalyses chimiques des otolithes reste assez important, un des avantages de cette technique réside dans le fait qu'elle ne nécessite que peu d'individus par station échantillonnée. Elle n'est, par conséquent, que peu destructive. Généralement, une dizaine d'individus suffisent (, Gillanders *et al.*, 2001 ; Gillanders, 2005). Certains auteurs n'utilisent que 7 à 8 individus (Gillanders et Kingsford, 1996 ; Martin et Thorrold, 2005), voire 5 par site (Patterson *et al.*, 2004).

La méthodologie que nous avons utilisée dans ce chapitre a été adaptée d'après Gillanders (1996 et 2002a) et Fowler *et al.* (1995).

II-2 Les poissons analysés

Nous avons analysé des otolithes de juvéniles de sars prélevés en 2005 et en 2006, mais aussi des otolithes de sars adultes prélevés en 2006. L'analyse de la composition élémentaire des otolithes de juvéniles de sars communs devrait permettre d'identifier des nurseries. La comparaison entre les juvéniles de 2005 et ceux de 2006 permettra d'évaluer la robustesse du signal afin d'appréhender une éventuelle variabilité interannuelle.

II-2.1 Les juvéniles nés en 2005

Les otolithes de 18 poissons ont été analysés en 2005, dix poissons en provenance d'un enrochement artificiel de la côte sableuse (Ste Marie) et huit poissons de la côte rocheuse (Paulilles). Pour le site de la côte sableuse, le prélèvement a été effectué le 5 octobre 2005, la taille moyenne (longueur totale) des individus étant de 66,3 mm ($\sigma = 4,1$ mm). Pour des raisons de logistique et des raisons liées à la météo, le prélèvement sur la côte rocheuse n'a pas pu être effectué au même moment. Huit individus ont donc été prélevés le 11 janvier 2006, leur taille variant de 84 mm jusqu'à 145 mm pour une moyenne de 109 mm ($\sigma = 22$).

II-2.2 Les juvéniles nés en 2006

Comme l'indique le tableau IV.1, six stations ont été échantillonnées en 2006 : trois stations sur la côte sableuse au niveau d'aménagements littoraux (Ste Marie, le grau de l'étang de Canet et St Cyprien), une station de type lagune a été échantillonnée (lagune de Leucate) ainsi que deux stations côte rocheuse (l'anse de Paulilles et celle de Peyrefite). Pour chaque station, dix individus ont été prélevés entre le 13 septembre 2006 et le 29 novembre 2006.

Tableau IV.1 : Tailles moyennes (longueur totale) des juvéniles capturés en 2006 et dont la composition élémentaire des otolithes a été analysée. En italique, les stations côte sableuse ; en gras, la station lagune et en lettres capitales, les deux stations côte rocheuse.

	Nb d'individus	Tailles moyennes (mm)
<i>Ste Marie</i>	10	71 ($\sigma = 10,5$)
<i>St Cyprien</i>	10	66 ($\sigma = 8,1$)
<i>Grau étang de Canet</i>	10	83,5 ($\sigma = 5,3$)
Lagune de Leucate	10	69,5 ($\sigma = 14,8$)
PAULILLES	10	89 ($\sigma = 8,8$)
PEYREFITE	10	87,5 ($\sigma = 9,8$)

II-2.3 Les adultes prélevés en 2007

Etant donné que l'une des questions posées est de connaître le rôle des nourriceries dans la part des sars pêchés par les petits métiers ou la pêche récréative, nous avons récolté les adultes auprès des pêcheurs. Les poissons de la côte rocheuse ont été obtenus, via une compétition de chasse sous-marine organisée à Banyuls sur mer le 8 avril 2007. Ces poissons ont été capturés dans les parages du Cap Béar. Les poissons de la côte sableuse ont été relativement difficiles à échantillonner et le seul site favorable a été celui du cap Leucate. Les poissons ont été pêchés le 15 mai 2007 dans les parages du cap Leucate (tab. IV.2). A cette analyse, ont été inclus des sars que nous avons marqué et recapturé. Seuls neuf de ces derniers avaient des otolithes

exploitables. Ces neuf poissons ont été marqués sur la côte sableuse, mais recapturés à des endroits différents ce qui permet d'avoir une zone intermédiaire entre le cap Béar et le cap Leucate. De plus, une relation avec les résultats de marquage pourra être établie.

Tableau IV.2 : Tailles moyennes (longueur totale) des sars adultes dont la composition élémentaire des otolithes a été analysée. Le nombre d'individus par station est mentionné.

	Nb d'individus	Taille moyenne (cm)
Cap Béar	25	26,4 ($\sigma=1,3$)
Cap Leucate	24	22,9 ($\sigma=3,4$)
Poissons marqués	9	21,3 ($\sigma=4,7$)

Sur les neuf poissons analysés, sept ont été marqués sur la côte sableuse à mi chemin entre les deux caps (Béar et Leucate). Sur ces sept poissons, nous pouvons noter que deux ont été recapturés proche ou au niveau du cap Béar. Les deux autres poissons avaient été marqués sur les récifs artificiels du Barcarès donc beaucoup plus proche du cap Leucate. Ils ont, par ailleurs, été recapturés très proche du cap Leucate pour un et plus au nord pour l'autre (tab IV.3).

Tableau IV.3 : Poissons marqués sur la côte sableuse et dont la composition élémentaire des otolithes a été analysée. La taille (longueur totale en cm), le lieu de marquage et le lieu de capture sont donnés pour chaque poisson.

Lieu marquage	Lieu recapture	Taille (cm)
Ste Marie	Ste Marie	19
Ste Marie	Ste Marie	19
Ste Marie	Ste Marie	21
Ste Marie	Port Vendres	16
Ste Marie	Cap Béar	33
St Cyprien	St Cyprien	20
St Cyprien	St Cyprien	21
Récifs artificiels	Port la Nouvelle	22
Récifs artificiels	Leucate	21

II-3 Préparation et analyse des échantillons

II-3.1 Préparation des otolithes

Pour chaque poisson (juvéniles et adultes), une paire d'otolithes, les *sagittae*, a été prélevée. Les otolithes sont ensuite nettoyés à l'eau distillée, séchés puis conservés dans un tube eppendorf 0,5 ml en attente du nettoyage pré-analyse.

Les otolithes des juvéniles sont analysés tels quels, c'est-à-dire dans leur totalité. Par contre, les otolithes d'adultes doivent subir une transformation. En effet, étant donné que nous souhaitons connaître la nourricerie d'origine de ces sars adultes, il est nécessaire d'aller chercher l'information dans la partie de l'otolithe qui correspond à la période à laquelle le poisson était dans sa zone de nourricerie. Or, c'est durant sa première année de vie que le sar est peu mobile et reste dans les nourriceries. Il faut donc extraire la partie de l'otolithe qui correspond à la première année de vie du poisson. Cette partie se situe juste avant la première marque de croissance hivernale (fig. IV.3). En son sein, se trouve aussi le *nucleus*. Celui-ci correspond à la croissance de l'otolithe durant la phase larvaire pélagique. Cependant, le *nucleus* est très petit par rapport à la taille du dépôt correspondant à la première année de croissance, et l'on peut donc considérer qu'il n'a aucune incidence sur les résultats d'identification des nourriceries.

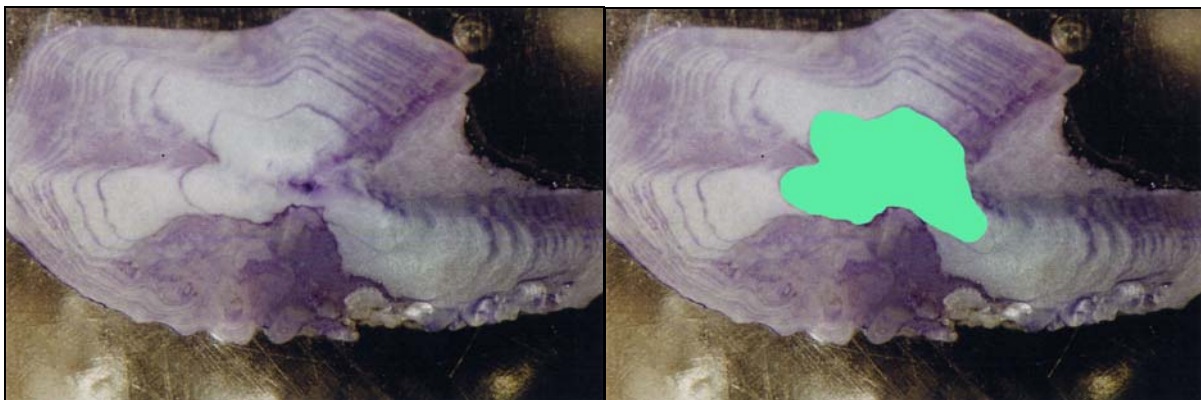


Figure IV.3 : La photographie de gauche montre un otolithe de sar poncé et coloré sur lequel les marques de croissance sont bien visibles (âge estimé : 10 ans). Sur la photographie de droite, la zone correspondant à la première année de croissance a été colorée en vert (Photographie de P. Lenfant).

La plupart des études de suivi temporel utilisant la composition élémentaire des otolithes se font dorénavant en utilisant l'ablation laser. Cette méthode, qui utilise des technologies de pointe, permet à partir d'un otolithe poncé (comme celui de la figure IV.3) d'aller récupérer une infime quantité de matière dans chaque anneau de croissance et ainsi de retracer le parcours du poisson durant sa vie (Arai *et al.*, 2007 ; Barbee et Swearer, 2007 ; Clarke *et al.*, 2007a, 2007b ; Hamer et Jenkins, 2007). Dans le projet de cette thèse, il était envisagé d'utiliser cette méthode. Mais le laboratoire dans lequel les analyses ont été effectuées n'a pu se procurer l'appareil à temps et il nous a donc été impossible d'utiliser cette approche. Ainsi, nous avons dû nous tourner vers d'autres méthodes, bien qu'aucune n'ait encore été décrite dans la littérature, si ce n'est des études préliminaires durant lesquelles de la matière est

prélevée sur un otolithe poncé à l'aide d'une microperceuse. Cette méthode, bien qu'attrayante à première vue, s'est révélée peu adaptée car elle ne permet pas de récupérer suffisamment de matière et la contamination par la mèche de la perceuse peut être conséquente. En effet, l'otolithe à analyser se retrouve alors à l'état de poudre et aucun nettoyage ne permet de la décontaminer correctement.

Nous avons donc décidé de récupérer la partie correspondant au dépôt de la première année de croissance de l'otolithe en ponçant toutes les autres parties qui l'entourent. Sur l'otolithe de sar adulte, cette partie est visible. Pour mieux la visualiser durant le ponçage, nous la marquons à l'aide d'un crayon à papier. Le ponçage est ensuite effectué à l'aide d'une mini ponceuse équipée d'une pointe en diamant de marque Dremel. L'utilisation d'une pointe en diamant permet d'éviter de contaminer l'otolithe, étant donné que le diamant est composé exclusivement de carbone, ce dernier étant brûlé lors de l'analyse, il n'apportera aucun biais. Du fait de la taille des otolithes, tout au plus 5 mm, le ponçage s'effectue sous loupe binoculaire, l'otolithe étant tenu à l'aide d'une pince fine modifiée afin de la rendre antidérapante pour éviter toute perte ou rupture de l'otolithe. Etant donné que la croissance de l'otolithe se fait dans les trois dimensions, le ponçage s'effectue également dans les trois dimensions, à savoir sur le plan vertical, appelé aussi plan de coupe sagittale, ainsi que sur le plan horizontal, à savoir les plans de coupe frontale et transversale (fig. IV.4).

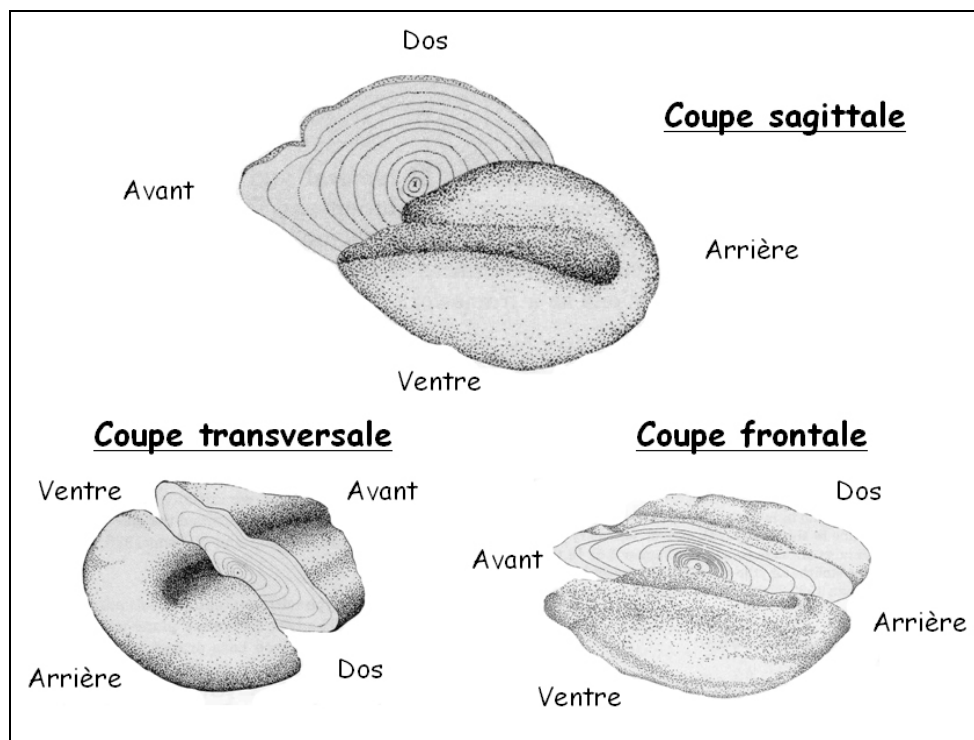


Figure IV.4 : Les différents plans de coupe qui peuvent être effectués sur des otolithes. Modifié d'après Secor *et al.* (1992).

Le ponçage sur le plan vertical est assez simple, le dépôt correspondant à la première année de croissance est très bien visible. Une fois cette partie bien matérialisée, il suffit de poncer tout ce qui l'entoure. Dans le cadre de la figure IV.5, la partie correspondant au dépôt de croissance de la première année est colorée en rose, la partie éliminée par ponçage est colorée en bleu.

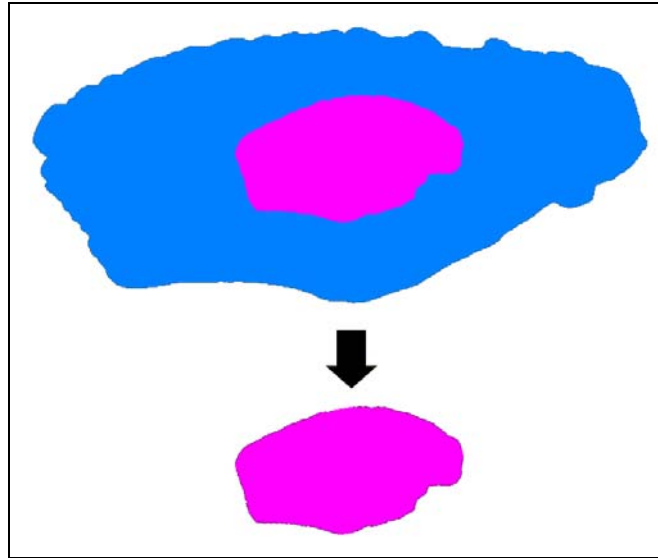


Figure IV.5 : Image schématique d'un otolithe droit de sar adulte (coloré en bleu) vu par sa face droite dont la partie correspondant au dépôt de la première année de croissance est colorée en rose. Après élimination de la partie bleue, il ne reste plus que la partie correspondant à la première année de croissance (en rose).

Le ponçage sur le plan horizontal doit être plus fin étant donné, que l'otolithe a une plus faible croissance sur ce plan, il est donc moins épais. En comparant au préalable l'épaisseur d'un otolithe de poisson adulte avec celle d'un otolithe de poisson juvénile, l'épaisseur à poncer est estimée de part et d'autre de l'otolithe. Afin d'être sûr d'avoir atteint la partie de l'otolithe correspondant à la première année de croissance du poisson, la surface supérieure de cette partie est légèrement poncée. Le fragment d'otolithe restant que nous appelons le cœur, est stocké comme les otolithes de juvéniles dans un tube eppendorf de 0,5 ml. Le travail de ponçage étant très fastidieux, seul un otolithe (dans la mesure du possible l'otolithe droit) de la paire est poncé pour chaque poisson adulte (58 poissons en tout). En cas de perte ou de casse, c'est l'otolithe gauche qui est poncé. Avant d'être analysés, les otolithes doivent subir un nettoyage afin d'être décontaminés de toutes particules qui auraient pu se déposer lors de l'extraction, du nettoyage, de la manipulation ou du ponçage. Pour se faire, chaque otolithe, ou cœur d'otolithe selon les cas, est placé dans un tube eppendorf propre de 0,5 ml contenant de l'eau milli-Q puis nettoyé pendant 5 min aux ultrasons. L'eau est ensuite changée et

l'opération est renouvelée 3 fois. Puis, l'otolithe est sorti du tube puis séché sous une hotte à flux laminaire. Une fois séché, l'otolithe est pesé à la balance de précision (à 10^{-4} g près) puis placé dans un tube eppendorf de 0,5 ml propre. Le plastique du tube eppendorf étant inerte, les otolithes ne risquent pas d'être contaminés et peuvent être stockés ainsi plusieurs mois avant leur analyse. Durant toutes ces phases de nettoyage, les otolithes sont manipulés seulement à l'aide d'une pince en téflon et dans des récipients en plastique étant donné que métal et verre peuvent fortement les contaminer.

II-3.2 Analyse à l'ICP-MS et à l'ICP-AES

L'analyse de la composition élémentaire des otolithes a été réalisée par la méthode ICP (Inductively Coupled Plasma) couplée à deux types de détecteurs, MS (Mass Spectroscopy) pour l'ICP/MS et AES (Atomic Emission Spectroscopy) pour l'ICP/AES. L'ICP/MS et l'ICP/AES sont deux techniques de dosage utilisant un plasma inductif. L'échantillon est donc transformé en plasma (gaz ionisé) avant d'être envoyé vers un analyseur, un spectromètre de masse dans le cas de l'ICP/MS et un spectromètre optique dans le cas de l'ICP/AES.

Les deux types de détecteurs ont leurs avantages mais aussi leurs inconvénients. Les limites de détection de l'ICP/MS sont de l'ordre de $0,01 \mu\text{g.l}^{-1}$. Ainsi, il est possible de doser de nombreux éléments à l'état de traces ou d'ultra-traces. Par contre, il faut être très vigilant aux différentes interférences qu'il peut y avoir entre les éléments (isobariques, polyatomiques, ions doublement chargés) et qui sont susceptibles de fausser les résultats. Les éléments pour lesquels il existe de telles interférences sont connus, c'est pour cela qu'ils sont plutôt analysés à l'aide de l'ICP/AES. L'avantage de cette dernière est que le nombre d'interférences (notamment de nature spectrale) est très limité. Cependant, la limite de détection est plus haute, environ $1 \mu\text{g.l}^{-1}$ selon les éléments, ce qui reste tout de même très intéressant. Au sein du laboratoire dans lequel les analyses ont été effectuées durant cette thèse (CCA de l'université de La Rochelle), l'ICP/AES est bien plus récent que l'ICP/MS. Ainsi, la nébulisation de l'échantillon, correspondant au passage de l'échantillon de l'état liquide à celui d'aérosol, est beaucoup plus efficace dans le premier cas, cela induit une économie d'échantillon par rapport au traitement par ICP/MS. Les deux machines utilisées pour cette étude sont une ICP/MS mass 700 Varian et une ICP/AES VistaPro Varian.

Avant de pouvoir être analysé, l'échantillon doit subir plusieurs modifications. Tout d'abord, l'otolithe contient de la matière organique (notamment une trame protéique), il doit donc être minéralisé. Pour cela, chaque otolithe est placé dans un récipient en téflon de marque "Savilex[®]" (récipient muni d'un couvercle à vis). Deux millilitres d'acide nitrique superpur à

65 % et un étalon interne, l'indium, qui permet de se défaire d'éventuels effets de matrice lors des analyses, sont ajoutés. Les Savilex[®] sont ensuite placés sur une plaque chauffante et portés à sec. Il ne reste alors au fond qu'un dépôt solide de sels. Ce dépôt est repris dans 5 ml d'acide nitrique superpur à 5 %. L'ensemble représente l'échantillon à analyser. Le faible volume de reprise ne permet pas un passage robotisé à l'analyse, les échantillons doivent donc être passés manuellement, en ICP/MS puis en ICP/AES (IV.6).



Figure IV.6 : Photographie illustrant le passage manuel des échantillons à l'ICP/AES dans le cas présent, deux personnes sont nécessaires (Photographie : C. Churlaud).

Pour s'assurer qu'aucune contamination ne vienne affecter les résultats, une série de blancs (5 ml d' HNO_3 superpur à 5%) est réalisée, généralement un blanc pour cinq échantillons. Ensuite, pour vérifier que les valeurs données par la machine sont exactes (pas d'effet machine), deux échantillons certifiés sont analysés tous les 20 échantillons. Ces deux échantillons certifiés ont une matrice la plus proche possible de celle à analyser. Il s'agit du Bone Meal (National Institute of standards and Technologie Standard reference Material) et d'un broyat d'otolithes certifié de Campana (com. pers.). Le passage de ces échantillons lors de chaque analyse est d'autant plus nécessaire que les analyses ne sont pas effectuées le même jour. En effet, entre le passage des juvéniles de 2005 et celui des juvéniles de 2006, 6 mois se sont écoulés, même délai entre le passage des juvéniles de 2006 et celui des adultes.

Plusieurs éléments chimiques peuvent être quantifiés lors d'une analyse grâce à l'utilisation de gammes étalons élaborées à partir d'une solution multi-élémentaire (ASTASOL MIX MO101) de concentration connue. Nous avons vu précédemment que les échantillons ont été passés en trois temps (juvéniles 2005, puis juvéniles 2006 et enfin adultes). Ainsi, selon la sensibilité de la machine et les contaminations éventuelles, les mêmes éléments n'ont pas forcément pu être dosés. En effet, nous travaillons sur des éléments ultra traces, et même si nous sommes en salle blanche (salle à empoussièremment contrôlé classe 1000, soit environ 1000 particules par m³ d'air), une contamination est toujours possible, surtout lors des premières analyses. Par la suite, le programme de nettoyage ayant été perfectionné, les contaminations sont en théorie beaucoup moins fréquentes. Pour se rendre compte de ces contaminations, nous utilisons des blancs. Ainsi pour chacune des analyses, nous avons obtenu des résultats fiables pour les éléments suivants.

- Juvéniles 2005 : baryum (Ba), cuivre (Cu), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et strontium (Sr).
- Juvéniles 2006 : baryum (Ba), cobalt (Co), chrome (Cr), magnésium (Mg), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb), strontium (Sr), titane (Ti), vanadium (V) et zinc (Zn).
- Adultes 2007 : les mêmes éléments que pour les juvéniles 2006, à savoir, Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V et Zn.

II-4 Analyses statistiques

Les différentes méthodes statistiques ont été choisies pour permettre la distinction des groupes de sars sur la base des concentrations d'éléments obtenus. Les analyses de fonctions discriminantes sont utilisées afin d'analyser des différences entre les groupes de variables et par conséquent de les discriminer (Legendre et Legendre, 1984 ; Haddon et Willis, 1995). Ainsi, des analyses discriminantes, aussi appelées "analyses canoniques", ont été appliquées, soit dans le but d'établir des critères synthétiques de séparation des groupes (discrimination), soit dans le but d'attribuer de nouveaux objets (ici d'autres sars) à l'un des groupes. L'analyse discriminante peut, bien sûr, être pratiquée avec un grand nombre de descripteurs et de groupes. Le logiciel utilisé afin d'effectuer les analyses discriminantes est STATGRAPHICS Plus 5.0. Après chaque analyse, le logiciel donne les coefficients standardisés des fonctions les plus discriminantes, ainsi les coefficients ayant la valeur absolue la plus grande, sont ceux correspondants aux paramètres les plus discriminants.

Afin de renforcer les résultats obtenus par les analyses discriminantes, nous sommes amenés quelquefois à réaliser des ANOVA à deux facteurs afin de comparer plusieurs sites. Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS 10.0.

Afin de connaître les éléments qui caractérisent chaque nourricerie potentielle, des ACP ont été réalisées en parallèle, prenant en compte les concentrations en éléments, mais aussi les sites. Ces analyses ont été effectuées avec le logiciel SPAD 5.5.

III-Résultats

Les microanalyses chimiques ont été réalisées en trois fois : (i) pour les juvéniles de 2005, (ii) pour ceux de 2006, (iii) pour les adultes de 2007 au centre commun d'analyse de l'université de La Rochelle.

III-1 Identification des nourriceries chez les juvéniles

Dans le but d'identifier des nourriceries sur la côte catalane française, nous avons analysé la structure élémentaire des otolithes de juvéniles de sars communs présents sur différentes zones auxquelles nous avons potentiellement attribué la caractéristique de nourricerie. Cette qualification des zones de nourriceries découle des résultats obtenus notamment dans le chapitre 2. Les valeurs de concentrations pour chaque otolithe apparaissent en annexe 1 pour les juvéniles de 2005 et en annexe 2 pour ceux de 2006.

III-1.1 Analyse des juvéniles nés en 2005

Suite à la conjonction de plusieurs facteurs, les analyses des juvéniles nés en 2005 n'ont pu être effectuées sur beaucoup de sites (seuls 2 sites, un naturel de la côte rocheuse et un site d'enrochements artificiels de la côte sableuse), ni sur beaucoup d'éléments (cinq éléments : baryum (Ba), cuivre (Cu), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et Strontium (Sr)).

L'analyse en composante principale réalisée en tenant compte des concentrations en éléments et les deux stations montre clairement que les deux stations sont opposées selon l'axe 1 qui explique plus de 60 % de la variabilité (fig. IV.7). Le site des enrochements côtiers artificiels est caractérisé par de plus fortes concentrations des 5 éléments analysés.

Pour les cinq éléments analysés, des différences significatives (test U, $p < 0,01$) entre les sites sont observées pour deux éléments, Pb et Ba (fig. IV.8). Dans les deux cas, les concentrations sont supérieures au niveau de la station des aménagements littoraux de la côte sableuse. Ces résultats concordent avec ce que nous avons observé avec l'ACP précédente.

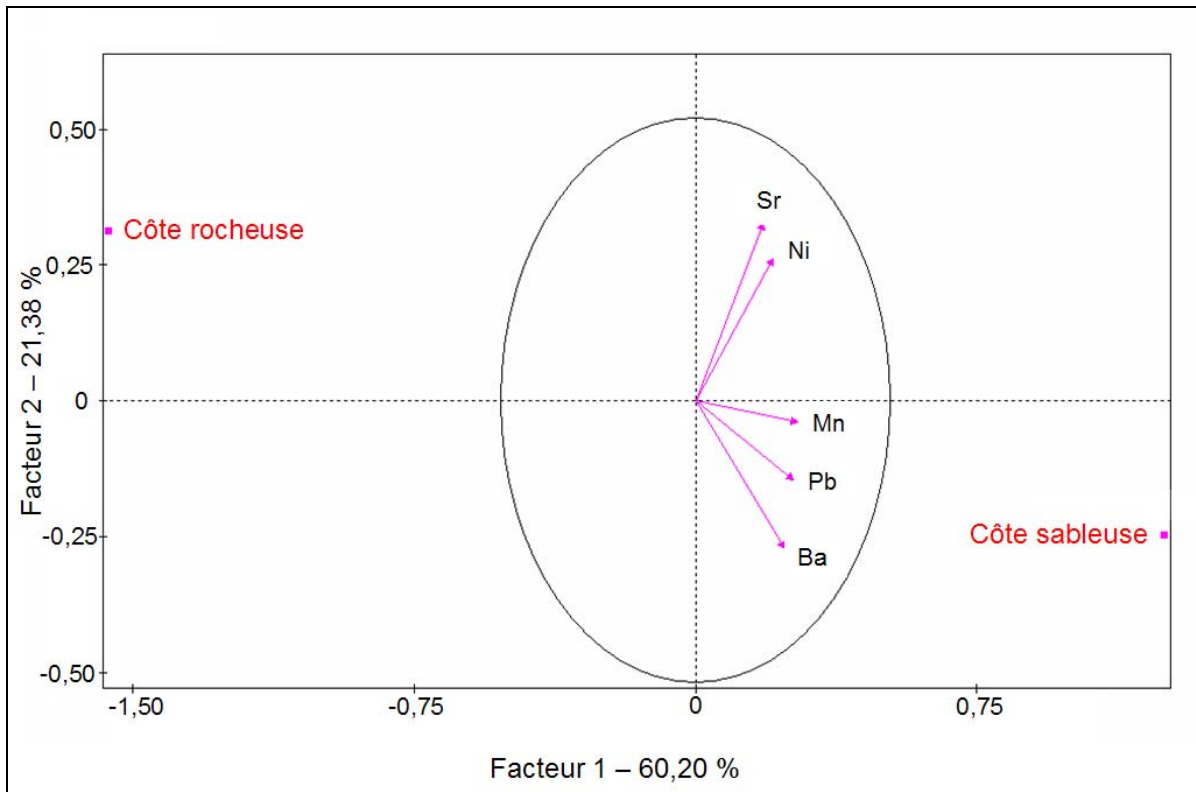


Figure IV.7 : Cercle de corrélation issu de l'ACP – axes 1 et 2 avec leur pourcentage d'inertie associé. Variables actives : Concentration en éléments et variables illustratives : Enrochements côtiers de la côte sableuse et site naturel de la côte rocheuse.

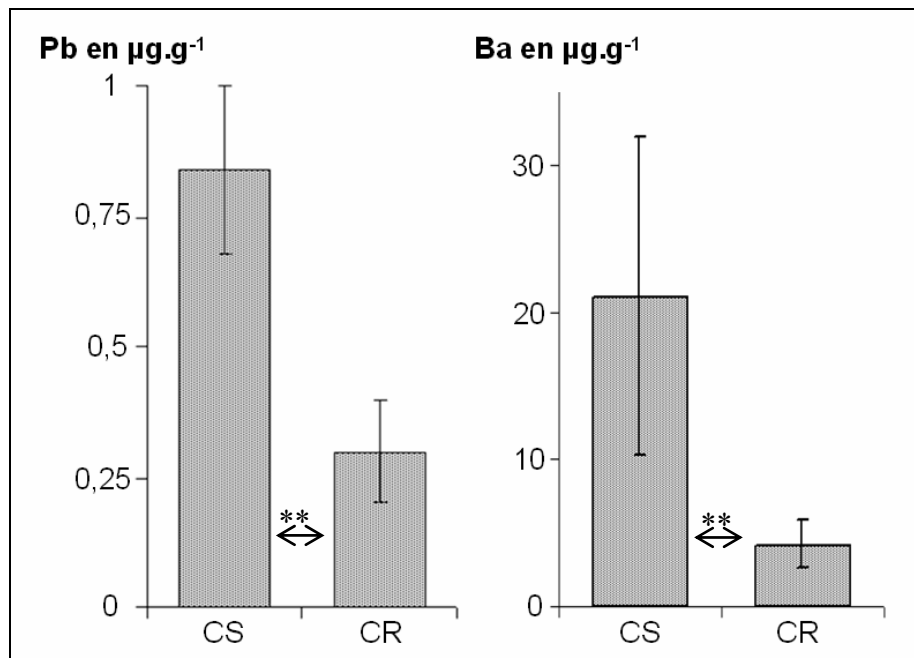


Figure IV.8 : Diagrammes en bâtons des concentrations en plomb (Pb) et en baryum (Ba) dans les otolithes de juvéniles de sars communs prélevés en 2005 sur un aménagement côtier artificiel de la côte sableuse (CS) et sur un site naturel de la côte rocheuse (CR). Les barres d'erreur représentent les écarts-types. Les ** indiquent que les différences observées entre les deux sites sont très significatives ($p < 0,01$) par un test U.

Sur cette analyse préliminaire effectuée sur des juvéniles de 2005, des individus ayant eu une installation sur un site naturel de la côte rocheuse se différencient de ceux ayant eu une installation sur un aménagement artificiel de la côte sableuse.

III-1.2 Analyse des juvéniles nés en 2006

En ce qui concerne la microanalyse chimique des otolithes de juvéniles de sars nés en 2006, 20 individus de sites naturels de la côte sableuse (deux stations), 30 individus de sites artificiels de la côte sableuse (trois stations) et 10 individus de la lagune (une station) ont été utilisés. 11 éléments : le baryum (Ba), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le magnésium (Mg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le strontium (Sr), le titane (Ti), le vanadium (V) et le zinc (Zn) ont été dosés.

Une première analyse discriminante a été réalisée en prenant en compte toutes les stations (fig. IV.9). L'axe 1, qui explique 67% de la variabilité, est très significatif avec une valeur λ de Wilks de 0,04 ($p < 0,01$). Sur cet axe, les stations de la côte rocheuse sont séparées des autres stations. Au sein même du groupe de poissons de la côte rocheuse, une différence sensible entre la station de Paulilles (hors réserve) et celle de Peyrefite (réserve) apparaît. Ce genre de différence n'est pas observable pour les stations des aménagements littoraux de la côte sableuse. L'axe 2, qui explique tout de même 21% de la variabilité, est très significatif (λ de Wilks = 0,22 ; $p = 0,01$) et tend à séparer les poissons de la lagune des autres stations.

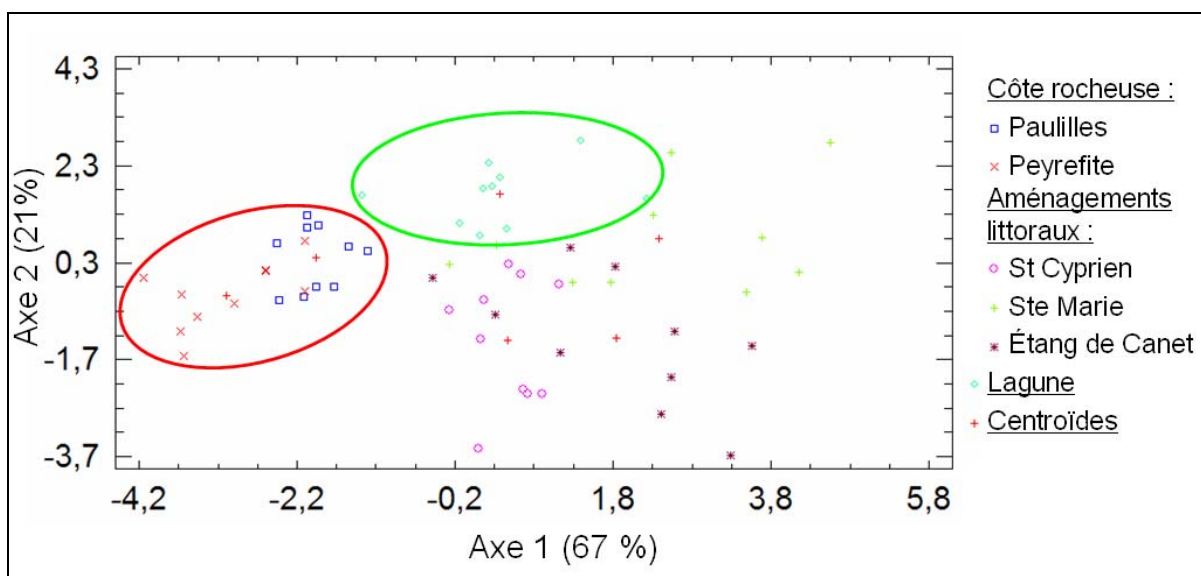


Figure IV.9 : Analyse discriminante sur les juvéniles nés en 2006, étiquetés selon leur site de prélèvement. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn. L'ellipse rouge regroupe les individus des sites naturels de la côte rocheuse ; la verte, ceux de la lagune.

Pour simplifier et limiter le nombre de station, une seconde analyse discriminante a été réalisée en tenant compte des concentrations des 11 éléments cités ci-dessus, mais en groupant les stations en trois groupes selon leur système d'origine : côte rocheuse, aménagements littoraux de la côte sableuse et lagune (fig. IV.10). Cette analyse permet de séparer les sites de la côte rocheuse de ceux de la côte sableuse. Cette discrimination est réalisée sur l'axe 1, axe expliquant 82% de la variabilité observée. Le coefficient λ de Wilks a une valeur de 0,15 ($p < 0,01$), signifiant que la discrimination est très bonne. D'après la microanalyse chimique des otolithes de juvéniles de sars communs, une phase d'installation sur la côte rocheuse se distingue clairement d'une phase d'installation sur la côte sableuse et ses aménagements littoraux. Les points de la côte sableuse sont plus dispersés que ceux de la côte rocheuse, vraisemblablement dû à l'origine (3 sites différents sur la côte sableuse) et au nombre d'individus analysés (10 individus par sites). Il pourrait exister une certaine variabilité au sein même de la côte sableuse. Une autre analyse a consisté en l'étude des otolithes de juvéniles provenant de la lagune. L'analyse discriminante représentée sur la figure IV.10 semble montrer sur l'axe 2 une séparation de la lagune des deux autres zones (côtes rocheuse et sableuse). Néanmoins, cette séparation peut être discutable du fait que cet axe 2 n'explique que 17 % de la variabilité avec un coefficient λ de Wilks de 0,61 ($p < 0,01$) plus proche de 1 que de 0.

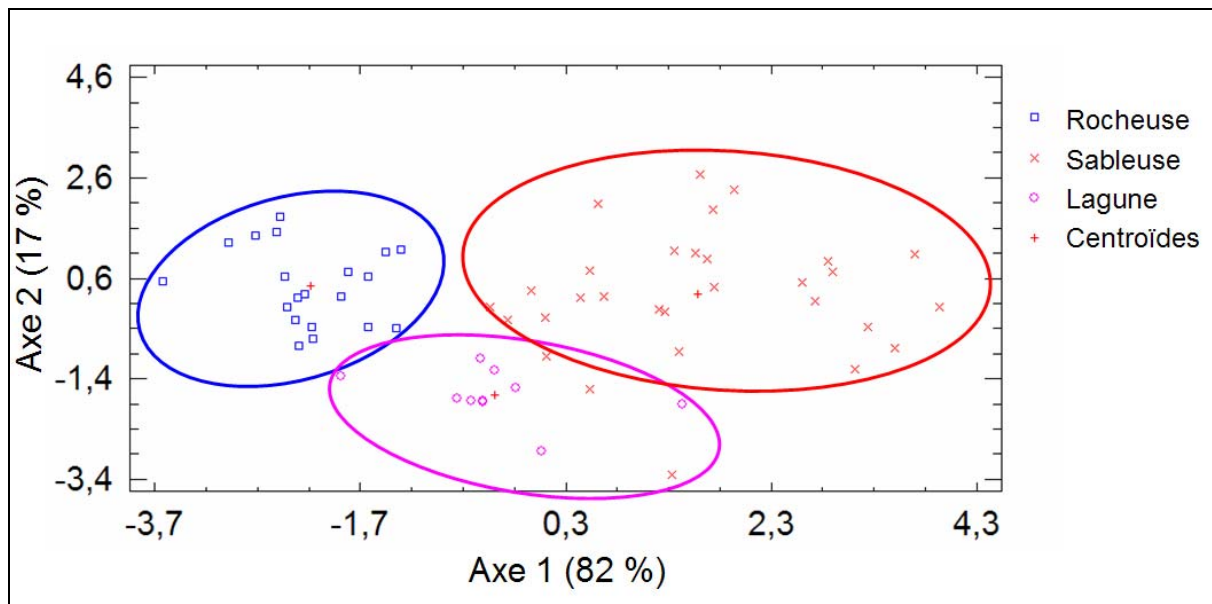


Figure IV.10 : Analyse discriminante sur les juvéniles nés en 2006, étiquetés selon leur site de prélèvement. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn. En bleu, les individus des sites naturels de la côte rocheuse ; en rouge, ceux des zones artificielles de la côte rocheuse et en rose, ceux de la lagune.

Les différences entre côte rocheuse et côte sableuse avérées, l'ACP représentée sur la figure IV.11 confirme cette séparation et nous informe sur les éléments créant ces différences. Certains éléments ont très peu d'influence sur cette différenciation, comme Co, Ni, Mg et Mn. En revanche, au niveau de la côte sableuse, sont observées les plus fortes concentrations en Sr, Zn, Ba, Ti, et Cr. Inversement, les plus fortes concentrations en V sont obtenues sur les sites naturels de la côte rocheuse. Cependant, il n'y a pas de différence de concentration en V entre les deux stations de la côte rocheuse, c'est-à-dire dans la réserve marine et hors réserve ($U=43, p>0,05$).

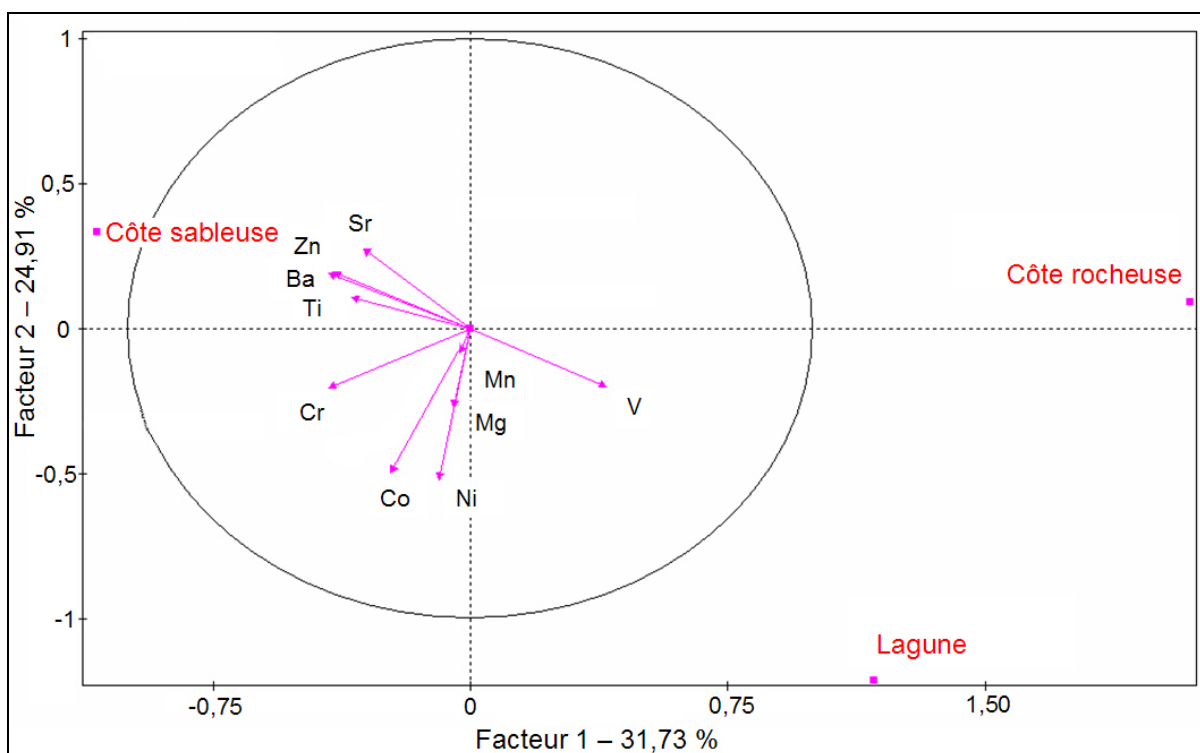


Figure IV.11 : Cercle de corrélation (variables actives : concentration des 11 éléments analysés ; variables illustratives : enrochements côtiers de la côte sableuse, site naturelle de la côte rocheuse et lagune) issu de l'ACP – axes 1 et 2 avec leur pourcentage d'inertie associé.

Nous avons donc mis en évidence qu'il existait une différence notable de la composition élémentaire des otolithes entre des juvéniles de sars prélevés sur des sites de la côte rocheuse et ceux de la côte sableuse, mais aussi de la lagune dans une moindre mesure. Il nous importe désormais de vérifier si ce signal est stable d'une année sur l'autre.

III-1.3 La variabilité inter-annuelle chez les juvéniles

Pour arriver à mettre en évidence une éventuelle variabilité inter-annuelle de la composition élémentaire des otolithes au niveau de la zone d'étude, les résultats obtenus avec les juvéniles de 2005 de la côte rocheuse ont été comparés à ceux des juvéniles de 2006. La même analyse a été réalisée pour les aménagements littoraux de la côte sableuse. Seuls 5 éléments ont été pris en compte pour la comparaison : Ba, Mg, Ni, Pb et Sr.

L'analyse discriminante représentée sur la figure IV.12 sépare nettement les stations de 2005 de celles de 2006 sur l'axe 1, cette séparation est d'autant plus significative que l'axe 1 a une valeur de λ de Wilks égale à 0,007 ($p < 0,01$) et explique 91% de la variabilité. Cela témoigne d'une forte variabilité inter-annuelle. En effet, s'il n'existait pas de variabilité, un regroupement des stations côte rocheuse 2005 et 2006 d'un côté et côte sableuse 2005 et 2006 de l'autre, aurait dû être observé. Or, ce n'est pas le cas.

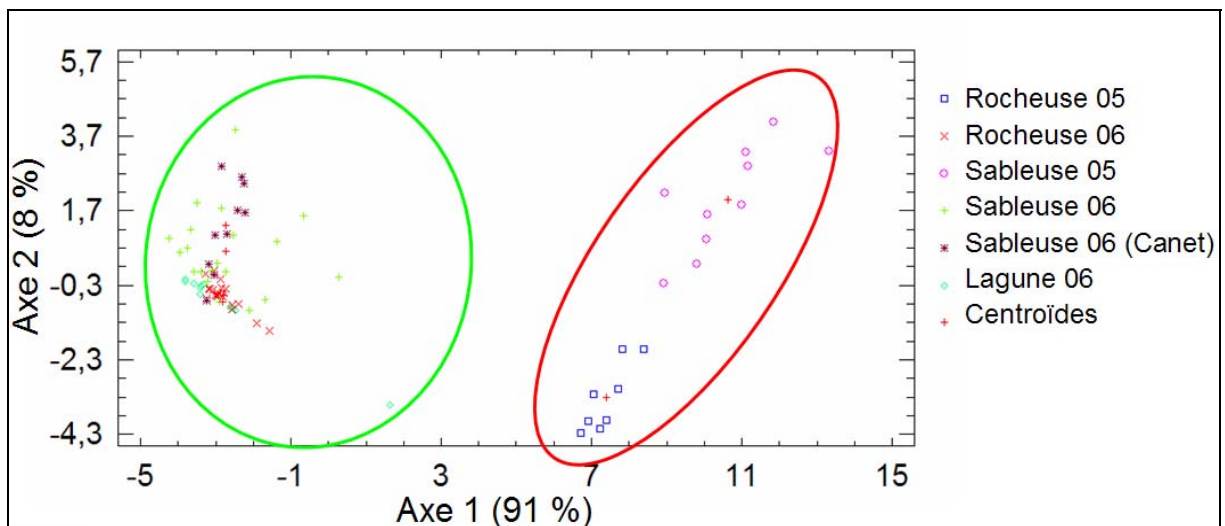


Figure IV.12 : Analyse discriminante sur les juvéniles nés en 2005 et ceux nés en 2006, étiquetés selon leur site de prélèvement et leur année de prélèvement. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Ba, Mg, Ni, Pb, Sr. L'ellipse verte regroupe les individus nés en 2006 et l'ellipse rouge, ceux nés en 2005.

Cette variabilité inter-annuelle est obtenue en comparant des données de 2006 à celle de 2005 qui sont préliminaires. Même si elle apparaît assez claire, elle demande tout de même à être validée sur plusieurs années consécutives, ce qui correspond à un travail non réalisable dans les deux années de terrain imparties à un travail de thèse.

III-2 Identification des nurriceries des poissons adultes

D'après les résultats obtenus précédemment, l'attribution d'une nurricerie à des poissons adultes semble compromise du fait de la variabilité inter-annuelle observée. En effet, seules les nurriceries de la côte catalane pour l'année 2006 et dans une moindre mesure celles de 2005 ont été caractérisées. Il aurait donc été judicieux d'analyser les otolithes des poissons adultes nés en 2006 pour s'acquitter de cette variabilité. Etant donné que le prélèvement des adultes a été réalisé en avril 2007, il a été impossible d'avoir des adultes nés en 2006, car il aurait fallu attendre l'été 2008 ou 2009.

Afin de vérifier si des sars pêchés sur la côte rocheuse avaient la même nurricerie que des sars pêchés au niveau du cap Leucate, mais aussi des sars marqués sur des aménagements littoraux de la côte sableuse, une analyse chimique des otolithes (la première année de croissance du poisson) a été réalisée, et ceci pour 25 poissons capturés sur la côte rocheuse, 24 sur le cap Leucate et 9 sars marqués sur la côte sableuse. Les mêmes éléments que pour l'analyse faite sur les juvéniles de 2006 à savoir : Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V et Zn ont été pris en compte.

L'analyse discriminante (fig. IV.13) montre que les sars pêchés sur la côte rocheuse sont différents de ceux pêchés à cap Leucate. Cette séparation est visible sur l'axe 1 de l'analyse qui explique à lui seul près de 82% de la variabilité avec un λ de Wilks de 0,12 ($p < 0,01$). Il en résulte que, selon cette analyse, les sars pêchés à cap Leucate et ceux pêchés sur la côte rocheuse ont des lieux d'installation différents. Concernant les sars marqués, nous constatons qu'un individu marqué sur la côte sableuse, se trouve dans le groupe des poissons de côte rocheuse. Deux individus marqués sur les récifs artificiels et recapturés à Leucate et Port la Nouvelle sont dans le groupe des poissons pêchés à cap Leucate, tout comme un sar marqué sur la côte sableuse est retrouvé au niveau du cap Béar et mesurant plus de 30 cm. Les cinq autres sars marqués semblent être séparés des autres par l'axe 2 qui explique 18% de la variabilité avec un λ de Wilks médiocre de 0,54 ($p < 0,01$).

Une ANOVA à deux facteurs réalisée avec les mêmes paramètres que l'analyse précédente confirme qu'il y a une différence significative entre les sites. En effet, il existe une différence significative entre les interactions site + éléments chimiques des deux zones considérées ($F=3,438$, $p < 0,01$). Les mêmes résultats sont obtenus en prenant seulement en compte les sites ($F=4,121$, $p=0,04$).

Afin d'affiner l'analyse, les éléments les plus influents sur la séparation des sars de la côte rocheuse de ceux de cap Leucate ont été définis. L'ACP illustrée sur la figure IV.14 informe sur les éléments qui induisent cette différenciation : V, Cr et Ni semblent être les éléments

influant le plus sur les différences observées avec des concentrations plus importantes au niveau de la côte rocheuse.

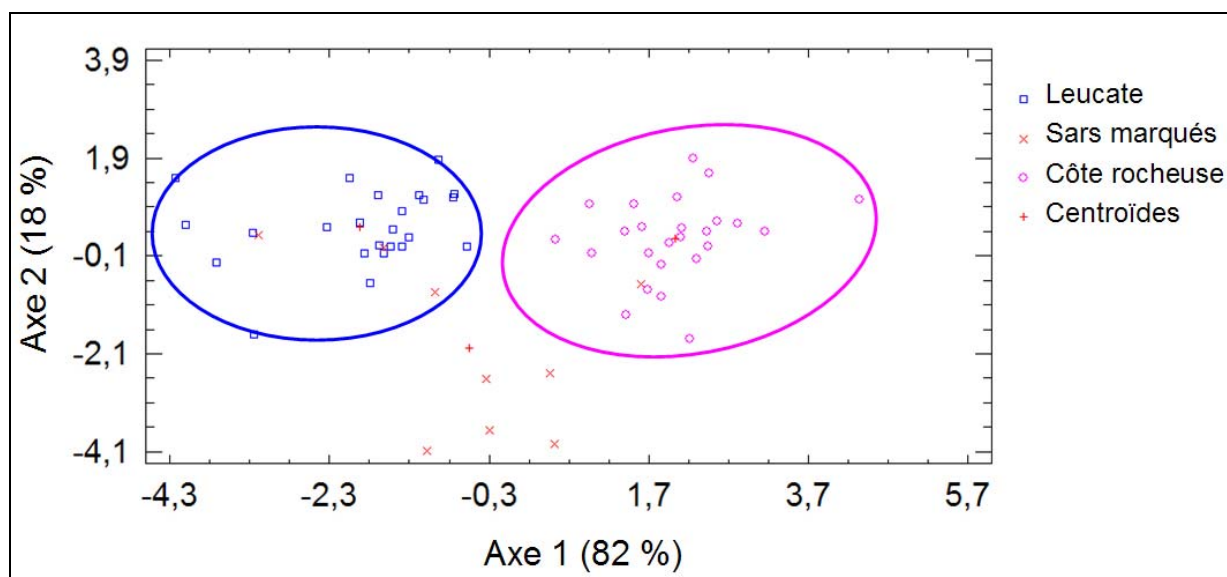


Figure IV.13 : Analyse discriminante sur la partie d'otolithe correspondant à la première année de croissance de sars adultes pêchés sur la côte rocheuse, à cap Leucate et des sars marqués sur des aménagements littoraux de la côte sableuse. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn. L'ellipse bleue regroupe les individus pêchés sur la côte rocheuse et l'ellipse rose, ceux de cap Leucate.

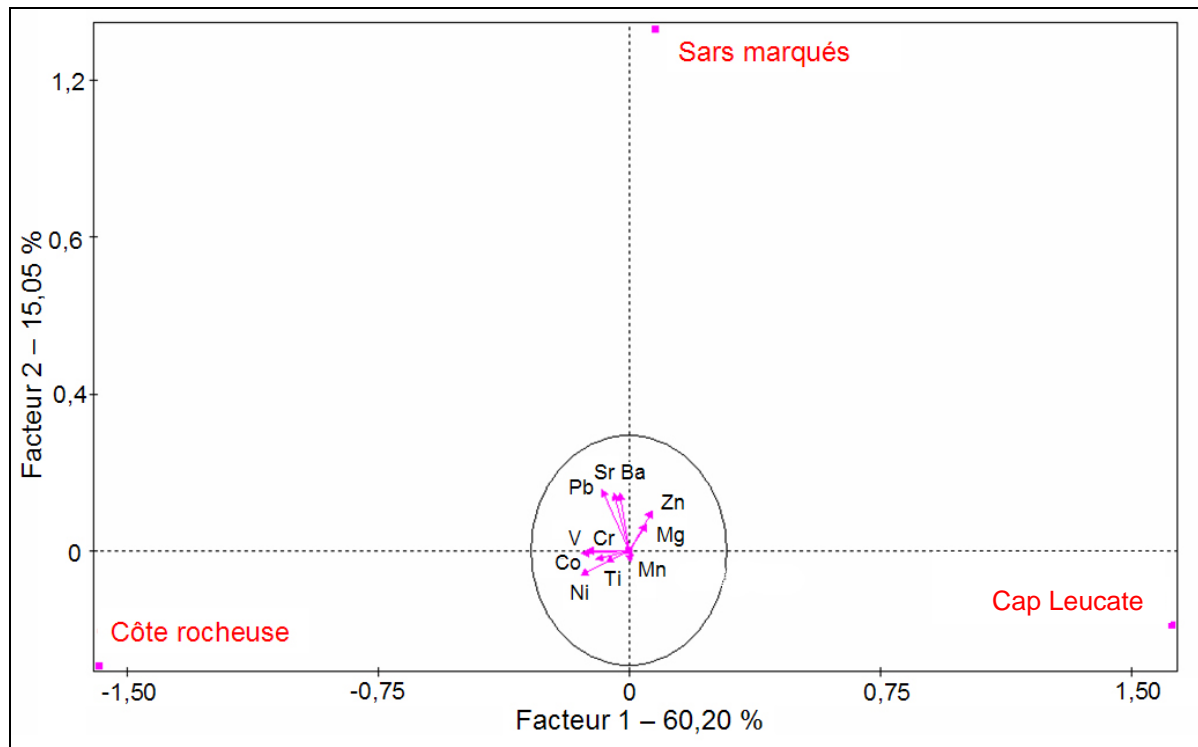


Figure IV.14 : Cercle de corrélation (variables actives : concentration des 11 éléments analysés ; variables illustratives : côte rocheuse, cap Leucate et sars marqués sur les enrochements artificiels de la côte sableuse) issus de l'ACP – axes 1 et 2 avec leur pourcentage d'inertie associé.

L'analyse discriminante en fonction des principaux éléments discriminants, c'est-à-dire Cr, Ni et V, a été réalisée et est représentée sur la figure IV.15. Les poissons pêchés sur la côte sableuse sont toujours différents de ceux pêchés au cap Leucate au niveau de l'axe 1 qui explique 88% de la variabilité avec un λ de Wilks correct de 0,18 ($p < 0,01$). En ce qui concerne les sars marqués, les deux individus des récifs artificiels et un autre de grande taille marqué sur un enrochement artificiel de la côte sableuse sont intégrés dans le groupe de sars capturés au niveau du cap Leucate. En revanche, la nouveauté par rapport à l'analyse précédente réside dans le fait que, non plus un, mais cette fois cinq sars marqués sur les enrochements côtiers de la côte sableuse intègrent le groupe de sars pêchés sur la côte rocheuse. Un sar marqué semble sortir de l'analyse, peut être à cause d'un artéfact, d'une contamination ou d'une réelle différence avec les autres individus.

Sur les cinq sars marqués sur les enrochements artificiels et que l'analyse discriminante associe aux sars pêchés sur la côte rocheuse, quatre n'ont pas quitté leur enrochement de marquage sur la côte sableuse. Le cinquième poisson a été marqué sur un aménagement littoral de la côte sableuse, et recapturé sur la côte rocheuse.

La figure IV.15 montre aussi que l'axe 2 de l'analyse discriminante semble séparer les individus de la côte rocheuse en deux groupes. Cet axe explique 11% de la variabilité avec un λ de Wilks de 0,71. Certes, cette valeur est médiocre, mais elle est significative ($p = 0,02$). Un de ces groupes rassemble 7 individus de la côte rocheuse et 5 poissons marqués sur les enrochements de la côte sableuse. Cela pourrait signifier que tous ces poissons, dont les sept capturés sur la côte rocheuse, ont une installation au niveau des enrochements côtiers de la côte sableuse. Les 18 poissons restants, pêchés sur la côte rocheuse, semblent avoir un lieu d'installation différent, vraisemblablement au niveau de la côte rocheuse elle-même. Etant donné que 7 des 25 poissons issus de la côte rocheuse semblent avoir un lieu d'installation sur les aménagements littoraux de la côte sableuse, nous pouvons estimer qu'un tiers des sars communs adultes de la côte rocheuse proviendraient des aménagements littoraux de la côte sableuse.

Les valeurs de concentrations pour chaque portion d'otolithe analysée apparaissent en annexe 3.

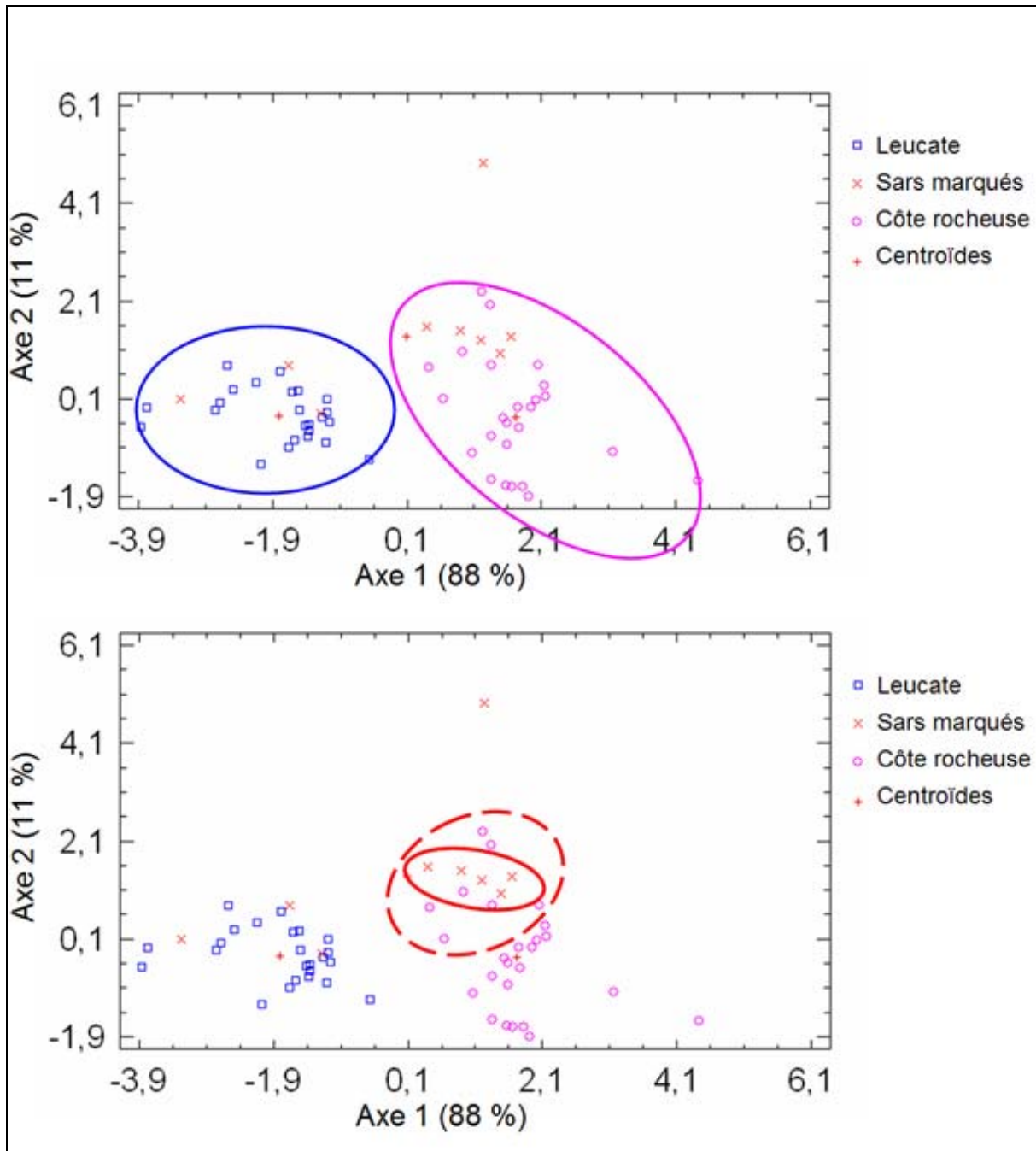


Figure IV.15 : Analyse discriminante. En haut : sur la partie d'otolithe correspondant à la première année de croissance de sars adultes pêchés sur la côte rocheuse, à cap Leucate et des sars marqués sur des aménagements littoraux de la côte sableuse. Les paramètres utilisés sont les concentrations en Cr, Ni, Pb, Sr, V. L'ellipse bleue regroupe les individus pêchés sur la côte rocheuse et l'ellipse rose, ceux de cap Leucate. En bas : l'ellipse en trait plein regroupe les individus marqués sur les enrochements côtiers de la côte sableuse et se trouvant dans le groupe des sars capturés sur la côte rocheuse. L'ellipse en pointillés regroupe les individus pêchés sur la côte rocheuse se séparant des autres sars pêchés sur la côte rocheuse sur l'axe 2.

IV-Discussion

L'objectif était de pouvoir identifier et caractériser une ou plusieurs nourriceries sur la côte catalane française. Cette identification devait permettre d'estimer la part de chaque nourricerie dans la composition des populations adultes présentes sur cette zone et d'affiner le taux de migration existant entre les aménagements littoraux de la côte sableuse et la côte rocheuse.

IV-1 Caractérisation de la composition élémentaire des otolithes de sars communs des nourriceries de la côte catalane française

Au cours du chapitre 2, nous avons montré qu'il existait plusieurs nourriceries sur la côte catalane française. Les plus importantes sont celles des aménagements littoraux de la côte sableuse. D'autres, d'importance bien moindre, se situent sur des sites naturels de la côte rocheuse. Ces nourriceries ont été caractérisées par la microanalyse chimique des otolithes des juvéniles de sars afin de pouvoir les différencier.

Nous avons clairement identifié et caractérisé des nourriceries de type côte rocheuse, mais aussi de type enrochements côtiers de la côte sableuse, puis enfin de type lagune. De plus, c'est au niveau des enrochements côtiers de la côte sableuse, que sont observées les plus fortes concentrations de la majorité des éléments. Cela peut s'expliquer par le fait que la côte sableuse, et par conséquent les enrochements littoraux, reçoivent les eaux de plusieurs fleuves (Agly, Têt et Tech) qui drainent les eaux de bassins versants très anthropisés (agglomération de Perpignan, plaines agricoles et viticoles notamment). En plus de l'érosion naturelle qui enrichit les eaux en métaux lourds et autres composés, l'activité humaine rejette aussi des métaux lourds dans la nature. Roussiez *et al.* (2006) ont montré que les métaux lourds présents sur la côte catalane étaient principalement apportés par les rivières et avaient tendance à s'accumuler à proximité de leurs embouchures. En revanche, sur la côte rocheuse, il n'y a pas de fleuve aussi important que sur la côte sableuse. Il existe simplement de petits cours d'eau de type oued, c'est-à-dire actifs seulement durant les périodes de fortes pluies. Un élément chimique est décelé, sa concentration est plus élevée chez les poissons de la côte rocheuse : il s'agit du vanadium. Dans nos analyses, cet élément est extrêmement important puisqu'il fait parti des éléments participant le plus à la discrimination. L'importance des concentrations en vanadium dans la discrimination de groupe de poissons par l'analyse de la composition élémentaire des otolithes n'a jamais été mentionnée. Cependant, des informations sont disponibles à propos d'études sur d'autres organismes. Yarsan *et al.* (2007) ont étudié les concentrations en métaux lourds dans des tissus de moules et montrent que le

vanadium existe naturellement dans l'environnement et qu'il est essentiel pour les organismes vivants. Par contre, des concentrations excessives dans des muscles de poissons peuvent être le signe d'une pollution par le pétrole, en effet ce dernier possède des concentrations importantes en vanadium (Agusa *et al.*, 2004, 2005). Cette constatation irait à l'encontre de ce à quoi nous pouvions nous attendre. En effet, la côte rocheuse paraît plutôt préservée de toute pollution aux hydrocarbures en comparaison à la côte sableuse. La côte sableuse est parsemée d'environ un port tous les 10 km. Or, c'est au niveau de ces ports que les quantités d'hydrocarbures dans l'eau sont les plus importantes. De plus, les aménagements côtiers artificiels sont le plus souvent adjacents à ces ports. Ainsi, selon les constatations d'Agusa *et al.* (2004 et 2005), les plus grands taux de vanadium dans les otolithes de poissons devraient être dans ceux de la côte sableuse. D'autant plus qu'une partie des poissons analysés sur la côte rocheuse proviennent de la réserve marine, a priori préservée d'éventuelles pollutions. Le vanadium signe d'une pollution plus importante sur la côte rocheuse est très surprenant même si le port de commerce et de pêche de Port-Vendres pourrait en être la cause. Une autre hypothèse qui pourrait expliquer ces différences est que le vanadium peut aussi être présent dans les roches, notamment les roches métamorphiques qui composent la côte rocheuse française et la chaîne des Albères, contrefort des Pyrénées. Même si aucune étude n'a été faite à ce sujet, cette hypothèse reste plausible, d'autant plus qu'aucune différence de concentration entre des otolithes de poissons de la réserve marine de Cerbère-Banyuls et d'une zone hors réserve a été observée. Dans ce cas là, la signature spécifique de la côte devrait être stable au cours du temps.

Cela ne remet pas en cause les différences significatives observées entre la composition élémentaire des otolithes de juvéniles de sars de la côte rocheuse et de ceux de la côte sableuse et ses enrochements artificiels. Ces deux zones sont séparées par une vingtaine de kilomètres. Or, dans une étude traitant d'une espèce proche de *Diplodus sargus* d'un point de vue systématique et écologique (*Diplodus vulgaris*) et dans une zone rocheuse de la mer Méditerranée, Gillanders *et al.* (2001) n'ont pu observer que peu de différences entre des sites séparés par une dizaine de kilomètres. Ainsi, le fait que la côte catalane soit séparée en deux systèmes très différents d'un point de vue géologique et géographique (côte sableuse - côte rocheuse) permet de caractériser une installation des poissons sur l'un ou l'autre des systèmes. A une échelle spatiale de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres, seules des différences entre des poissons d'estuaire ou de lagune avaient pu être mises en évidence (Gillanders et Kingsford, 2000 ; Gillanders, 2002a, 2002b, 2005). Contrairement à la région où Gillanders *et al.* (2001) ont mené leur étude sur *D. vulgaris*, la composition élémentaire est beaucoup moins

homogène dans les eaux de la côte catalane française. Même s'il existe des différences entre la côte rocheuse et les aménagements littoraux de la côte sableuse, il n'existe aucune discrimination entre les différentes stations au sein d'un même système. Il y aurait donc une certaine homogénéité au sein des stations de chaque système avec de faibles dissemblances observées entre elles, confirmant ce qui a été montré par Gillanders *et al.* (2001). Même si elles n'apparaissent pas significatives, de légères différences dans la composition élémentaire d'otolithe de juvéniles de sars de deux stations de la côte rocheuse ont été notées. Ces deux stations sont séparées de 6 km, mais le plus important est qu'une d'entre elles se situe dans la réserve marine de Cerbère – Banyuls. Ainsi, il pourrait être possible, à terme, de déterminer si un poisson adulte a passé sa phase d'installation dans la réserve marine ou non. En terme de gestion et de compréhension du fonctionnement des aires marines protégées, ce type de résultat pourrait permettre des avancées non négligeables. Concernant les enrochements côtiers de la côte sableuse, aucune différence n'apparaît entre les 3 sites bien qu'ils soient séparés par 4 à 6 km. Les eaux apparaissent encore plus homogènes sur cette partie du littoral, vraisemblablement à cause de la courantologie nord – sud (Guizien *et al.*, 2006) qui tendrait à homogénéiser les eaux présentes sur la bande côtière.

Sur la base de la microanalyse chimique des otolithes de juvéniles de sars communs de la côte catalane française, différencier des poissons ayant effectué leur phase d'installation sur la côte rocheuse de ceux l'ayant réalisée sur les enrochements côtiers de la côte sableuse est possible, cela, quelle que soit l'année considérée. En revanche, pour deux années successives, ce signal n'est pas le même et les années 2005 et 2006 sont clairement différentes. Cela pourrait être attribué au fait que seulement 5 éléments ont été pris en compte en 2005, contre 11 éléments en 2006. Au-delà du nombre d'éléments qui n'est pas, en soit, très déterminant, ce sont plutôt des éléments manquant en 2005 qui ont pu créer cette différence. En effet, en 2005, aucune donnée pour le vanadium n'est disponible faute d'une limite de détection acceptable. Or, l'importance de cet élément dans la discrimination faite entre les deux systèmes de la côte catalane française n'est plus à démontrer. Bien entendu, cette variabilité peut tout à fait être réelle, d'autant plus qu'un grand nombre d'études y font allusion. Eldson et Gillanders (2006) vont même jusqu'à mettre en évidence des variabilités saisonnières, hebdomadaires et même journalières dans des estuaires où la dynamique environnementale et les propriétés chimiques varient considérablement à petites échelles temporelles. Chittaro *et al.* (2004) ont analysé les otolithes d'un poisson Haemulidé des Caraïbes dans différentes zones. Ils ont constaté que seulement 42% des poissons analysés une année étaient correctement classés sur leur site de capture en se servant des informations chimiques des analyses effectuées sur des poissons de

l'année précédente. Cela démontre une variabilité temporelle non négligeable. D'autres auteurs font part de conclusions identiques. Gillanders (2002a) et Gillanders et Kingsford (2000) montrent qu'il existe des différences significatives dans la composition chimique des otolithes d'une année sur l'autre pour une même zone. La variation d'une année sur l'autre de la composition élémentaire des otolithes de juvéniles dans une même nourricerie pourrait donc donner des résultats erronés en ce qui concerne les interprétations spatiales (Gillanders, 2002a). Néanmoins, ces affirmations sont issues de travaux effectués dans des zones d'estuaire, extrêmement variables en termes de compositions chimiques (Roussiez *et al.*, 2006). Cette variabilité inter-annuelle pourrait être due à des conditions environnementales variables dans des milieux particuliers comme les estuaires. Gillanders (2002a) affirme que pour pouvoir identifier la nourricerie d'origine de poissons adultes, il est nécessaire de construire une banque d'empreintes chimiques chaque année, au lieu de se fier aux empreintes d'une seule classe de juvéniles afin de déterminer l'origine d'adultes de plusieurs classes d'âge. Par contre, s'il n'est possible d'effectuer les dosages que sur une seule classe de juvéniles, il faudra envisager, quelques années plus tard, de faire les analyses sur des adultes nés la même année que les juvéniles. C'est ce qu'a réalisé Gillanders (2002b) qui a prélevé et analysé des juvéniles nés en 1998. Deux ans plus tard, elle a collecté des adultes âgés de deux ans et par conséquent nés en 1998, les analyses révèlent une excellente corrélation entre juvéniles et adultes, ce qui permet de contourner la variabilité inter-annuelle.

Dans notre travail, les nourriceries de la côte rocheuse ont été séparées de celles de la côte sableuse par la microanalyse chimique des otolithes de juvéniles. Etant donné que les empreintes chimiques 2005 et 2006 ont été définies, l'empreinte 2005 étant un peu moins fiable car issue d'une étude préliminaire, nous avons pu rechercher la nourricerie d'origine de poissons adultes. Sans oublier qu'il puisse exister une variabilité inter-annuelle, même si les conditions environnementales des sites d'études sont plus stables que dans les estuaires. Nous avons décidé d'analyser des otolithes de poissons adultes afin d'appréhender une éventuelle différence de nourricerie entre des poissons pêchés sur la côte rocheuse et des poissons pêchés au niveau du cap Leucate (au nord de la côte sableuse), ainsi que des poissons marqués sur des enrochements artificiels côtiers ou non (récifs artificiels).

IV-2 Apport des microanalyses chimiques des otolithes à la compréhension de la dynamique des populations de sars de la côte catalane française

Après la campagne de marquage, relatée dans le chapitre 3, l'existence d'une connectivité entre les différents systèmes qui composent la côte catalane française, du moins en ce qui

concerne la phase adulte, a été mise en évidence. Il apparaît désormais opportun d'essayer de quantifier cette connectivité et d'estimer la part de chaque nourricerie dans la composition des populations adultes présentes sur cette zone.

La méthode de ponçage utilisée lors de notre étude, bien que fastidieuse mais efficace en comparaison à l'ablation laser, a permis d'obtenir des résultats comparables à ceux de la littérature. Rappelons que, pour analyser la dynamique des sars de la côte catalane, les microanalyses chimiques ont été réalisées, non pas sur l'otolithe entier mais sur la partie correspondant à la première année de croissance du poisson, donc globalement à sa phase d'installation. Les résultats qui en découlent concernent le passé du poisson et non pas sa vie entière, ou le moment de sa capture. Les otolithes de deux lots de poissons adultes, un pêché à cap Leucate, l'autre sur la côte rocheuse au niveau du cap Béar ont été analysés. Ces deux lots ont été complétés par des poissons marqués sur la côte sableuse (aménagements littoraux et récifs artificiels).

Nos résultats montrent que les sars pêchés au Cap Leucate ont eu un lieu d'installation différent de ceux pêchés sur la côte rocheuse. Même si les sars communs sont capables de grands déplacements (*cf.* chapitre précédent), il semblerait qu'il existe bien une sous-population au niveau du Cap Leucate et une autre au niveau de la côte rocheuse. Dans chaque sous-population, les poissons semblent avoir un lieu d'installation identique. Alors que les deux sites de prélèvement sont distants de 45 km, et qu'un sar peut parcourir plus de 30 km en moins de dix jours, aucun échange n'est observé entre les deux sous-populations. Aucun poisson ayant une phase d'installation caractéristique des sars de cap Leucate ne se retrouve dans la sous-population de la côte rocheuse et vice versa. Cela confirme ce qui avait été observé avec les marquages, à savoir l'absence de déplacements depuis la côte rocheuse vers des systèmes situés plus au nord et que les sars de cap Leucate et des zones avoisinantes avaient des déplacements dirigés vers le nord. Ainsi, cette observation réaffirme le fait qu'il n'y a pas d'échange entre ces deux sous-populations pendant la phase adulte, alors qu'il existe une connectivité durant la phase pélagique du cycle de vie.

L'apport de l'analyse des otolithes des sars marqués permet d'obtenir beaucoup plus d'informations. Tout d'abord, les deux poissons marqués sur les récifs artificiels du Barcarès, qui ont ensuite migré vers le nord possèdent la même signature élémentaire que les poissons pêchés à cap Leucate. Cela confirme l'hypothèse émise dans le chapitre 3 comme quoi la sous-population de cap Leucate est très mobile et couvre un espace assez important, englobant le cap Leucate, les récifs artificiels du Barcarès et sans doute d'autres zones plus au nord au niveau de Port-la-Nouvelle. Un troisième individu marqué a permis de formuler une

hypothèse sur le fonctionnement de cette sous-population de cap Leucate. Ce poisson a été marqué sur un aménagement littoral de la côte sableuse, puis recapturé une centaine de jours plus tard sur la côte rocheuse. La microanalyse chimique de ses otolithes nous apporte une information supplémentaire, à savoir que sa signature élémentaire correspond à celles des sars de cap Leucate. Si les poissons de cap Leucate ont eu une installation proche de cette zone, il pourrait exister des échanges entre le cap Leucate et la côte rocheuse *via* les enrochements artificiels. En prenant l'exemple de ce même individu, nous pouvons penser qu'il a fait son installation au niveau du cap Leucate, il a ensuite intégré la sous-population de cette même zone lors du recrutement. Par la suite, il aurait entrepris une migration plus au sud vers la côte rocheuse. Cette migration ne s'est pas faite en une fois, mais en plusieurs étapes sur les enrochements côtiers de la côte sableuse pour finir par arriver sur la côte rocheuse (fig. IV.16).

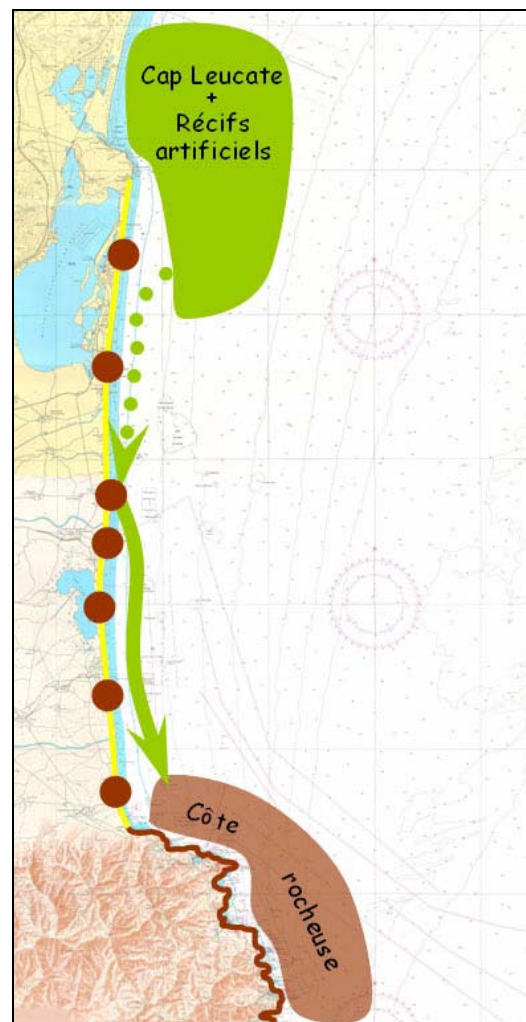


Figure IV.16 : Schéma de déplacement d'un poisson depuis la sous-population du cap Leucate jusqu'à celle de la côte rocheuse. Les flèches indiquent les déplacements, en pointillés : déplacement mis en évidence par la microanalyse chimique des otolithes ; en trait plein : déplacement mis en évidence d'après les marquages directs. Les ● représentent des enrochements côtiers artificiels.

Il est difficile de savoir ce qui a guidé ce déplacement, vraisemblablement la recherche d'habitats de nutrition. Dans cette zone, les habitats sont très fragmentés, entraînant des déplacements incessants. Le poisson a pu être emmené d'enrochements côtiers en enrochements côtiers par cette recherche de nourriture et d'habitats de refuge qui, au final, l'a conduit sur la côte rocheuse. Ce constat n'est réalisé que sur l'observation d'un seul poisson ; cependant les sars sont des poissons grégaires se déplaçant toujours en banc d'au moins une dizaine d'individus. Il est donc assez vraisemblable que ce poisson n'ait pas effectué ce déplacement seul et que ce ne soit pas un cas isolé.

A l'opposé, les résultats des analyses chimiques ont montré qu'un poisson marqué sur un aménagement côtier de la côte sableuse a la même signature élémentaire que les poissons de la côte rocheuse. Puis, dans une analyse privilégiant les éléments les plus discriminants, il a été montré que cinq poissons marqués sur ces aménagements ont des signatures chimiques semblables à celles observées sur les poissons pêchés sur la côte rocheuse. Cela indique qu'ils ont effectué leur installation dans la même zone. Ces cinq poissons sont âgés d'un à deux ans, par conséquent il semblerait qu'ils se soient installés sur des aménagements littoraux de la côte sableuse. En effet, lors de la campagne de marquage (chapitre 3), il a été montré que les sars quittaient les aménagements littoraux de la côte sableuse après un an ou deux ans selon les individus. Dans le cas présent, si les poissons sont toujours présents sur les aménagements littoraux, c'est parce qu'ils s'y sont installés. Par conséquent, la signature élémentaire des otolithes correspond à celle trouvée dans la zone des aménagements littoraux de la côte sableuse. De plus, un de ces cinq poissons marqués sur les aménagements littoraux a été recapturé sur la côte rocheuse. En estimant que les poissons pêchés sur la côte rocheuse y ont réalisé leur phase d'installation, cela signifierait que le poisson marqué sur un aménagement côtier de la côte sableuse et recapturé sur la côte rocheuse aurait effectué l'aller retour suivant : côte rocheuse → côte sableuse → côte rocheuse bien qu'il n'ait qu'un an. Or, dans le chapitre précédent, nous n'avons pas mis en évidence de déplacement depuis la côte rocheuse vers les zones situées plus au nord, dont les aménagements littoraux de la côte sableuse. Il apparaît alors très peu probable que ce poisson se soit effectivement installé sur la côte rocheuse. Cette phase d'installation a plutôt été réalisée sur un enrochement côtier de la côte sableuse comme les quatre autres poissons marqués sur cette zone. Cela implique alors qu'une partie des sars pêchés sur la côte rocheuse ait effectué leur phase d'installation sur ces aménagements littoraux. Nos résultats indiquent que le groupe de sars de la côte rocheuse peut être séparé en deux, donc qu'il existerait deux zones distinctes d'installation. La première se situerait sur les aménagements côtiers de la côte sableuse car des poissons

vraisemblablement issus de ces nourriceries ont la même signature chimique que des poissons pêchés sur la côte rocheuse donc sûrement la même zone d'installation. La deuxième zone d'installation pourrait être située sur la côte rocheuse. Un tiers des sars communs adultes présents sur la côte rocheuse sont issus de sars ayant comme nourricerie les aménagements littoraux de la côte sableuse. Dans le chapitre précédent, nos résultats montrent que 20% des sars ayant effectués leur phase d'installation sur les aménagements côtiers de la côte sableuse quittaient ce système pour rejoindre la côte rocheuse une fois adulte. Grâce à l'apport de la microanalyse chimique des otolithes, nous confirmons que ces sars représentent un tiers des sars adultes de la côte rocheuse. Cependant ce constat repose sur deux hypothèses.

- Les sars marqués sur les aménagements littoraux de la côte sableuse sont restés sédentaires durant leurs deux années de vie et ont une empreinte élémentaire caractéristique de la nourricerie « aménagements littoraux de la côte sableuse ». De nombreux arguments vont dans le sens de cette hypothèse.

- Pour chaque site, l'analyse n'a pas porté sur des poissons de même âge. Or, il existerait une variabilité inter-annuelle dans la composition élémentaire des otolithes de juvéniles de sars, entre les années 2005 et 2006. Cette variabilité, si elle existe, n'est pas détectable lors de l'analyse de la partie de l'otolithe correspondant à la première année de croissance des poissons adultes. Bien qu'ils ne soient pas nés la même année, tous les poissons de cap Leucate sont groupés entre eux ; le même constat est fait pour les poissons de la côte rocheuse. Dans ce cas, le vanadium a pu être analysé chez tous les adultes. C'est d'ailleurs cet élément qui participe le plus à la discrimination des adultes et des juvéniles de 2006. Les travaux faisant état d'une variabilité inter-annuelle dans la composition élémentaire des otolithes ne traitent que de quelques éléments : Sr, Ba, Mn pour Gillanders et Kingsford (2000) ; Sr, Ba, Pb pour Chittaro *et al.* (2004) ; Li, Mn, Sr, Ba pour Gillanders (2002a) et Sr, Ca, Ba, Mn pour Eldson et Gillanders (2006). Il n'existe aucune donnée impliquant les éléments Cr, Ni et V dans la variabilité inter-annuelle de la composition chimique des otolithes. Cela ne signifie pas forcément que ces éléments ne peuvent pas avoir des concentrations variables dans le temps, à moins que leurs sources soient stables ou indépendantes des conditions du milieu (température, salinité, etc.). Cela pourrait expliquer, en effet, le manque de variabilité entre des poissons d'âges différents dans notre étude. Dans ce cas là, une corrélation entre les résultats obtenus pour les juvéniles de 2006 et ceux des adultes devrait exister, or, ce n'est pas le cas. Pour l'expliquer, il se peut qu'il y ait eu une erreur dans l'analyse des échantillons par la machine. Même si deux échantillons certifiés sont utilisés afin de s'affranchir d'éventuels problèmes de machine, ces valeurs certifiées ne sont

pas disponibles pour tous les éléments (notamment Cr, Ni et V). Etant donné que les concentrations mesurées sont extrêmement faibles, de l'ordre du $\mu\text{g.g}^{-1}$, un simple problème de calibration pourrait entraîner des différences entre deux lots analysés séparément.

La microanalyse chimique des otolithes est de plus en plus utilisée comme marqueur naturel de changement d'habitat chez les poissons (Jonsdottir *et al.*, 2006, 2007). Par ailleurs, comme le laissent penser les travaux de plusieurs auteurs (Campana, 1999 ; Campana *et al.*, 2007), il apparaît judicieux de coupler cette technique à d'autres outils d'investigation. C'est ce qui a été réalisé dans notre étude en couplant des résultats obtenus par marquage direct des poissons et par des marqueurs naturels des otolithes. Cet outil apparaît, aujourd'hui, indispensable dans le but d'identifier les nurseries d'origine des poissons côtiers (Gillanders, 2005). Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de différencier une nursery de la côte rocheuse d'une nursery des aménagements littoraux de la côte sableuse, avec de plus fortes concentrations en éléments Sr, Zn, Ba, Ti et Cr sur les aménagements littoraux. En revanche, des taux de vanadium bien plus élevés ont été relevés sur la côte rocheuse. Même si dans les chapitres précédents, nous avons montré l'importance limitée de la lagune dans la dynamique des populations de sars, son identification sur la base d'empreintes chimiques est possible. De plus, il est aussi possible de différencier une installation dans la réserve marine de Cerbère - Banyuls d'une installation hors réserve. Cette différence est sûrement naturelle, mais elle peut aussi être due à une qualité d'eau différente dans la réserve marine du fait de la protection. Enfin, cette différence pourrait aussi être induite par un stress plus important à l'extérieur de l'aire marine protégée, induisant la production de vaterite dans l'otolithe à la place des cristaux d'aragonite habituels. Or, la vaterite n'incorpore pas la même quantité d'éléments traces, ce qui pourrait induire des différences d'empreinte chimiques (Melancon *et al.*, 2005 ; Morat, 2006 ; Tzeng *et al.*, 2007). Cependant, cette dernière hypothèse nous semble peu probable étant donné que lors de l'extraction, aucun otolithe vateritique n'a été trouvé. En effet, ceux-ci sont facilement reconnaissables par leur aspect translucide. La microanalyse chimique des otolithes pourrait être utilisée comme marqueur lors d'études ultérieures afin de quantifier, par exemple, les exportations de poissons depuis la réserve vers les zones alentours et vice versa. Couplée à l'ablation laser, il sera aussi possible de détecter si un poisson a passé un stade de sa vie dans la réserve ou non.

Nous avons confirmé qu'il existait bien une sous-population au niveau du cap Leucate. Elle s'étend sur une aire géographique assez vaste, située au moins depuis les récifs artificiels du Barcarès jusqu'à Port-la-Nouvelle (25 km de long). Au sein de cette sous-population, les

poissons sont extrêmement mobiles, certains pouvant rejoindre la côte rocheuse en faisant des étapes au niveau des enrochements côtiers de la côte sableuse. La quantification de ces échanges n'a pu être réalisée et la nourricerie de ces poissons n'a pu être identifiée. Ils semblent avoir la même origine : la zone d'installation la plus probable est au niveau de la côte du cap Leucate et des aménagements côtiers proches (ports du Barcarès, de Leucate et de Port-la-Nouvelle). L'existence d'une sous-population sur la côte rocheuse a aussi été confirmée. D'après nos analyses, un tiers des poissons de cet ensemble pourrait provenir des enrochements côtiers de la côte sableuse. Dans les chapitres précédents, de fortes densités de juvéniles sur les enrochements côtiers ont été constatées en comparaison à celles observées sur la côte rocheuse. Des déplacements de jeunes adultes (un à deux ans) depuis la côte sableuse vers cette côte rocheuse ont aussi été observés. La microanalyse chimique permet de quantifier ces déplacements. Cela montre le rôle primordial des aménagements littoraux dans la dynamique des populations de la côte catalane. Il est indispensable de les prendre en compte dans la gestion des espèces. Fondamentalement, nous pouvons nous poser la question de savoir quel était le fonctionnement des populations avant la mise en place de ces enrochements. Nous avons évoqué précédemment la possible substitution du rôle de nourricerie des lagunes par les enrochements côtiers artificiels. Il se peut que les populations de poissons aient vu leurs effectifs augmenter suite à la mise en place des enrochements artificiels. Cela est envisageable au vu de leurs capacités de déplacement et d'adaptation. Ceci a été vérifié lors de l'installation de récifs artificiels au Barcarès puisque deux ans après, les plus fortes abondances de sars de la côte catalane y ont été observées.

Malheureusement, il n'existe pas de données concernant les populations de poissons sur la période pré-installation des enrochements côtiers de la côte sableuse. Cependant, les pêcheurs les plus anciens ne semblent pas observer de changement positif depuis. Ce qu'il faut noter, c'est que l'apparition des aménagements littoraux coïncide avec le développement de la pêche et de la pression de l'homme sur l'environnement. Ainsi, les dommages créés par ces nouvelles pressions ont pu être masqués ou en partie comblés par l'apport de ces nouveaux habitats. Ces constatations sont valables pour le sar commun, mais aussi pour d'autres espèces fréquentant des biotopes semblables et ayant des capacités de déplacements aussi importantes comme le sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*), le sar tambour (*Diplodus cervinus*), le denti (*Dentex dentex*), voire le corb (*Sciaena umbra*). Ces mêmes constatations n'ont pas été observées sur l'autre espèce de grand sar, le sar à museau pointu (*Diplodus puntazzo*).

La technique de microanalyse chimique des otolithes ayant donné des résultats satisfaisants, il conviendrait de réaliser une banque d'empreintes chimiques d'otolithes pour chaque

nourricerie potentielle, chaque année et pourquoi pas pour plusieurs espèces. C'est ce que préconise Gillanders (2002a) et qui a été réalisé par Vasconcelos *et al.* (2007) sur les côtes portugaises.

Les résultats obtenus dans ce chapitre couplés à ceux obtenus dans les chapitres précédents vont permettre de discuter du rôle des enrochements côtiers dans la dynamique des populations des sars, mais aussi du rôle de la connectivité dans le maintien des populations.

Chapitre V : Discussion générale, conclusions et perspectives.

La question directrice de ce travail de thèse est d'arriver à mieux comprendre le maintien d'une espèce de poisson dans une zone se divisant en trois systèmes bien distincts : une côte rocheuse relativement naturelle, une côte dite sableuse mais de plus en plus rocheuse en raison de l'aménagement de la côte par l'homme avec des enrochements artificiels et enfin un milieu lagunaire lui aussi assez impacté par l'activité humaine. Il s'agit de comprendre le fonctionnement des populations au sein de chaque système, la connectivité pouvant exister entre ces systèmes et quel rôle peuvent avoir les enrochements littoraux artificiels. Pour répondre à cette question directrice, nous avons divisé notre travail en trois axes qui ont fait chacun l'objet d'un chapitre.

I- Les enrochements côtiers artificiels : des récifs artificiels adaptés aux juvéniles

D'après les résultats obtenus, nous pouvons dire que les enrochements côtiers de la côte catalane remplissent pleinement la fonction de nourricerie. Au moins deux des quatre critères indispensables pour caractériser une zone de nourricerie selon Beck *et al.* (2001) ont pu être mis en évidence. Le premier critère est celui de la présence durable de fortes densités de juvéniles. En effet durant les cinq à six mois que dure la phase d'installations des juvéniles de sar commun, de très fortes densités de juvéniles y ont été observées. De telles densités n'ont été constatées sur aucune autre zone naturelle de la côte catalane. Le deuxième critère validé par cette étude et ces aménagements littoraux est le recrutement de ces juvéniles sur les sites fréquentés par les adultes. En effet, nous avons pu mettre en évidence des déplacements depuis les nourriceries vers des habitats fréquentés par les adultes, notamment sur les sites naturels de la côte rocheuse, mais aussi sur des récifs artificiels (Lenfant *et al.*, 2007). Les deux autres critères définis par Beck *et al.* (2001) n'ont pas pu être évalués, ce sont : une alimentation privilégiant les proies produites *in situ*, permettant une croissance différentielle ainsi qu'une pérennité de la fréquentation impliquant une survie différentielle. Même si ces deux critères n'ont pas été vérifiés, les arguments développés ci-dessous plaident en faveur de leur recevabilité en ce qui concerne les enrochements côtiers. L'alimentation autorisant une croissance différentielle par rapport à d'autres sites doit cependant être vérifiée par une étude comparative prenant en compte la taille et la croissance des juvéniles au fil des jours et des mois ; une telle étude est réalisable par otolithométrie. Etant donné les observations de Clynick (2006) selon lesquelles les ports et les zones situées dans les parties protégées des brise-lames sont propices au développement du zooplancton, il est possible qu'il y ait une

forte abondance de nourriture dans ces zones et vraisemblablement une meilleure croissance des juvéniles de poissons dont le zooplancton constitue l'alimentation de base (Figueirido *et al.*, 2005). Néanmoins, ces considérations sont à prendre avec prudence car Quignard et Man-Wai (1982) ont montré que, dans un environnement de type nourricerie, par conséquent avec une nourriture abondante et de grandes abondances de juvéniles, il existait une forte compétition intra-spécifique conduisant à une croissance différentielle au sein même de la nourricerie, avec des individus de grandes tailles et des individus de plus petite taille. Ainsi la seule abondance de nourriture ne peut être prise en compte, il est important de considérer d'autres paramètres (compétition inter et intra-spécifique, prédation, etc...). Le dernier critère de Beck *et al.* (2001) caractérisant les nourriceries et qui n'a pu être totalement vérifié est la pérennité de la fréquentation du site. Les suivis effectués durant ces trois années montrent que ces habitats sont extrêmement fréquentés chaque année par de nouvelles arrivées de juvéniles. Les habitats semblent généralement saturés, sauf pour une année (2007) considérée comme mauvaise avec des densités divisées de moitié. D'après les observations de Jouvenel (1995) et Romans (2003), ces habitats côtiers semblent très fréquentés depuis plusieurs années, voire même depuis leur installation. En effet des observations préliminaires menées sur un brise-lame installé à St Cyprien en octobre 2005 montrent que dès le mois de mai suivant il était colonisé par des juvéniles avec des densités comparables à celles observées sur les brise-lames adjacents beaucoup plus anciens.

Tous les éléments énumérés précédemment tendent à montrer que ces enrochements côtiers artificiels sont de réelles nourriceries, au même titre que des mangroves ou des herbiers en milieu corallien (Johnston et Sheaves, 2007 ; Unsworth *et al.*, 2008), des marais, des estuaires ou des lagunes en milieu océanique tempéré (Lafaille *et al.*, 2000 ; Parlier *et al.*, 2006 ; Craig *et al.*, 2007 ; Kellison et Taylor, 2007 ; Vinagre *et al.*, 2008) mais aussi les lagunes méditerranéennes pour certaines espèces de poissons (Bruslé et Cambrony, 1992 ; Koutrakis *et al.*, 2005 ; Franco *et al.*, 2006). Ce constat n'est pas forcément applicable à tous les enrochements côtiers artificiels rencontrés sur tous les littoraux de notre planète. Il faut noter les particularités des enrochements côtiers de la côte catalane mais aussi, de façon plus générale, de la côte du golfe du Lion.

- Tout d'abord, cette côte se situe sur la bordure de la mer Méditerranée, c'est-à-dire avec des marées négligeables à l'échelle des études de dynamique de populations. Autrement dit, ces enrochements côtiers sont constamment baignés par les eaux. Le même constat ne peut être réalisé en ce qui concerne la côte de l'océan Atlantique par exemple, où les enrochements côtiers jouent leur rôle de protection seulement lors des hautes eaux et sont

ainsi à sec lors des basses eaux. Ils sont par conséquent incompatibles avec la fonction de nourricerie pour des poissons.

- Le plateau continental au niveau de la côte sableuse catalane et du golfe du Lion est très large, les pentes sont très faibles en comparaison de ce qui est rencontré sur les côtes rocheuses catalanes, mais aussi provençales et de la Côte d'Azur. Cela implique que les profondeurs sont très faibles au niveau des enrochements côtiers, généralement de l'ordre de 3 m, parfois 6 m. Ces faibles profondeurs sont idéales pour un grand nombre de juvéniles de Sparidés *a fortiori* si elles sont associées à des pentes très faibles (Harmelin-Vivien, 1995). Ruitton (1999) a comparé les communautés de poissons entre des sites naturels et artificiels du complexe côte provençale – Côte d'Azur et n'a pas noté de différence notable entre les juvéniles présents sur des sites artificiels ou naturels. Une des raisons pourrait être que les enrochements côtiers de cette partie du littoral sont généralement posés sur des fonds d'une dizaine de mètres, non propices à l'installation des juvéniles de sars communs par exemple. Alors que sur des enrochements côtiers dont la profondeur n'excède pas 4 m, Guidetti (2004) et Clynick (2006) ont constaté que les densités de juvéniles de sars étaient plus importantes que sur les zones naturelles adjacentes.

- Il faut aussi noter que ces zones d'enrochements artificiels peuvent être alimentées en juvéniles par des adultes présents en grand nombre sur des zones adjacentes et que la courantologie permet l'alimentation des nourriceries en juvéniles. En effet, il existe un pool d'adultes géniteurs potentiellement très important au niveau des récifs artificiels et du cap Leucate. Dans d'autres cas, la présence d'une réserve marine à proximité peut constituer une source potentiellement importante de futurs juvéniles (Clynick, 2006).

Les enrochements côtiers de la côte catalane et de l'ensemble des aménagements littoraux du golfe du Lion sont donc des nourriceries pour certaines espèces et à ce titre, ils ont un rôle primordial dans le fonctionnement des populations et des écosystèmes, que ce soit au niveau de ces aménagements mais aussi des zones adjacentes. Ces récifs artificiels côtiers qui ont été mis en place sans aucun but écologique (gestion de la ressource, préservation de la biodiversité, etc.) s'avèrent être d'excellents récifs artificiels de production contrairement à ce qui est généralement constaté sur des récifs artificiels plus profonds. En effet, la mise en place de ces derniers entraîne généralement le déplacement de poissons adultes depuis des zones environnantes vers ces récifs. Il n'y a alors pas de production mais un effet de concentration. Dans le cas des récifs artificiels côtiers (enrochements côtiers), des larves sont captées par ces édifices, elles trouvent un habitat essentiel qui leur est favorable et vont pouvoir croître

jusqu'au recrutement. S'il n'y avait pas eu ces récifs, les larves seraient arrivées sur une zone sableuse les condamnant probablement, faute d'habitat adéquat. Sur le cordon sableux du golfe du Lion, ces enrochements côtiers apparaissent donc comme une aubaine puisqu'ils sont de véritables récifs artificiels de production de poissons de plusieurs espèces. En faisant une étude comparative, Guidetti (2004) a montré qu'il rencontrait 4 espèces de poissons sur les fonds sableux voisins d'un enrochement côtier sur lequel il a dénombré pas moins de 21 espèces de poissons.

Par ailleurs, il eut été logique que les premiers récifs artificiels fussent installés sur des faibles profondeurs. Effectivement, un très grand nombre d'espèces de poissons méditerranéens effectuent leur installation dans ces eaux peu profondes, notamment des espèces cibles de la pêche artisanale : les sars, la dorade grise, la dorade royale, le loup, le mérrou, le denti et le corb. Mis à part le mérrou, nous avons rencontré tous les juvéniles de ces espèces sur les enrochements côtiers de la côte sableuse. Même si nous n'avons pas pu faire des inventaires sur ces zones, la présence d'espèces rares comme le corb, le denti, le sar tambour et les langoustes reflète une forte biodiversité comme le suggère Guidetti (2004) avec 21 espèces de poissons présentes sur quelques centaines de mètres de brise-lames.

Il faut garder à l'esprit que ces enrochements côtiers ont été mis en place uniquement dans un but de création de port ou de lutte contre l'érosion des plages. Leur mise en place a détruit beaucoup d'espèces des communautés benthiques notamment des annélides polychètes, mais aussi des bivalves (Nelson, 1993). Les modifications hydrologiques qu'ils entraînent ont créé une certaine turbidité pouvant être néfaste aux herbiers de phanérogames marines (Ruiz et Romero, 2001). Néanmoins, ils ont aussi considérablement augmenté la biodiversité, notamment des poissons (Guidetti, 2004 ; Clynick, 2006) et ainsi participé au maintien d'espèces. De plus l'impact positif de ces enrochements pour le développement ou le maintien des pêcheries n'est pas négligeable puisque ces juvéniles ont tendance à quitter ces zones côtières pour des zones plus profondes lorsqu'ils deviennent adultes. Cependant, une partie de la faune et de la flore benthique des fonds sableux ne peut pas être impunément détruite pour favoriser un écosystème de fonds rocheux. Lors de futurs aménagements, il faudra toujours tenter d'impacter au minimum le milieu originel.

Il pourrait être utile de créer des récifs artificiels plus profonds (15-20 m) à proximité des enrochements côtiers artificiels. Une fois adultes, les poissons pourraient alors rejoindre ces récifs artificiels où ils se concentreraient et seraient alors accessibles à la pêche. Cela implique de protéger les enrochements côtiers de toute forme de pêche, mais aussi de la pollution. Les juvéniles sont très peu pêchés si ce n'est par quelques plaisanciers durant la période estivale,

prélèvements qui apparaissent comme négligeables. En revanche ces juvéniles et leur habitat sont très sensibles à toute forme de pollution. Celle-ci peut être très présente du fait de la proximité des ports et de l'activité nautique qui y est associée. Néanmoins, des améliorations certaines ont été constatées dans la région lors des dernières années (récupérations des huiles, des hydrocarbures, station d'épuration des eaux à la sortie des aires de carénage). Les microanalyses chimiques des otolithes effectuées sur les juvéniles de sars montrent que les concentrations en métaux lourds (Pb, Zn, Cr, Ti) sont plus importantes au niveau des enrochements côtiers par rapport aux concentrations observées sur les sites naturels de la côte rocheuse. Cependant rien ne permet de dire que ces concentrations plus élevées sont dues à une plus forte pollution au niveau des enrochements de la côte sableuse. Aux très faibles concentrations observées, ces éléments pourraient être naturellement présents dans l'eau de mer (Yarsan *et al.* 2007). Il paraît tout de même intéressant de mener une étude toxicologique sur les juvéniles de poissons effectuant leur installation dans ou à proximité des ports, et notamment sur l'effet que pourrait avoir un séjour prolongé dans des eaux potentiellement polluées. Cela pourrait permettre de déterminer les effets sur les poissons eux-mêmes, en termes de fitness, mais aussi sur leurs prédateurs, dont l'Homme.

Les enrochements côtiers artificiels tels qu'ils sont conçus sur la côte catalane paraissent donc être d'excellents récifs artificiels ciblant le stade juvénile d'un grand nombre d'espèces de poissons. Ceci peut s'expliquer par leur conception en gros blocs de roche (un à deux mètres de large), associés à des rochers plus petits pour stabiliser l'ensemble, ce qui permet d'avoir une multitude d'anfractuosités de tailles diverses particulièrement adaptées aux juvéniles de Sparidés, qui plus est à de faibles profondeurs parfaitement propices pour cette phase du cycle de vie. Ainsi aucune amélioration de conception ne peut être proposée puisque le modèle existant donne déjà entièrement satisfaction. En revanche nous suggérons fortement de privilégier les enrochements de ce type plutôt que des enrochements réalisés à l'aide de tripodes en béton qui procurent beaucoup moins de variabilité dans les habitats et très peu d'anfractuosités de petite taille. D'ailleurs sur le seul enrochement de la côte catalane de ce type (port d'Argelès), très peu de juvéniles ont été observés lors de plongées de reconnaissance. Une étude comparative entre ces deux types d'enrochements pourrait confirmer ces suppositions. D'après nos résultats, nous pouvons affirmer que dans la lutte contre l'érosion des plages, il est préférable de privilégier la mise en place d'enrochements côtiers plutôt que de procéder au réensablement des plages. De plus en plus de municipalités de la côte du golfe du Lion (Leucate, Sète, Le Grau du Roi, Canet) confrontées à une érosion de leurs plages se tournent ou veulent se tourner vers des opérations de réensablement via des

dragages au large (Anonyme, 2007). Ce type de pratiques est doublement destructeur puisque les dragages vont entraîner de fortes mortalités de la macrofaune benthique (Sarda *et al.*, 2000 ; Van Dalssen *et al.*, 2000) et le relargage du sable sur la bande côtière va recouvrir les peuplements benthiques en place et les tuer (Nelson, 1993). Sans nier l'éventuel impact sur l'environnement de l'extraction des rochers dans les carrières, la mise en place d'embrochements côtier va « seulement » avoir pour effet de détruire les communautés benthiques qu'il va recouvrir, le changement de courantologie induit va aussi pouvoir modifier les communautés présentes à proximité. En revanche après quelque mois de colonisation par une multitude d'espèces, ces embrochements vont devenir de véritables oasis en termes de biodiversité (Ruitton, 1999 ; Guidetti, 2004 ; Clynick, 2006). Bien entendu, ce constat ne sera valable que si l'embrochement est placé dans une zone initialement pauvre en diversité. Dans des habitats où la diversité est très riche, du type des récifs coralliens ou herbiers de posidonie, la mise en place d'embrochement peut avoir des conséquences dramatiques sur le maintien des populations et de la biodiversité déjà présentes. Il apparaît clair que le littoral du Languedoc Roussillon se prête parfaitement à la mise en place de ce type de structure.

L'état des lieux effectué par Quignard et Raibaut (1993) permet de montrer un peu plus le rôle important que peuvent avoir les embrochements côtiers artificiels et la connectivité qu'ils permettent d'entretenir avec les zones naturelles dans le maintien de la biodiversité, voire son augmentation. Ces auteurs relatent les modifications faunistiques et démographiques de l'ichtyofaune de la côte du golfe du Lion. Il en ressort que des espèces comme le sar tambour, le denti et le sar à museau pointu sont observées sur ces zones à partir de la fin des années 1970, alors qu'elles ne l'étaient pas auparavant. Cette période coïncide avec la mise en place massive des embrochements côtiers artificiels sur les côtes sableuses du Languedoc-Roussillon. Or au cours de notre étude, nous avons constaté que les juvéniles de ces espèces appréciaient les embrochements côtiers artificiels, au même titre que les juvéniles de sars communs qui sont tout de même plus nombreux. Dans ce cas là, l'effet du réchauffement climatique ne peut pas être avancé puisque le sar tambour est fréquemment rencontré sur la côte du golfe de Gascogne, dont les températures sont bien plus froides qu'en mer Méditerranée. La création de nouveaux habitats pour les juvéniles semble être le facteur déclenchant de l'apparition de ces espèces.

II- La connectivité et son rôle dans le maintien des populations de poissons

La connaissance de la dynamique et de la connectivité des populations est indispensable à une gestion et une conservation optimale des écosystèmes marins. Evaluer la connectivité devient alors primordiale afin de conserver au mieux les écosystèmes et la biodiversité. Ces propos de Sale *et al.* (2005) montrent à quel point les résultats obtenus durant ce travail de thèse sont importants dans la compréhension du fonctionnement des populations de poissons sur la côte catalane française, mais aussi plus généralement sur des zones d'habitats fragmentés. Alors que les espèces caractéristiques des zones rocheuses devaient autrefois être cantonnées à la côte rocheuse et à quelques autres éperons rocheux (cap Leucate, roches isolées du Barcarès par exemple), la mise en place d'enrochements côtiers artificiels sur la côte sableuse et donc la création d'habitat rocheux fragmentés ont permis l'extension de ces populations de poissons, du moins pour certaines espèces, 21 dans le cadre de l'étude de Guidetti (2004) en Italie. Nous avons observé que ces nouveaux habitats ne sont que transitoires pour le sar commun, que ce soit pour les adultes ou les juvéniles.

Nous avons aussi supposé qu'il existait une connectivité à l'état larvaire durant la phase pélagique mais aussi lors du stade adulte durant la phase benthique du cycle de vie. La connectivité entre populations assurée par la phase pélagique est essentielle et principale chez les poissons coralliens (Maurice *et al.*, 2002). Pour des espèces de zones tempérées la connectivité lors de cette phase apparaît aussi primordiale. Nos résultats ont permis d'émettre l'hypothèse selon laquelle des flux de larves seraient émis au niveau du cap Leucate et suivant le courant dominant nord-sud alimenterait les enrochements côtiers de la côte sableuse. De la même façon, des larves émises au niveau de la réserve marine de Cerbère-Banyuls seraient entraînées vers le sud en Espagne. Cette hypothèse permettrait d'expliquer les différences d'abondance de juvéniles observées entre les enrochements côtiers qui peuvent contenir jusqu'à 144 000 juvéniles et la côte rocheuse naturelle qui en contient au maximum 9 000. Ces hypothèses de connectivité ont été émises sans tenir compte d'un éventuel phénomène d'autorecrutement. Néanmoins, il est peu probable qu'il y ait des phénomènes de rétention favorisant l'autorecrutement sur la côte sableuse étant donné sa rectitude et par conséquent le peu d'endroits susceptibles de créer des gyres permettant la rétention. Même si des inversions de courants peuvent permettre des phénomènes de rétention, cela semble peu plausible étant donné la dominance du courant nord-sud dans la zone (Guizen *et al.*, 2006), jusqu'à 230 jours par an (Wilke, 1999). Jusqu'alors, la rétention des larves était souvent attribuée à des phénomènes liés à des zones de tourbillon, donc simplement due à la courantologie ambiante (Werner *et al.*, 1997). Désormais il faut aussi tenir compte des capacités de nage des larves

qui peuvent grandement participer à la rétention. En effet, Leis (2006) a montré que selon l'espèce de poisson considérée une larve est capable de nager de 10 à 100 km à la vitesse de 7 km.h⁻¹ sans repos, ni alimentation. Il est alors envisageable de mesurer expérimentalement la capacité de nage des larves de sars afin de voir si elles sont capables d'atteindre de telles vitesses et par conséquent de créer de la rétention par leur nage. La phase larvaire est extrêmement compliquée à étudier (Roussel, 2007) notamment à cause de la production d'une multitude d'œufs et de larves couplée à des taux de mortalité très élevés (Thorrold *et al.*, 2002) mais aussi à l'investigation scientifique en milieu pélagique toujours très compliquée. Malgré cela, des outils ont été mis en place pour mesurer la dispersion et la rétention larvaire. Le marquage artificiel des otolithes par des isotopes de métaux lourds en fait partie. Le principe consiste à injecter un isotope rare d'un métal lourd (généralement le baryum) dans des femelles matures. Cet isotope va être transmis à sa descendance, il sera alors possible de connaître le lieu d'origine des juvéniles par microanalyse chimique de leurs otolithes (Jones *et al.* 1999 ; Swearer *et al.*, 1999 ; Thorrold *et al.* ; 2006). Cette technique est tout de même à utiliser avec précaution lorsque l'étude porte sur des espèces cibles de la pêche, l'utilisation d'isotope radioactif pouvant avoir des conséquences sur la santé humaine. Ainsi des outils génétiques permettent désormais l'analyse de parenté, des études ont montré qu'il devient alors possible d'estimer l'autorecrutement et par la même occasion la dispersion chez des poissons tropicaux (Jones *et al.*, 2005). De telles études sont envisageables pour valider nos hypothèses et connaître la provenance de ces juvéniles présents sur les enrochements côtiers de la côte sableuse. Pour continuer dans ce sens, il serait nécessaire de connaître les lieux de ponte des sars communs, par des pêches expérimentales, mais aussi par des suivis en télémétrie acoustique durant la période de reproduction. Une étude pointue de la courantologie au niveau du cap Leucate et de la côte sableuse permettrait de mettre en évidence ou non la présence de zones de rétention favorables à l'autorecrutement.

Notre étude a aussi permis de mettre en évidence une connectivité entre sous-populations pour la phase adulte. Dans certains cas, les échanges observés ont pu être quantifiés. Vingt pourcents des sars effectuant leur phase d'installation sur les enrochements côtiers artificiels quittent ces zones une fois adultes en direction de la côte rocheuse. Les microanalyses chimiques couplées aux marquages de poissons ont permis d'estimer qu'un tiers des sars de la côte rocheuse pourraient être issus des aménagements littoraux de la côte sableuse. Sachant que les juvéniles de ces enrochements artificiels semblent être issus de zones encore plus au nord (cap Leucate), il existerait une connectivité orientée du nord vers le sud suivant le courant principal sur la côte catalane française. Cette connectivité pourrait être qualifiée de

connectivité par étapes puisque les juvéniles vont élire domicile sur les enrochements côtiers pendant un à deux ans. Il semblerait qu'il existe des déplacements d'adultes vers le nord, cependant il n'est pas possible de dire s'ils correspondent à des déplacements vers d'autres sous-populations ou à l'intérieur d'une même sous-population occupant une zone très vaste. Etant donné que depuis le delta du Rhône jusqu'à des zones situées au sud du cap Creus, la courantologie principale est orientée en suivant le trait de côte vers le sud (Gatti *et al.*, 2006). Nous pouvons clairement poser la question des limites du système étudié. Au nord, il existe des zones rocheuses réputées comme poissonneuses, le cap d'Agde et les Aresquiers (Dupont, 2006). Entre ces zones rocheuses, une multitude d'enrochements artificiels ont été installés. Nous pouvons donc penser qu'il existerait une sous-population de sars communs au Cap d'Agde et une autre aux Aresquiers. Par une connectivité en cascade dirigée du nord vers le sud, l'existence d'échanges entre toutes ces zones peut être imaginé, jusqu'à la côte rocheuse catalane puis l'Espagne. La sous-population des Aresquiers alimenterait celle du cap d'Agde qui alimenterait à son tour le cap Leucate, puis la côte rocheuse qui elle-même alimenterait la côte espagnol du cap Creus. Les nombreux enrochements côtiers de la longue côte sableuse du golfe du Lion joueraient le rôle de nourriceries pour ces diverses populations. Les limites de ce schéma de fonctionnement seraient l'alimentation de la population des Aresquiers. Rien n'empêche de penser qu'il puisse exister des phénomènes de rétention au nord de cette zone dans le golfe d'Aigues-Mortes, extrêmement riche en enrochements côtiers artificiels. Etant donné les capacités de déplacements observés chez les sars communs, il paraît aussi tout à fait possible que des poissons de la côte provençale puissent venir intégrer les sous-populations du golfe du Lion. D'ailleurs de tels échanges avaient été observés par Chauvet *et al.* (1992) pour des dorades et des loups. Une telle connectivité comme celle décrite dans la figure V.1 pourrait expliquer en partie pourquoi Lenfant (1998) ne trouve pas de différenciation génétique chez les sars de différents sites de la Méditerranée, si ce n'est dans des zones très isolées comme l'île d'Elbe. La dynamique des populations de sars communs de la côte française méditerranéenne pourrait être assimilée à une métapopulation, du moins selon la définition de Hanski (1999), selon laquelle les phénomènes d'extinction-recolonisation des sous-populations ne seraient pas obligatoires.

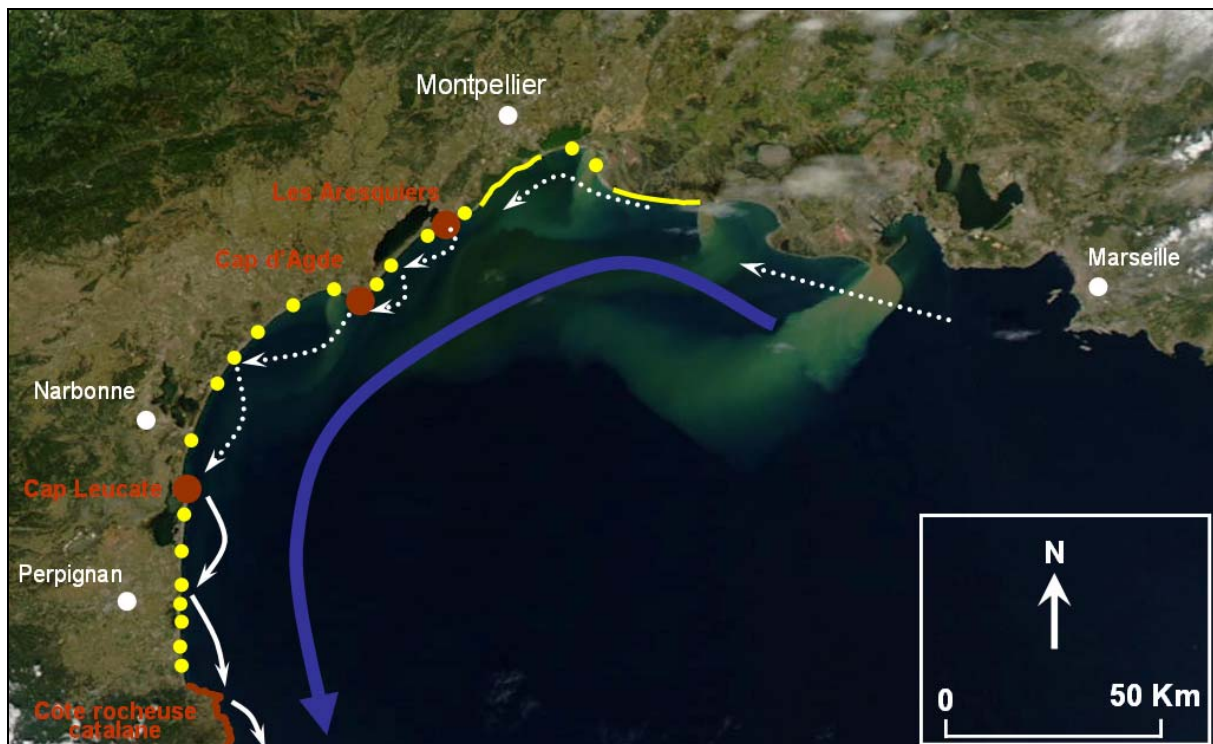


Figure V.1 : Schéma théorique d'une connectivité en cascade entre les sous-populations de sars communs du golfe du Lion. Les zones en marron sont des zones rocheuses naturelles, en jaune : les enrochements côtiers artificiels. La flèche bleue indique le courant dominant selon Gatti *et al.* (2006), les flèche blanches indiquent les flux d'individus (quelque soit la phase du cycle de vie), en traits pleins : les flux que nous avons mis en évidence et en pointillés : des hypothèses que nous avons émises. Image satellite modifiée d'après : <http://www.isteam.univ-montp2.fr/>.

Une telle implication des enrochements côtiers artificiels dans la connectivité entre les sous-populations de sars de la côte catalane, mais aussi de l'ensemble du golfe du Lion amène à poser la question du fonctionnement de ce système avant l'installation massive de ces structures dans les années 1960-1970, installation se poursuivant encore à l'heure actuelle. Deux hypothèses ont été émises pour répondre à cette question. La première est que ces enrochements côtiers auraient pu dans certains cas se substituer aux lagunes languedociennes dans leur rôle de nurserie. Celles-ci sont très nombreuses sur la côte et parfois encore très riches en juvéniles pour certaines (Quignard et Man-Wai, 1982, 1983 ; Quignard *et al.*, 1984). Si les juvéniles étaient présents en grand nombre dans ces lagunes avant l'installation des enrochements côtiers, cette hypothèse aurait pu être validée au niveau de la lagune de Salses-Leucate. Cependant les données antérieures aux années 1960 sont peu nombreuses et incomplètes, il est par conséquent difficile de se prononcer quant à la fréquentation des lagunes par les juvéniles de sars avant les années 1960. La seconde hypothèse est que les populations de sars communs étaient bien moins importantes avant la mise en place de ces enrochements côtiers très favorables à la phase juvénile. L'extension des populations et la

connectivité mise en évidence dans cette étude pourraient coïncider avec l'anthropisation des côtes sableuses. Nous observons ce phénomène chez le sar tambour (*D. cervinus*), jamais observé ou sporadiquement sur la côte du golfe du Lion avant 1978 (Quignard et Raibaut, 1993) puis devenu courant, avec une phase juvénile très fréquente sur les enrochements côtiers artificiels (Pastor *et al.*, *in prep*). De la même façon, l'apport des récifs artificiels plus profonds dans le golfe du Lion a semble-t-il été favorable à l'installation du grondeur métis, *Pomadasy incisus* (Pastor *et al.*, *in press*). Ainsi l'apport de nurseries aurait permis le développement de ces populations au niveau de ces habitats fragmentés. Malheureusement aucune donnée n'est disponible concernant les pêcheries de sars avant 1960. D'après les dires des pêcheurs, il semblerait qu'ils n'observent pas plus de sars maintenant que par le passé. Ces années 1960-1970 correspondent aussi à une période de développement exponentiel de la pêche dans la région. La mise en place des enrochements côtiers artificiels pourrait masquer l'effet de la pêche en augmentant la production de poissons alors qu'en parallèle, l'accroissement de l'effort de pêche tendrait à faire baisser les effectifs de poissons. Pour trancher entre les deux hypothèses que nous venons d'émettre, il semble indispensable de déterminer la nursery d'origine des sous-populations de sars des côtes sableuses du golfe du Lion dans des zones où les enrochements côtiers artificiels sont peu nombreux, au niveau de l'étang de Lapalme par exemple. Néanmoins, l'absence de données antérieures aux années 1960 empêchera de savoir si l'installation des enrochements côtiers artificiels a généré un accroissement des populations de sars.

Il est vrai que l'étude de la dynamique des populations oblige le scientifique à borner le système qu'il veut étudier. Dans le cas de l'étude du sar commun, c'est-à-dire une espèce à longue phase pélagique (28 jours) puis avec une phase adulte mobile, il apparaît que l'étude de la seule côte rocheuse catalane ne semble pas être la bonne échelle spatiale pour la compréhension du fonctionnement de l'espèce à l'échelle de la population. Etant donné qu'une grande partie des juvéniles proviennent de zones situées au nord et que la majorité des juvéniles produits sur place semble être exportée vers le sud de la zone, un système centré sur la côte rocheuse ne peut fonctionner en système clos. Il est désormais important d'étendre la zone d'étude notamment à la partie nord qui, au vu de la courantologie, va influencer directement sur la côte rocheuse catalane. L'influence de la côte espagnole au sud semble moins importante. Ceci peut être illustré par le cas de deux espèces très abondantes au niveau du cap Creus et des zones plus au sud : la girelle paon (*Thalassoma pavo*) et le grondeur métis (*Pomadasis incisus*). Le fait que la côte espagnole soit leur limite nord de répartition est souvent évoqué pour expliquer leur absence de la côte catalane française. Cependant cet

argument est discutable puisque ces espèces sont très bien représentées sur des zones plus au nord comme la côte d'Azur, la Provence ou la mer Adriatique, du moins pour la girelle paon (Guidetti *et al.*, 2002 ; Guidetti et Dulcic, 2007). Nous pouvons avancer l'hypothèse qu'une courantologie défavorable expliquerait le fait que des espèces soient pratiquement inexistantes sur la côte rocheuse française alors qu'elles sont abondantes à une trentaine de kilomètres de là. Tout au plus une dizaine de girelles paons ont été observées sur la côte catalane française lors des 10 dernières années. Les grondeurs métis n'ont été observés qu'une seule fois et qui plus est sur des récifs artificiels (Pastor *et al.*, *in press*).

Boudjemadi *et al.* (1999) estiment que la fragmentation de l'habitat est un des facteurs impliqués dans la crise d'extinction actuelle. Ce constat n'est pas remis en cause tant il paraît flagrant en milieu terrestre, cependant la phase larvaire dispersive d'une majorité d'organismes marins tend à limiter les effets de cette fragmentation. Dans le cas, peut-être exceptionnel, de celui de notre étude, la fragmentation permet le maintien de la biodiversité et, par l'apport de nouvelles espèces, va ainsi favoriser son augmentation. Cela est valable pour des espèces capables d'assurer la connectivité entre ces différents habitats tant par la phase larvaire dispersive que par la mobilité de la phase adulte. Des exemples semblables pourraient exister en milieu terrestre, notamment chez les oiseaux, eux aussi très mobiles et potentiellement capables d'assurer la connectivité entre des habitats fragmentés pour certaines espèces (Uezu *et al.*, 2005). Nous proposons dans ce cas d'employer le terme de fragmentation positive. L'aspect positif est justifié par l'apport d'habitats, mais aussi par le rôle positif de ces habitats dans le maintien de la biodiversité. Des exemples de fragmentation positive ont aussi été décrits chez des végétaux par Burgess *et al.* (2006) et chez des chauves-souris par Gehrt et Chelsvig (2004), dans ce cas la construction de villages ou de maisons dans des zones agricoles ont été bénéfiques aux populations de Chiroptères. A l'opposé, nous parlerons de fragmentation négative lorsque la fragmentation est créée par la destruction d'une partie des habitats et entraîne des effets négatifs sur le fonctionnement des populations et le maintien de la biodiversité.

III- Conclusion et proposition de gestion de la bande côtière du golfe du Lion

Une fois achevé, ce travail de thèse suscite encore de nombreuses interrogations. Cependant, nous avons mis en évidence le rôle de nourricerie des enrochements côtiers artificiels de la côte catalane française, mais aussi la connectivité qu'il pouvait exister entre les sous-populations de cette zone, tant pour la phase benthique que pour la phase pélagique du cycle de vie des poissons. Nous avons pu donner une estimation de ces échanges en ce qui concerne

la phase adulte tout en déterminant la période de ces échanges (automne et printemps). Nos résultats permettent ainsi d'étoffer les connaissances générales sur l'écologie d'une espèce majeure de l'ichtyofaune méditerranéenne, notamment sur les capacités de déplacement de ce poisson, jusqu'à 35 km parcourus en 13 jours. D'Anna *et al.* (2004) ont observé des déplacements ne dépassant pas 17 km. Pour une autre sous-espèce (*D. sargus cadenati*), Santos *et al.* (2006) ont enregistré des déplacements de 120 km, le comportement de cette sous-espèce est peut être différent de ce que nous observons chez *D. sargus sargus* en mer Méditerranée. Néanmoins ces deux études ont été réalisées avec des sars d'aquaculture dont le comportement est probablement modifié du fait de leur période de captivité. Notre étude est donc la première mettant en évidence de tels déplacements chez des sars communs sauvages. Des suivis de pêche à la ligne réalisés en parallèle de ce travail de thèse montrent aussi que le sar commun peut avoir une activité nocturne bien qu'il soit décrit comme une espèce diurne (Fisher *et al.*, 1987).

Ces résultats nous incitent à émettre des propositions de gestion pouvant être retenues dans des plans de gestion intégrée des zones côtières, à l'échelle de la côte catalane mais aussi à l'échelle de tout le golfe du Lion.

- Etant donné le rôle de nourricerie que peuvent avoir les aménagements côtiers de la côte sableuse, il convient de protéger les plus productifs en termes d'adultes exportés. Pour cela il est nécessaire de caractériser les habitats de la plupart des aménagements côtiers de la côte du golfe du Lion et d'effectuer des comptages afin d'appréhender les abondances de juvéniles qui y sont associés. Cela a été initié sur la côte catalane et doit être maintenu pour suivre d'année en année l'évolution du nombre de juvéniles. Il sera ensuite nécessaire de préserver les habitats en veillant notamment à la qualité de l'eau. En effet, ces aménagements littoraux sont souvent disposés dans ou à proximité de zones portuaires, plutôt sujettes à des rejets en mer de divers polluants. Comme suggéré précédemment, nous conseillons d'installer des enrochements côtiers artificiels plutôt que de pratiquer du réensablement des plages dans la lutte contre l'érosion de celles-ci. Ce point de vue est celui d'une équipe d'écologues marins, ces installations doivent donc être réalisées au regard des connaissances actuelles de l'écologie marine et de la dynamique des populations de poissons. L'aspect géodynamique du cordon littoral n'est pas pris en compte puisqu'il n'est pas de notre ressort. Cela montre qu'avant de décider d'actions visant à limiter l'érosion des plages, il est impératif de tenir compte des aspects biotiques. Or toutes les installations mises en place jusqu'à maintenant n'ont pas tenu compte de ces aspects si primordiaux dans la gestion de la biodiversité. De

plus, et même si nous avons pu constater que ces enrochements artificiels pouvaient être très bénéfiques pour les populations de poissons et la pêche, nous n'en préconisons pas la généralisation. Il en existe déjà énormément, près de 40 km sur la seule côte catalane, qui est relativement épargnée par l'enrochement massif selon Samat (2007) en comparaison à d'autres sites du golfe du Lion comme la petite Camargue ou le secteur de Valras. Les enrochements existants doivent être préservés et protégés au même titre que d'autres nourriceries (estuaires, lagunes, marais, herbiers de posidonies). Cela permettra aussi de limiter les nouvelles immersions. Si l'installation de nouveaux aménagements est nécessaire, elle devra se faire en concertation avec des biologistes et des géologues afin d'évaluer les effets positifs ou négatifs qu'ils pourraient engendrer d'un point de vue biotique et aussi abiotique. Il ne faut pas perdre de vue que ces aménagements sont avant tout destinés à protéger les plages et donc la population humaine. Il semble important de pouvoir coupler cela à une protection de la faune et de la flore marine.

- La fragmentation de l'habitat induit par la présence de ces enrochements côtiers implique une excellente connectivité afin de permettre le maintien des populations de poissons. La connectivité est assurée en grande partie lors de la phase pélagique. Ainsi le nombre d'œufs pondus doit être le plus important possible et les conditions de survie des larves doivent être maximales. Pour cela, il est indispensable que les géniteurs soient nombreux et puissent effectuer leur reproduction dans des conditions optimales. Il est donc primordial de protéger les aires de reproduction lorsqu'elles sont connues comme cela est fortement conseillé par l'IUCN (International Union for Conservation of Nature) pour les espèces de mérous tropicaux réalisant leur ponte sur des sites d'agrégation spécifiques (Rhodes et Sadovy 2002 ; Sadovy et Domeier, 2005). Si les zones de pontes sont inconnues, il faut amplifier les efforts de localisation. Dans cette optique l'utilisation du marquage acoustique couplée à des pêches expérimentales durant la période de reproduction peut être une solution. Au niveau de la côte catalane, les efforts doivent être portés sur le site du cap Leucate, qui semble être un lieu privilégié pour la reproduction de certaines espèces de poissons.

Nos résultats ont aussi permis de mettre en évidence que les sars communs étaient plus mobiles dans les habitats fragmentés que dans les habitats continus et qu'ils se déplaçaient préférentiellement au printemps et en automne. Pour comprendre, ces échanges de façon plus approfondie, notamment à l'échelle du golfe du Lion, il serait envisageable de créer une banque de signatures élémentaires d'otolithes de juvéniles afin de caractériser les différentes

zones de nurricerie de la cote. Ensuite par des microanalyses chimiques des otolithes d'adultes, nous pourrions determiner leur nurricerie d'origine. Ce genre de manipulations peut etre couple a des campagnes de marquages directs et de marquages acoustiques. Dans un souci de gestion de la peche, mais aussi des especes marines, il apparait desormais indispensable de mettre en place un plan de gestion des amenagements littoraux de la cote sableuse afin de preserver les poissons qui, a un moment donne, iront integrer les populations de la cote rocheuse. Interdire la peche sur certains brise-lames pourrait etre necessaire, ou du moins faire respecter les interdictions qui existent deja. Nous savons aussi que les deplacements ont lieu preferentiellement au printemps et en automne, periodes ou les poissons sont les plus vulnerables a la peche. La limitation de la peche ciblant ces especes pendant ces periodes pourrait etre envisagee a la maniere des reglementations mises en place au niveau des cours d'eau interieurs. En revanche nous ne pouvons qu'encourager l'implantation de recifs artificiels sur des zones plus profondes (10 a 20 m) dans l'environ immediat des amenagements cotiers artificiels. Les juveniles ayant grandi sur ces enrochements cotiers se deplaceraient vers les recifs artificiels une fois adultes. Ces recifs artificiels pourraient etre accessibles a la peche selon une reglementation toujours dans le but de preserver cette ressource indispensable de tout abus entraine par l'attrait economique.

Les enrochements cotiers, meme s'ils sont crees de toute piece par l'Homme, pourraient etre classes comme sites Natura 2000 au meme titre que les herbiers de posidonie ou les lagunes par exemple. Bien que peu importantes dans le fonctionnement des populations de poissons comme le sars communs, les lagunes ne demeurent pas moins primordiales dans leur role de nurricerie pour d'autres especes cibles de la peche comme le loup et la dorade (Lasserre, 1976 ; Hervé et Bruslé, 1980 ; Chauvet *et al.*, 1992).

Chapitre VI : Littérature citée.

- Abecasis, D., Bentes, L., Coelho, R., Correia, C., Lino, P. G., Monteiro, P., Gonçalves, J. M. S., Ribeiro, J. et Erzini, K. 2008. Ageing seabreams: A comparative study between scales and otoliths. *Fisheries Research*, **89** : 37-48.
- Aboussouan, A. 1964. Contribution à l'étude des oeufs et larves pélagiques des poissons téléostéens dans le golfe de Marseille. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, **32 (48)** : 96-171.
- Adams, A. J., Locascio, J. V. et Robbins, B. D. 2004. Microhabitat use by a post-settlement stage estuarine fish: evidence from relative abundance and predation among habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **299 (1)** : 17-33.
- Ageorges, C. 2007. Caractérisation de la pêche de loisir pratiquée du bord, le long de la côte sableuse catalane. Mémoire de Master 2, Université Paris VI, Paris, 30p.
- Agusa, T., Kunito, T., Tanabe, S., Pourkazemi, M. et Aubrey, D. G. 2004. Concentrations of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, **49 (9-10)** : 789-800.
- Agusa, T., Kunito, T., Yasunaga, G., Iwata, H., Subramanian, A., Ismail, A. et Tanabe, S. 2005. Concentrations of trace elements in marine fish and its risk assessment in Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, **51 (8-12)** : 896-911.
- Almany, G. R., Berumen, M. L., Thorrold, S. R., Planes, S. et Jones, G. P. 2007. Local replenishment of coral reef fish populations in a marine reserve. *Science*, **316 (5825)** : 742-744.
- Andrews, K. S. et Anderson, T. W. 2004. Habitat-dependent recruitment of two temperate reef fishes at multiple spatial scales. *Marine Ecology-Progress Series*, **277** : 231-244.
- Anonyme. 2007. Evaluations des impacts des dragages et de l'alimentation artificielle des barres d'avant-côte. Ministère de l'écologie et du développement durable, Montpellier, 158p.
- Arai, T., Hirata, T. et Takagi, Y. 2007. Application of laser ablation ICPMS to trace the environmental history of chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Marine Environmental Research*, **63 (1)** : 55-66.
- Armsworth, P. R. 2002. Recruitment limitation, population regulation, and larval connectivity in reef fish metapopulations. *Ecology*, **83 (4)** : 1092-1104.
- Arnaud, P. et Raimbault, R. 1969. L'étang de Salses-Leucate ses principaux caractères physico-chimiques et leurs variations (1955-56 et 1960-68). Thèse de doctorat, Université de Montpellier, Montpellier, 98p.
- Astruch, P. 2005. Mise en place et application d'une campagne de marquage dans le cadre du suivi de populations marines. Rapport de Master 2 EMDD BGRV, Université de Perpignan, Perpignan, 31p.
- Astruch, P., Lenfant, P., Binche, J. L., Pastor, J. et Dalias, N. 2007. Marquage et suivi du Mérou brun par télémétrie acoustique dans la réserve marine de Cerbère-Banyuls (France, Méditerranée Nord Occidentale). *In* Second International Symposium on the Mediterranean Groupers, May 10-13th 2007, P. Francour et J. Gratiot. Nice University publ., Nice, 25-28.
- Audouin, J. 1960. Contribution à l'étude des migrations de la daurade, *Chrysophrys aurata L.*, au moyen de marquage. Rapport et P.V., Comm. int. Explor. Sci. Mer Médit., 15p.

- Baillon, N. 1992. Otolithométrie : revue et problèmes. *In* Tissus durs et âge individuel des vertébrés, J. L. Baglinière, J. Castanet, F. Conand et F. J. Meunier. ORSTOM et INRA éditions, Paris, 21-52.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. University of California, Sea Grant, San Diego, California, USA, Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, 323p.
- Balon, E. K. 1999. Alternative ways to become a juvenile or a definitive phenotype (and on some persisting linguistic offenses). *Environmental Biology of Fishes*, **56 (1-2)** : 17-38.
- Barbee, N. C. et Swearer, S. E. 2007. Characterizing natal source population signatures in the diadromous fish *Galaxias maculatus*, using embryonic otolith chemistry. *Marine Ecology-Progress Series*, **343** : 273-282.
- Beck, M. W., Heck, K. L., Able, K. W., Childers, D. L., Eggleston, D. B., Gillanders, B. M., Halpern, B., Hays, C. G., Hoshino, K., Minello, T. J., Orth, R. J., Sheridan, P. F. et Weinstein, M. R. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience*, **51 (8)** : 633-641.
- Bellwood, D. R. et Hughes, T. P. 2001. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. *Science*, **292 (5521)** : 1532-1534.
- Benaka, L. R. 1999. Fish habitat: essential fish habitat and rehabilitation. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 400p.
- Bergenius, M. A. J., Mapstone, B. D., Begg, G. A. et Murchie, C. D. 2005. The use of otolith chemistry to determine stock structure of three epinepheline serranid coral reef fishes on the Great Barrier Reef, Australia. *Fisheries Research*, **72 (2-3)** : 253-270.
- Bolle, L. J., Hunter, E., Rijnsdorp, A. D., Pastoors, M. A., Metcalfe, J. D. et Reynolds, J. D. 2005. Do tagging experiments tell the truth? Using electronic tags to evaluate conventional tagging data. *Ices Journal of Marine Science*, **62 (2)** : 236-246.
- Boudjemadi, K., Lecomte, J. et Clobert, J. 1999. Influence of connectivity on demography and dispersal in two contrasting habitats: an experimental approach. *Journal of Animal Ecology*, **68 (6)** : 1207-1224.
- Bourquard, C. 1985. Structure et mécanismes de la mise en place, de maintien et d'évolution des peuplements ichthyiques lagunaires du golfe du Lion. Thèse de Doctorant, Université de Montpellier 2, Montpellier, 337p.
- Bruslé, J. et Cambrony, M. 1992. Les lagunes méditerranéennes : des nurseries favorables aux juvéniles de poissons euryhalins et/ou pièges redoutables pour eux - Analyse critique de la croissance de Muges de plusieurs étangs saumâtres du Languedoc-Roussillon au cours de leur première année de vie. *Vie et Milieu*, **42 (2)** : 193-205.
- Buckley, R. M. et Blankenship, H. L. 1990. Internal tags and marks: internal extrinsic identification systems: overview of implanted wire tags, otolith marks, and parasites. *In* Fish-marking techniques, N. C. Parker, A. E. Giorgi, R. C. Heidinger et al. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, **Symposium 7** : 173-182.
- Burgess, V. J., Kelly, D., Robertson, A. W. et Ladley, J. J. 2006. Positive effects of forest edges on plant reproduction: literature review and a case study of bee visitation to flowers of *Peraxilla tetrapetala* (Loranthaceae). *New Zealand Journal of Ecology*, **30 (2)** : 179-190.

- Buzby, K. et Deegan, L. 1999. Retention of anchor and passive integrated transponder tags by Arctic grayling. *North American Journal of Fisheries Management*, **19** (4) : 1147-1150.
- Cambrony, M. 1983. Recrutement et biologie des stades juvéniles de Mugilidés (poissons Téléostéens) dans trois milieux lagunaires du Roussillon et du Narbonnais (Salses-Leucate, Lapalme, Bourdigou). Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 285p.
- Cambrony, M. 1984. Identification et périodicité du recrutement de juvéniles de Mugilidae dans les étangs littoraux du Languedoc-Roussillon. *Vie et Milieu*, **34** (4) : 221-227.
- Campana, S. E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, **188** : 263-297.
- Campana, S. E., Chouinard, G. A., Hanson, J. M., Frechet, A. et Brattey, J. 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research*, **46** (1-3) : 343-357.
- Campana, S. E., Fowler, A. J. et Jones, C. M. 1994. Otolith elemental fingerprinting for stock identification of atlantic cod (*Gadus morhua*) using laser-ablation Icpms. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51** (9) : 1942-1950.
- Campana, S. E., Gagne, J. A. et McLaren, J. W. 1995. Elemental fingerprinting of fish otoliths using Id-Icpms. *Marine Ecology-Progress Series*, **122** (1-3) : 115-120.
- Campana, S. E. et Thorrold, S. R. 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations ? *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*, **58** : 30-38.
- Campana, S. E., Valentin, A., Sevigny, D. M. et Power, D. 2007. Tracking seasonal migrations of redbfish (*Sebastes spp.*) in and around the Gulf of St. Lawrence using otolith elemental fingerprints. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **64** (1) : 6-18.
- Carr, M. H. et Hixon, M. A. 1995. Predation effects on early postsettlement survivorship of coral-reef fishes. *Marine Ecology-Progress Series*, **124** (1-3) : 31-42.
- Caselle, J. E. 1999. Early post-settlement mortality in a coral reef fish and its effect on local population size. *Ecological Monographs*, **69** (2) : 177-194.
- Charbonnel, E., Serre, C., Ruitton, S., Harmelin, J. G. et Jensen, A. 2002. Effects of increased habitat complexity on fish assemblages associated with large artificial reef units (French Mediterranean coast). *ICES Journal of Marine Science*, **59** (suppl) : 208-213.
- Chauvet, C., Lasserre, G., Bach, P. et Besseau, L. 1992. Résultats d'une expérience de marquage de trois espèces de poissons côtiers du golfe du Lion: *Dicentrarchus labrax*, *Sparus aurata*, *Liza aurata*. *Cybium*, **16** (1) : 3-11.
- Chittaro, P. M., Fryer, B. J. et Sale, R. 2004. Discrimination of French grunts (*Haemulon flavolineatum*, Desmarest, 1823) from mangrove and coral reef habitats using otolith microchemistry. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **308** (2) : 169-183.
- Clanzig, S. 1987. Inventaire des invertébrés d'une lagune méditerranéenne des côtes de France, biocénoses et confinement : l'étang de Salses-Leucate (Roussillon). Diplôme EPHE, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Perpignan, 468p.
- Clarke, A. D., Lewis, A. et Telmer, K. H. 2007a. Life history and age at maturity of an anadromous smelt, the eulachon *Thaleichthys pacificus* (Richardson). *Journal of Fish Biology*, **71** (5) : 1479-1493.

- Clarke, A. D., Telmer, K. H. et Shrimpton, J. M. 2007b. Habitat use and movement patterns for a fluvial species, the Arctic grayling, in a watershed impacted by a large reservoir: evidence from otolith microchemistry. *Journal of Applied Ecology*, **44 (6)** : 1156-1165.
- Clarke, S., Wai-yin, A. L., Mak, Y. M., Kennish, R. et Haggan, N. 2002. Consultation with local fishers on the Hong Kong artificial reefs initiative. *ICES Journal of Marine Science*, **59 Suppl. S** : S171-S177.
- Claudet, J. 2006. Aires marines protégées et récifs artificiels : méthodes d'évaluation, protocoles expérimentaux et indicateurs. Thèse de doctorat, Université de Perpignan, Perpignan, 257p.
- Claudet, J. et Pelletier, D. 2004. Marine protected areas and artificial reefs: A review of the interactions between management and scientific studies. *Aquatic Living Resources*, **17 (2)** : 129-138.
- Clynick, B. G. 2006. Assemblages of fish associated with coastal marinas in north-western Italy. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **86 (4)** : 847-852.
- Coutant, C. C. et Chen, C. H. 1993. Strontium Microstructure in Scales of Fresh-Water and Estuarine Striped Bass (*Morone saxatilis*) Detected by Laser-Ablation Mass-Spectrometry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **50 (6)** : 1318-1323.
- Cowen, R. K., Gawarkiewicz, G., Pineda, J., Thorrold, S. R. et Werner, F. E. 2007. Population Connectivity in Marine Systems: An Overview. *Oceanography*, **20 (3)** : 14-21.
- Craig, J. K., Rice, J. A., Crowder, L. B. et Nadeau, D. A. 2007. Density-dependent growth and mortality in an estuary-dependent fish: an experimental approach with juvenile spot *Leiostomus xanthurus*. *Marine Ecology-Progress Series*, **343** : 251-262.
- Crec'hriou, R. 2000. Etude de la distribution de l'ichtyoplancton sur la zone de la réserve marine de Cerbère-Banyuls (Pyrénées-Orientales). Mémoire de DESS, Université de Corse, Corte, 70p.
- Crespi, V. 2002. Recent evolution of the fishing exploitation in the Thau lagoon, France. *Fisheries Management and Ecology*, **9 (1)** : 19-29.
- Criquet, G. 2001. La pêche professionnelle dans la région de Banyuls sur Mer. Effort et productions. Mémoire de DESS, Université de Corse, Corte, 41p.
- Cushing, D. H. 1974. The natural regulation of fish populations. *In* *Sea Fisheries Research*, F. R. Harden Jones. Elek Science, Londres, 389-412.
- Cushing, D. H. 1990. Plankton Production and Year-Class Strength in Fish Populations - an Update of the Match Mismatch Hypothesis. *Advances in Marine Biology*, **26** : 249-293.
- D'Anna, G., Giacalone, V. M., Badalamenti, F. et Pipitone, C. 2004. Releasing of hatchery-reared juveniles of the white seabream *Diplodus sargus* (L., 1758) in the Gulf of Castellammare artificial reef area (NW Sicily). *Aquaculture*, **233** : 251-268.
- De Pontual, H., Bertignac, M., Battaglia, A., Bavouzet, G., Moguedet, P. et Groison, A. L. 2003. A pilot tagging experiment on European hake (*Merluccius merluccius*): methodology and preliminary results. *ICES Journal of Marine Science*, **60** : 1318-1327.
- De Pontual, H. et Geffen, A. J. 2002. Microchimie de l'otolithe. *In* *Manuel de sclérochronologie des poissons*, J. Panfili, H. De Pontual, H. Troadec et P. J. Wright. Coédition Ifremer-IRD, 243-303.

- Doherty, P. et Fowler, T. 1994. An Empirical-Test of Recruitment Limitation in a Coral-Reef Fish. *Science*, **263 (5149)** : 935-939.
- Doherty, P. J. 1991. Spatial and temporal patterns in recruitment. *In* The ecology of fishes on coral reefs, P. F. Sale. Academic Press, London.
- Doherty, P. J. et Williams, D. M. 1988. The Replenishment of Coral-Reef Fish Populations. *Oceanography and Marine Biology*, **26** : 487-551.
- Domingues, V. S., Santos, R. S., Brito, A., Alexandrou, M. et Almada, V. C. 2007. Mitochondrial and nuclear markers reveal isolation by distance and effects of Pleistocene glaciations in the northeastern Atlantic and Mediterranean populations of the white seabream (*Diplodus sargus*, L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **346 (1-2)** : 102-113.
- Dufour, V., Jouvenel, J. Y. et Galzin, R. 1995. Study of a Mediterranean Reef Fish Assemblage - Comparisons of Population-Distributions between Depths in Protected and Unprotected Areas over One Decade. *Aquatic Living Resources*, **8 (1)** : 17-25.
- Dunning, D. J., Ross, Q. E., Waldman, J. R. et Mattson, M. T. 1987. Tag Retention by, and Tagging Mortality of, Hudson River Striped Bass. *North American Journal of Fisheries Management*, **7 (4)** : 535-538.
- Dupont, P. 2006. Evaluation des peuplements ichtyologiques en perspective d'une gestion durable des ressources halieutiques de la zone marine agathoise. Rapport de master professionnel, Université de Montpellier, Montpellier, 30p.
- Edmonds, J. S., Caputi, N. et Morita, M. 1991. Stock Discrimination by Trace-Element Analysis of Otoliths of Orange Roughy (*Hoplostethus atlanticus*), a Deep-Water Marine Teleost. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, **42 (4)** : 383-389.
- Edmonds, J. S., Lenanton, R. C. J., Caputi, N. et Morita, M. 1992. Trace-Elements in the Otoliths of Yellow-Eye Mullet (*Aldrichetta forsteri*) as an Aid to Stock Identification. *Fisheries Research*, **13 (1)** : 39-51.
- Edmonds, J. S., Moran, M. J., Caputi, N. et Morita, M. 1989. Trace-Element Analysis of Fish Sagittae as an Aid to Stock Identification - Pink Snapper (*Chrysophrys auratus*) in Western Australian Waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **46 (1)** : 50-54.
- Eigenbrod, F., Hecnar, S. J. et Fahrig, L. 2008. The relative effects of road traffic and forest cover on anuran populations. *Biological conservation*, **141** : 35-46.
- Elsdon, T. S. et Gillanders, B. M. 2004. Fish otolith chemistry influenced by exposure to multiple environmental variables. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **313 (2)** : 269-284.
- Figueiredo, M., Morato, T., Barreiros, J. P., Afonso, P. et Santos, R. S. 2005. Feeding ecology of the white seabream, *Diplodus sargus*, and the ballan wrasse, *Labrus bergylta*, in the Azores. *Fisheries Research*, **75 (1-3)** : 107-119.
- Fisher, W., Schneider, M. et Bauchot, M. L. 1987. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche, Méditerranée et Mer Noire (Zone de pêche 37). FAO et CEE, 766p.
- Forman, R. T. T. 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, **14 (1)** : 31-35.

- Fowler, A. J., Campana, S. E., Jones, C. M. et Thorrold, S. R. 1995. Experimental assessment of the effect of temperature and salinity on elemental composition of otoliths using solution-based Icpms. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **52 (7)** : 1421-1430.
- Franco, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Riccato, F., Torricelli, P. et Mainardi, D. 2006. Use of shallow water habitats by fish assemblages in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **66 (1-2)** : 67-83.
- Garcia-Charton, J. A. et Perez-Ruzafa, A. 2001. Spatial pattern and the habitat structure of a Mediterranean rocky reef fish local assemblage. *Marine Biology*, **138 (5)** : 917-934.
- Garcia-Rubies, A. et Macpherson, E. 1995. Substrate use and temporal pattern of recruitment in juvenile fishes of the mediterranean littoral. *Marine Biology*, **124 (1)** : 35-42.
- Gatti, J., Petrenko, A., Devenon, J. L., Leredde, Y. et Ulses, C. 2006. The Rhone river dilution zone present in the northeastern shelf of the Gulf of Lion in December 2003. *Continental Shelf Research*, **26 (15)** : 1794-1805.
- Gehrt, S. D. et Chelvig, J. E. 2004. Species-specific patterns of bat activity in an urban landscape. *Ecological Applications*, **14 (2)** : 625-635.
- Giacalone, V. M., D'Anna, G., Pipitone, C. et Di Stefano, G. 2003. Tagging method for white sea ream, *Diplodus sargus* (L., 1758), with external "T-bar" tags. *Biologia Marina Mediterranea*, **10 (2)** : 1098-1100.
- Gillanders, B. M. 2002a. Temporal and spatial variability in elemental composition of otoliths: implications for determining stock identity and connectivity of populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **59 (4)** : 669-679.
- Gillanders, B. M. 2002b. Connectivity between juvenile and adult fish populations: do adults remain near their recruitment estuaries? *Marine Ecology-Progress Series*, **240** : 215-223.
- Gillanders, B. M. 2005. Using elemental chemistry of fish otoliths to determine connectivity between estuarine and coastal habitats. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **64 (1)** : 47-57.
- Gillanders, B. M. et Kingsford, M. J. 1996. Elements in otoliths may elucidate the contribution of estuarine recruitment to sustaining coastal reef populations of a temperate reef fish. *Marine Ecology-Progress Series*, **141 (1-3)** : 13-20.
- Gillanders, B. M. et Kingsford, M. J. 2000. Elemental fingerprints of otoliths of fish may distinguish estuarine 'nursery' habitats. *Marine Ecology-Progress Series*, **201** : 273-286.
- Gillanders, B. M., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J. et Ramos-Espla, A. 2001. Trace elements in otoliths of the two-banded bream from a coastal region in the south-west Mediterranean: are there differences among locations? *Journal of Fish Biology*, **59** : 350-363.
- Gourret, P. 1897. Les étangs saumâtres du midi de la France et leurs pêcheries. *Annales du museum d'histoire naturelle de Marseille*, **5 (1)** : 1-386.
- Guidetti, P. 2004. Fish assemblages associated with coastal defence structures in south-western Italy (Mediterranean Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **84 (3)** : 669-670.
- Guidetti, P., Bianchi, C. N., La Mesa, G., Modena, M., Morri, C., Sara, G. et Vacchi, M. 2002. Abundance and size structure of *Thalassoma pavo* (Pisces: Labridae) in the western

- Mediterranean Sea: variability at different spatial scales. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **82 (3)** : 495-500.
- Guidetti, P., Bussotti, S. et Boero, F. 2005. Evaluating the effect of protection on fish predators and sea urchins in shallow artificial rocky habitats: a case study in the northern Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, **59 (4)** : 333-348.
- Guidetti, P. et Dulcic, J. 2007. Relationships among predatory fish, sea urchins and barrens in Mediterranean rocky reefs across a latitudinal gradient. *Marine Environmental Research*, **63 (2)** : 168-184.
- Guillou, A., Lespagnol, P. et Ruchon, F. 2002. La pêche aux petits métiers en Languedoc-Roussillon. Rapport Ifremer, Sète, 107p.
- Guizien, K., Brochier, T., Duchene, J. C., Koh, B. S. et Marsaleix, P. 2006. Dispersal of *Owenia fusiformis* larvae by wind-driven currents: turbulence, swimming behaviour and mortality in a three-dimensional stochastic model. *Marine Ecology-Progress Series*, **311** : 47-66.
- Gurtin, S. D., Brown, M. L. et Scalet, C. G. 1999. Retention of Floy FD-94 anchor tags and effect on growth and condition of northern pike and largemouth bass. *Journal of Freshwater Ecology*, **14 (3)** : 281-286.
- Guy, C. S., Neumann, R. M. et Willis, D. W. 1992. Movement Patterns of Adult Black Crappie, *Pomoxis nigromaculatus*, in Brant Lake, South-Dakota. *Journal of Freshwater Ecology*, **7 (2)** : 137-147.
- Haddon, M. et Willis, T. J. 1995. Morphometric and meristic comparison of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*, Trachichthyidae) from the puysegur bank and lord-howe-rise, New-Zealand, and its implications for stock structure. *Marine Biology*, **123 (1)** : 19-27.
- Hamer, P. A. et Jenkins, G. P. 2007. Comparison of spatial variation in otolith chemistry of two fish species and relationships with water chemistry and otolith growth. *Journal of Fish Biology*, **71 (4)** : 1035-1055.
- Hanski, I. 1999. *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press, New York, 324p.
- Harmelin-Vivien, M. L., Harmelin, J. G., Chauvet, C., Duval, C., Galzin, R., Lejeune, P., Barnabe, G., Blanc, F., Chevalier, R., Duclerc, J. et Lasserre, G. 1985. The underwater observation of fish communities and fish populations - Methods and problems. *Revue d'Ecologie-La Terre et La Vie*, **40 (4)** : 466-539.
- Harmelin-Vivien, M. L., Harmelin, J. G. et Leboulleux, V. 1995. Microhabitats requirements for settlement of juvenile sparid on Mediterranean Rocky shores. *Hydrobiologia*, **300-301** : 309-320.
- Hervé, P. 1978. Ichtyofaunes comparées de deux étangs littoraux du Roussillon : Canet-Saint-Nazaire et Salses-Leucate - Ecologie générale et biologie de diverses espèces de poissons. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 253p.
- Hervé, P. et Bruslé, J. 1980. L'étang de Salses-Leucate Ecologie générale et ichtyofaune. *Vie et Milieu*, **30 (3-4)** : 275-283.
- Heupel, M. R., Simpfendorfer, C. A. et Hueter, R. E. 2003. Running before the storm: blacktip sharks respond to falling barometric pressure associated with Tropical Storm Gabrielle. *Journal of Fish Biology*, **63 (5)** : 1357-1363.

- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries in northern Europe reviewed in the light of biological research. Rapport des Procès-Verbaux de la Réunion du Conseil International sur l'Exploration de la Mer, **20** : 1-228.
- Holbrook, S. J., Forrester, G. E. et Schmitt, R. J. 2000. Spatial patterns in abundance of a damselfish reflect availability of suitable habitat. *Oecologia*, **122** (1) : 109-120.
- Holbrook, S. J. et Schmitt, R. J. 2002. Competition for shelter space causes density-dependent predation mortality in damselfishes. *Ecology*, **83** (10) : 2855-2868.
- Houssard, C. 1998. Inventaire préliminaire des zones humides du Languedoc-roussillon - Département de Pyrénées-Orientales. Rapport du Conservatoire des Espaces Naturels du L.R. pour la DIREN-LR, Montpellier, 240p.
- Hughes, T. P., Baird, A. H., Bellwood, D. R., Card, M., Connolly, S. R., Folke, C., Grosberg, R., Hoegh-Guldberg, O., Jackson, J. B. C., Kleypas, J., Lough, J. M., Marshall, P., Nystrom, M., Palumbi, S. R., Pandolfi, J. M., Rosen, B. et Roughgarden, J. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, **301** (5635) : 929-933.
- Jadot, C., Donnay, A., Acolas, M. L., Cornet, Y. et Bégout Anras, M. L. 2006. Activity patterns, home-range size, and habitat utilization of *Sarpa salpa* (Teleostei: Sparidae) in the Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, **63** : 128-139.
- Jan, R. Q., Liu, Y. H., Chen, C. Y., Wang, M. C., Song, G. S., Lin, H. C. et Shao, K. T. 2003. Effects of pile size of artificial reefs on the standing stocks of fishes. *Fisheries Research*, **63** (3) : 327-337.
- Jeffrey, J. D. et Edds, D. R. 1999. Spring movements and spawning habitat of sauger (*Stizostedion canadense*) in a small midwestern USA reservoir. *Journal of Freshwater Ecology*, **14** (3) : 385-397.
- Johnston, R. et Sheaves, M. 2007. Small fish and crustaceans demonstrate a preference for particular small-scale habitats when mangrove forests are not accessible. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **353** (2) : 164-179.
- Jones, G. P., Milicich, M. J., Emslie, M. J. et Lunow, C. 1999. Self-recruitment in a coral reef fish population. *Nature*, **402** (6763) : 802-804.
- Jones, G. P., Planes, S. et Thorrold, S. R. 2005. Coral reef fish larvae settle close to home. *Current Biology*, **15** (14) : 1314-1318.
- Jones, G. P., Srinivasan, M. et Almany, G. R. 2007. Population connectivity and conservation of marine biodiversity. *Oceanography*, **20** (3) : 100-111.
- Jonsdottir, I. G., Campana, S. E. et Marteinsdottir, G. 2006. Stock structure of Icelandic cod *Gadus morhua* L. based on otolith chemistry. *Journal of Fish Biology*, **69** : 136-150.
- Jonsdottir, I. G., Marteinsdottir, G. et Campana, S. E. 2007. Contribution of different spawning components to the mixed stock fishery for cod in Icelandic waters. *ICES Journal of Marine Science*, **64** (9) : 1749-1759.
- Jouvenel, J. Y. 1995. Implications écologiques des enrochements portuaires. *Mer et Littoral*, **9** : 6-9.
- Jouvenel, J. Y. 1997. Ichtyofaune de la côte rocheuse des Albères (Méditerranée N-O, France). Thèse de doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Perpignan, 280p.

- Kalish, J. M. 1990. Use of Otolith Microchemistry to Distinguish the Progeny of Sympatric Anadromous and Non-Anadromous Salmonids. *Fishery Bulletin*, **88 (4)** : 657-666.
- Katselis, G., Koutsikopoulos, C., Dimitriou, E. et Rogdakis, Y. 2003. Spatial patterns and temporal trends in the fishery landings of the Messolonghi-Etoliko lagoon system (western Greek coast). *Scientia Marina*, **67 (4)** : 501-511.
- Kellison, G. T. et Taylor, J. C. 2007. Demonstration and implications of habitat-specific chemical signatures in otoliths of juvenile summer flounder (*Paralichthys dentatus Linnaeus*) in North Carolina. *Journal of Fish Biology*, **71** : 350-359.
- Kim, C. G. 2001. Artificial reefs in Korea. *Fisheries*, **26 (12)** : 15-18.
- Köck, B. 2007. Caractérisation de la pêche de compétition le long de la côte des Pyrénées Orientales, Golfe du Lion. Rapport de master 1 recherche, Université de Paris 6, Paris, 5p.
- Kodder, K. H., Masters, J. E. G., Beaumont, W. R. C., Gozlan, R. E., Pinder, A. C., Knight, C. M. et Kenward, R. E. 2007. Techniques for evaluating the spatial behaviour of river fish. *Hydrobiologia*, **582 (1)** : 257-269.
- Koutrakis, E. T., Tsikliras, A. C. et Sinis, A. I. 2005. Temporal variability of the ichthyofauna in a Northern Aegean coastal lagoon (Greece). Influence of environmental factors. *Hydrobiologia*, **543** : 245-257.
- Lack, D. 1942. Ecological features of the bird faunas of British small islands. *Journal of Animal Ecology*, **11** : 9-36.
- Laffaille, P., Feunteun, E. et Lefeuvre, J. C. 2000. Composition of fish communities in a European macrotidal salt marsh (the Mont Saint-Michel Bay, France). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **51 (4)** : 429-438.
- Larénie, L. 2007. Caractérisation de la pêche artisanale "petits métiers". Variations spatio-temporelles des captures. Rapport de master 2ème année Environnements Méditerranéens et Développement Durable, Université de Perpignan, Perpignan, 35p.
- Lasserre, G. 1976. Dynamique des populations ichthyologiques lagunaires, application à *Sparus aurata* L. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 306p.
- Leber, K. M., Arce, S. M., Sterritt, D. A. et Brennan, N. P. 1996. Marine stock-enhancement potential in nursery habitats of striped mullet, *Mugil cephalus*, in Hawaii. *Fishery Bulletin*, **94 (3)** : 452-471.
- Leboulleux, V. 1992. Recrutement benthique de six espèces de Sparidés sur les côtes provençales. Mémoire de DAA, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 68p.
- Lecchini, D., Osenberg, C. W., Shima, J. S., Mary, C. M. et Galzin, R. 2007. Ontogenetic changes in habitat selection during settlement in a coral reef fish: ecological determinants and sensory mechanisms. *Coral Reefs*, **26 (2)** : 423-432.
- Lecchini, D., Shima, J., Banaigs, B. et Galzin, R. 2005. Larval sensory abilities and mechanisms of habitat selection of a coral reef fish during settlement. *Oecologia*, **143 (2)** : 326-334.

- Lecomte-Finiger, R. 1983. Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille *Anguilla anguilla* L. 1758 des milieux lagunaires méditerranéens du Golfe du Lion : Narbonnais et Roussillon. Thèse 3^{ème} cycle, Université de Perpignan, Perpignan, 203p.
- Lecomte-Finiger, R. 1992. Situation actuelle des méthodes d'évaluation de l'âge de l'anguille, *Anguilla anguilla*. In Tissus durs et âge individuel des vertébrés, J. L. Baglinière, J. Castanet, F. Conand et F. J. Meunier. ORSTOM et INRA éditions, Paris, 103-108.
- Lecomte-Finiger, R. et Bruslé, J. 1984. L'anguille *Anguilla anguilla* des lagunes du Languedoc-Roussillon : Intérêt biologique et valeur halieutique. Vie et Milieu, **34 (4)** : 185-194.
- Legendre, L. et Legendre, P. 1984. Ecologie numérique, tome 2, la structure des données écologiques, 2^{ème} édition. Presses de l'Université de Québec, Québec, Canada, 335p.
- Leis, J. M. 2006. Are larvae of demersal fishes plankton or nekton? In Advances in Marine Biology, **51** : 57-141.
- Leitao, F., Santos, M. N. et Monteiro, C. C. 2007. Contribution of artificial reefs to the diet of the white sea bream (*Diplodus sargus*). ICES Journal of Marine Science, **64 (3)** : 473-478.
- Lenfant, P. 1998. Influence des paramètres démographiques sur la différenciation génétique intra- et inter-populations: le cas du poisson marin, *Diplodus sargus* (Linné, 1758). Thèse de Doctorat Université de Pierre et Marie Curie et Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris, 201p.
- Lenfant, P. 2003. Demographic and genetic structures of white sea bream populations (*Diplodus sargus*, Linnaeus, 1758) inside and outside a Mediterranean marine reserve. C. R. Biologies, **326** : 751-760.
- Lenfant, P., Dalias, N., Pastor, J., Larenie, L. et Astruch, P. 2007. Suivi des récifs artificiels de Leucate et Le Barcarès, Année 2 : été 2006 - automne 2006. Contrat SIVOM de Leucate et Le Barcarès & EPHE, Perpignan, 68p.
- Lenfant, P., Garcia, J., Pastor, J., Planes, S. et Jarraya, M. *In prep.* Temporal variability of fish recruitment: how to maintain the adult population over 13 years. Marine Ecology Progress Series.
- Lenfant, P., Louisy, P. et Licari, M. L. 2003. Inventory of dusky groupers (*Epinephelus marginatus*) in the marine reserve of Cerbere-Banyuls (France, North-Western Mediterranean Sea) after 17 years of protection. Cybium, **27 (1)** : 27-36.
- Lenfant, P. et Planes, S. 2002. Temporal genetic changes between cohorts in a natural population of a marine fish, *Diplodus sargus*. Biological Journal of the Linnean Society, **76 (1)** : 9-20.
- Levins, R. 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. Bulletin of the Entomology Society of America, **71** : 237-240.
- Lloret, J. et Planes, S. 2003. Condition, feeding and reproductive potential of white seabream *Diplodus sargus* as indicators of habitat quality and the effect of reserve protection in the northwestern Mediterranean. Marine Ecology-Progress Series, **248** : 197-208.
- Louisy, P. 2002. Guide d'identification des poissons marins, Europe et Méditerranée. Ulmer, Paris, 430p.
- Macpherson, E., Biagi, F., Francour, P., Garcia-Rubies, A., Harmelin, J., Harmelin-Vivien, M., Jouvenel, J. Y., Planes, S., Vigliola, L. et Tunesi, L. 1997. Mortality of juvenile fishes of the genus *Diplodus* in protected and unprotected areas in the western Mediterranean Sea. Marine

- Ecology-Progress Series, **160** : 135-147.
- Macpherson, R. 2002. Assessment of T bar anchor tags for marking the Blue Swimmer Crab *Portunus pelagicus* (L.). Fisheries Research, **54 (2)** : 209-216.
- Mader, H. J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural field. Biological conservation, **29 (1)** : 81-96.
- Man-Waï, R. 1985. Les sars du Golfe du Lion. Thèse Doctorat de L'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Laboratoire d'Ichthyologie et de Parasitologie Générale, Montpellier, 361p.
- Mariani, S. 2006. Life-history- and ecosystem-driven variation in composition and residence pattern of seabream species (Perciformes : Sparidae) in two Mediterranean coastal lagoons. Marine Pollution Bulletin, **53 (1-4)** : 121-127.
- Marinaro, J. Y. 1971. Contribution à des oeufs et larves pélagiques de poissons méditerranéens (oeufs pélagiques de la baie d'Alger). Pelagos. Bull. Inst. Oceanogr. Alger., **3 (1)** : 1-118.
- Marsh, D. M., Milam, G. S., Gorham, N. P. et Beckman, N. G. 2005. Forest roads as partial barriers to terrestrial salamander movement. Conservation Biology, **19 (6)** : 2004-2008.
- Martin, G. B. et Thorrold, S. R. 2005. Temperature and salinity effects on magnesium, manganese, and barium incorporation in otoliths of larval and early juvenile spot *Leiostomus xanthurus*. Marine Ecology-Progress Series, **293** : 223-232.
- Maurice, K. J., Paul, R. A., Luciano, B. M. et Lance, B. 2002. The structure of reef fish metapopulations: modelling larval dispersal and retention patterns. Proceedings of the royal society: Biological Sciences, **269** : 2079-2086.
- McCormick, M. I. et Makey, L. J. 1997. Post-settlement transition in coral reef fishes: overlooked complexity in niche shifts. Marine Ecology-Progress Series, **153** : 247-257.
- Melancon, S., Fryer, B. J., Ludsin, S. A., Gagnon, J. E. et Yang, Z. P. 2005. Effects of crystal structure on the uptake of metals by lake trout (*Salvelinus namaycush*) otoliths. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, **62 (11)** : 2609-2619.
- Mellin, C. 2007. Sélection de l'habitat à l'installation et utilisation de l'habitat post-installation chez les poissons récifaux-lagonaires de Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat. Université de Paris 6, Paris, 204p.
- Merckx, T., Van Dyck, H., Karlsson, B. et Leimar, O. 2003. The evolution of movements and behaviour at boundaries in different landscapes: a common arena experiment with butterflies. Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, **270 (1526)** : 1815-1821.
- Metcalfé, J. D. et Arnold, G. P. 1997. Tracking fish with electronic tags. Nature, **387 (6634)** : 665-666.
- Mora, C. et Sale, P. F. 2002. Are populations of coral reef fish open or closed? Trends in Ecology & Evolution, **17 (9)** : 422-428.
- Morat, F. 2006. Apports de l'étude morphométrique, cristallographique et chimique des otolithes aux relations Espaces-Espèces. Le cas des Salmonidés de Kerguelen. Master 2 (Recherche) Écologie Fonctionnelle, Université de Perpignan, 25p.

- Moreno, I. 2002. Effects of substrate on the artificial reef fish assemblage in Santa Eulalia Bay (Ibiza, western Mediterranean). *ICES Journal of Marine Science*, **59 (suppl)** : 144-149.
- Mosconi, P. et Chauvet, C. 1990. Variabilité spatio-temporelle de la croissance des juvéniles de *Sparus aurata* entre les zones lagunaires du Golfe du Lion. *Vie et Milieu*, **40 (4)** : 305-311.
- Mouine, N., Francour, P., Ktari, M. H. et Chakroun-Marzouk, N. 2007. The reproductive biology of *Diplodus sargus sargus* in the Gulf of Tunis (central Mediterranean). *Scientia Marina*, **71 (3)** : 461-469.
- Nelson, W. G. 1993. Beach restoration in the southeastern US: environmental effects and biological monitoring. *Ocean Coastal Management*, **19** : 157-182.
- Parlier, E. P., Albert, F., Cuzange, P. A., Don, J. et Feunteun, E. 2006. Impact of vegetation structure dynamics and usage on the nursery function of West European tidal salt-marshes. *Cahiers De Biologie Marine*, **47 (1)** : 47-62.
- Pastor, J., Astruch, P. et Lenfant, P. *In prep.* Zebra seabream (*Diplodus cervinus*, Lowe, 1838) recruitment on french mediteranean breakwaters. *Marine Pollution Bulletin*.
- Pastor, J., Astruch, P., Prats, E., Lenfant, P. et Dalias, N. *In press.* First observations of *Pomadasyss incisus* (Bowdich, 1825) scuba diving from the French catalan coast. *Cybium*.
- Patterson, H. M., Kingsford, M. J. et McCulloch, M. T. 2004. Elemental signatures of *Pomacentrus coelestis* otoliths at multiple spatial scales on the Great Barrier Reef, Australia. *Marine Ecology-Progress Series*, **270** : 229-239.
- Pérez-Ruzafa, A., Garcia-Charton, J. A., Barcala, E. et Marcos, C. 2006. Changes in benthic fish assemblages as a consequence of coastal works in a coastal lagoon: The Mar Menor (Spain, Western Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, **53** : 107-120.
- Pioch, S. 2004. Bilan des immersions de récifs artificiels en Languedoc-Roussillon. Mémoire de DESS, CREOCEAN/CEPRALMAR, Montpellier, 91p.
- Pizzolon, M., Cenci, E. et Mazzoldi, C. 2008. The onset of fish colonization in a coastal defence structure (Chioggia, Northern Adriatic Sea). *Estuarine coastal and shelf science*, *in press*.
- Planes, S. et Lecaillon, G. 2001. Caging experiment to examine mortality, during metamorphosis of coral reef fish larvae. *Coral Reefs*, **20 (3)** : 211-218.
- Powers, S., Grabowski, J. H., Peterson, C. H. et Lindberg, W. J. 2003. Estimating enhancement of fish production by offshore artificial reefs: uncertainty exhibited by divergent scenarios. *Marine Ecology Progress Series*, **264** : 265-277.
- Proctor, C. H., Thresher, R. E., Gunn, J. S., Mills, D. J., Harrowfield, I. R. et Sie, S. H. 1995. Stock Structure of the Southern Bluefin Tuna *Thunnus maccoyii* - an investigation based on probe microanalysis of otolith composition. *Marine Biology*, **122 (4)** : 511-526.
- Quignard, J. P. et Man-Wai, R. 1981. Croissance linéaire et pondérale des jeunes *Diplodus sargus* O⁺ (Pisces Osteichthyes Sparidae) des étangs languedociens de Mauguio et du Prévost. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, **45 (4)** : 253-269.
- Quignard, J. P. et Man-Wai, R. 1982. Croissance linéaire et pondérale des jeunes *Diplodus sargus* O⁺ (Pisces Osteichthyes Sparidae) dans des étangs languedociens de Mauguio et du Prévost. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **45 (4)** : 253-269.

- Quignard, J. P. et Man-Wai, R. 1983. Relation taille-poids et coefficient de condition de *Diplodus sargus* 0⁺ et 0⁺⁺ de deux étangs palavasiens : Prevost et Maugio. *Cybium*, **7 (3)** : 31-41.
- Quignard, J. P., Man-Wai, R. et Vianet, R. 1984. Les poissons de l'étang de Mauguio (Hérault, France) inventaire, structure du peuplement, croissance et polymorphisme des tailles. *Vie et Milieu*, **34 (4)** : 173-183.
- Quignard, J. P. et Raibaut, A. 1993. Ichtyofaune de la côte languedocienne (golfe du Lion) modifications faunistiques et démographiques. *Vie et Milieu*, **43 (4)** : 191-195.
- Quignard, J. P. et Zaouali, J. 1980. Les lagunes périméditerranéennes. Bibliographie ichtyologique annotée. Première parité : Les étangs français de Canet à Thau. *Bulletin des offices nationaux des pêches*, **4 (2)** : 293-360.
- Reibish, J. 1899. Über die einzahl bei *Pleuronectes platessa* und die Alterbestimmung dieser Form aus den Otolithen. *Wiss. Meeresunt.*, **4** : 223-248.
- Rhodes, K. L. et Sadovy, Y. 2002. Temporal and spatial trends in spawning aggregations of camouflage grouper, *Epinephelus polyphkadion*, in Pohnpei, Micronesia. *Environmental Biology of Fishes*, **63 (1)** : 27-39.
- Risk, A. 1998. The effects of interactions with reef residents on the settlement and subsequent persistence of ocean surgeonfish, *Acanthurus bahianus*. *Environmental Biology of Fishes*, **51 (4)** : 377-389.
- Roblin, C. 1980. Etude comparée de la biologie du développement (gonadogénèse, croissance, nutrition) du loup *Dicentrarchus labrax* en milieu naturel et en élevage contrôlé (Font-Extramèr). Thèse de Doctorat, U.S.T.L Montpellier, Montpellier, 272p.
- Roblin, C. et Bruslé, J. 1984. Le régime alimentaire des alevins et juvéniles de loup (*Dicentrarchus labrax*) des lagunes littorales du golfe du Lion (Etangs Roussillonnais, France). *Vie et Milieu*, **34 (4)** : 195-207.
- Romans, P. 2003. Influence et importance relative de facteurs intrinsèques et extrinsèques sur la mortalité des alevins de Sparidés (Pisces) durant la phase d'installation benthique en Méditerranée. Thèse de doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes et Université de Perpignan, 179p.
- Roussel, E. 2007. Structure spatio-temporelles de l'ichthyoplancton le long d'une côte rocheuse en Méditerranée nord-occidentale : étude de l'accumulation côtière. Thèse de doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Perpignan, 212p.
- Roussiez, V., Ludwig, W., Monaco, A., Probst, J. L., Bouloubassi, I., Buscail, R. et Saragoni, G. 2006. Sources and sinks of sediment-bound contaminants in the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea): A multi-tracer approach. *Continental Shelf Research*, **26 (16)** : 1843-1857.
- Ruitton, S. 1999. Les communautés benthiques et nectobenthiques associées aux aménagements littoraux en Méditerranée nord-occidentale. Thèse en science de l'environnement marin, Université Aix-Marseille II, 263p.
- Ruitton, S., Francour, P. et Boudouresque, C. F. 2000. Relationships between algae, benthic herbivorous invertebrates and fishes in rocky sublittoral communities of a temperate sea (Mediterranean). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **50 (2)** : 217-230.

- Ruiz, J. M. et Romero, J. 2001. Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. Marine Ecology-Progress Series, **215** : 107-120.
- Sadovy, Y. et Domeier, M. 2005. Are aggregation-fisheries sustainable? Reef fish fisheries as a case study. Coral Reefs, **24 (2)** : 254-262.
- Sala, E. et Ballesteros, E. 1997. Partitioning of space and food resources by three fish of the genus *Diplodus* (Sparidae) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem. Marine Ecology-Progress Series, **152 (1-3)** : 273-283.
- Sale, P. F., Danilowicz, B. S., Doherty, P. J. et Williams, D. M. 2005. The relation of microhabitat to variation in recruitment of young-of-year coral reef fishes. Bulletin of Marine Science, **76 (1)** : 123-142.
- Samat, O. 2007. Efficacité et impact des ouvrages en enrochements sur les plages microtidales. Le cas du Languedoc et du delta du Rhône. Thèse de doctorat, Université de Aix-Marseille I, Marseille, 369p.
- Sanchez-Jerez, P., Gillanders, B. M., Rodriguez-Ruiz, S. et Ramos-Espla, A. A. 2002. Effect of an artificial reef in *Posidonia* meadows on fish assemblage and diet of *Diplodus annularis*. ICES Journal of Marine Science, **59 (suppl)** : S59-S68.
- Santos, M. N., Lino, P. G., Pousao-Ferreira, P. et Monteiro, C. C. 2006. Preliminary results of hatchery-reared seabreams released at artificial reefs off the Algarve coast (southern Portugal): A pilot study. Bulletin of Marine Science, **78 (1)** : 177-184.
- Sarda, R., Pinedo, S., Gremare, A. et Taboada, S. 2000. Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea. ICES Journal of Marine Science, **57 (5)** : 1446-1453.
- Schmitt, R. J. et Holbrook, S. J. 2000. Habitat-limited recruitment of coral reef damselfish. Ecology, **81 (12)** : 3479-3494.
- Schmitt, R. A. 1999. Essential fish habitat: opportunities and challenges for the next millenium. *In* Fish habitat: essential fish habitat and rehabilitation, L. R. Benaka, ed. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, **Symposium 22**.
- Secor, D. H. 1992. Application of Otolith Microchemistry Analysis to Investigate Anadromy in Chesapeake Bay Striped Bass *Morone saxatilis*. Fishery Bulletin, **90 (4)** : 798-806.
- Secor, D. H., Dean, J. M. et Laban, E. H. 1992. Otolith removal and preparation for microstructural examination. *In* Otolith microstructure examination and analysis, D. K. Stevenson et S. E. Campana. Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences, Ottawa, Canada, **117**: 19-57.
- Shapiro, D. Y. 1987. Inferring Larval Recruitment Strategies from the Distribution Ecology of Settled Individuals of a Coral-Reef Fish. Bulletin of Marine Science, **41 (2)** : 289-295.
- Sinis, A., Chintiroglou, C. C. et Stergiou, K. I. 2000. Preliminary results from the establishment of experimental artificial reefs in the N. Aegean Sea (Chalkidiki, Greece). Belgian Journal of Zoology, **130 (suppl)** : 143-147.
- Stelzenmuller, V., Maynou, F. et Martin, P. 2007. Spatial assessment of benefits of a coastal Mediterranean Marine Protected Area. Biological Conservation, **136 (4)** : 571-583.

- Stephens, J. et Pondella, D. 2002. Larval productivity of a mature artificial reef: the ichthyoplankton of King Harbor, California, 1974-1997. *Ices Journal of Marine Science*, **59** : S51-S58.
- Swearer, S. E., Caselle, J. E., Lea, D. W. et Warner, R. R. 1999. Larval retention and recruitment in an island population of a coral-reef fish. *Nature*, **402 (6763)** : 799-802.
- Thorrold, S. R., Jones, G. P., Hellberg, M. E., Burton, R. S., Swearer, S. E., Neigel, J. E., Morgan, S. G. et Warner, R. R. 2002. Quantifying larval retention and connectivity in marine populations with artificial and natural markers. *Bulletin of Marine Science*, **70 (1)** : 291-308.
- Thorrold, S. R., Jones, G. P., Planes, S. et Hare, J. A. 2006. Transgenerational marking of embryonic otoliths in marine fishes using barium stable isotopes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **63 (6)**: 1193-1197.
- Trombulak, S. C. et Frissell, C. A. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, **14 (1)** : 18-30.
- Tzeng, W. N., Chang, C. W., Wang, C. H., Shiao, J. C., Iizuka, Y., Yang, Y. J., You, C. F. et Lozys, L. 2007. Misidentification of the migratory history of anguillid eels by Sr/Ca ratios of vaterite otoliths. *Marine Ecology-Progress Series*, **348** : 285-295.
- Uezu, A., Metzger, J. P. et Vielliard, J. M. E. 2005. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological Conservation*, **123 (4)** : 507-519.
- Unsworth, R. K. F., De Leon, P. S., Garrard, S. L., Jompa, J., Smith, D. J. et Bell, J. J. 2008. High connectivity of Indo-Pacific seagrass fish assemblages with mangrove and coral reef habitats. *Marine Ecology-Progress Series*, **353** : 213-224.
- Van Dalssen, J. A., Essink, K., Madsen, H. T., Birklund, J., Romero, J. et Manzanera, M. 2000. Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. *Ices Journal of Marine Science*, **57 (5)** : 1439-1445.
- Vasconcelos, R. P., Reis-Santos, P., Tanner, S., Fonseca, V., Latkoczy, C., Gunther, D., Costa, M. J. et Cabral, H. 2007. Discriminating estuarine nurseries for five fish species through otolith elemental fingerprints. *Marine Ecology-Progress Series*, **350** : 117-126.
- Victor, B. C. 1991. Settlement strategies and biogeography of coral reef fishes. *In* The ecology of fishes on coral reefs, P. F. Sale. Academic Press, London.
- Vigliola, L. 1998. Contrôle et régulation du recrutement des Sparidae (Poissons, Téléostéens) en Méditerranée : importance des processus pré- et post-installations benthiques. Thèse de doctorat, Université de la Méditerranée (Aix-Marseille II), Marseille, 210p.
- Vigliola, L., Harmelin-Vivien, M. L., Biagi, F., Galzin, R., Garcia-Rubies, A., Harmelin, J. G., Jouvenel, J. Y., Le Direach-Boursier, L., Macpherson, E. et Tunesi, L. 1998. Spatial and temporal patterns of settlement among sparid fishes of the genus *Diplodus* in the northwestern Mediterranean. *Marine Ecology-Progress Series*, **168** : 45-56.
- Villa, S., Vighi, M., Casini, S. et Focardi, S. 2003. Pesticide risk assessment in a lagoon ecosystem. Part II: Effect assessment and risk characterization. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **22 (4)** : 936-942.
- Vinagre, C., Salgado, J., Costa, M. J. et Cabral, H. N. 2008. Nursery fidelity, food web interactions and primary sources of nutrition of the juveniles of *Solea solea* and *S. senegalensis* in the Tagus estuary (Portugal): A stable isotope approach. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **76 (2)** : 255-

- Vizzini, S. et Mazzola, A. 2003. Seasonal variations in the stable carbon and nitrogen isotope ratios (C-13/C-12 and N-15/N-14) of primary producers and consumers in a western Mediterranean coastal lagoon. *Marine Biology*, **142 (5)** : 1009-1018.
- Volk, E. C., Blakley, A., Schroder, S. L. et Kuehner, S. M. 2000. Otolith chemistry reflects migratory characteristics of Pacific salmonids: Using otolith core chemistry to distinguish maternal associations with sea and freshwaters. *Fisheries Research*, **46 (1-3)** : 251-266.
- Waller, J. S. et Servheen, C. 2005. Effects of transportation infrastructure on grizzly bear in northwestern Montana. *Journal of Wildlife Management*, **69 (3)** : 985-1000.
- Walsh, M. G. et Winkelman, D. L. 2002. Short-term retention of Floy anchor tags by stream-dwelling smallmouth bass. *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, **26** : 407-413.
- Watson, R. et Pauly, D. 2001. Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature*, **414 (6863)** : 534-536.
- Werner, F. E., Quinlan, J. A., Blanton, B. O. et Luettich, R. A. 1997. The role of hydrodynamics in explaining variability in fish populations. *Journal of Sea Research*, **37 (3-4)** : 195-212.
- Wilke, M. 1999. Spatio-temporal dynamics of physico-chemical and chemical factors in the water of a heavily transformed mediterranean lagoon, the etang de Salses-Leucate (France). *Vie et Milieu*, **49 (2/3)** : 177-191.
- Wilke, M. 2001. Synthèse critique des connaissances sur l'étang de Salses-Leucate et ses conditions abiotiques. Rapport EPHE-ESA 8046 CNRS pour CEDD-PPF de l'Université de Perpignan, 82p.
- Willis, T. J. et Millar, R. B. 2005. Using marine reserves to estimate fishing mortality. *Ecology Letters*, **8 (1)** : 47-52.
- Wydoski, R. et Emery, L. 1983. Tagging and marking. *In Fisheries techniques*, L. A. Nielsen et D. L. Johnson. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 215-238.
- Yarsan, E., Baskaya, R., Yildiz, A., Altintas, L. et Yesilot, S. 2007. Copper, lead, cadmium and mercury concentrations in the mussel *elliptio*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **79 (2)** : 218-220.
- Zimmerman, C. E. 2005. Relationship of otolith strontium-to-calcium ratios and salinity: experimental validation for juvenile salmonids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **62 (1)** : 88-97.

Liste des Annexes :

Annexe 1 : Concentrations (en $\mu\text{g.g}^{-1}$) en Ba, Ni, Pb et Sr dans les otolithes de juvéniles de sars communs prélevés en 2005 sur les enrochements côtiers de la côte sableuse (Sabl x) et sur la côte rocheuse naturelle (Roch x).

Annexe 2 : Concentrations (en $\mu\text{g.g}^{-1}$) en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V et Zn dans les otolithes de juvéniles de sars communs prélevés en 2006 sur les enrochements côtiers de la côte sableuse (sabl x) la lagune (lagu x) et sur la côte rocheuse naturelle (roch x).

Annexe 3 : Concentrations (en $\mu\text{g.g}^{-1}$) en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V et Zn dans la partie de l'otolithe de sars communs adultes correspondant à leur première année de croissance. Ces derniers ont été pêchés en 2007 sur la côte rocheuse naturelle (roch x) et au cap Leucate (Leuc x). Neuf poissons sont issus des marquages sur la côte sableuse (marq x).

Annexe 1 : Concentrations (en $\mu\text{g.g}^{-1}$) en Ba, Ni, Pb et Sr dans les otolithes de juvéniles de sars communs prélevés en 2005 sur les enrochements côtiers de la côte sableuse (Sabl x) et sur la côte rocheuse naturelle (Roch x).

	Ba	Mn	Ni	Pb	Sr
Sabl 1	10,38	2,58	42,83	0,81	1722,83
Sabl 2	37,87	4,13	45,77	0,89	1900,04
Sabl 3	22,57	2,53	44,79	0,70	1974,73
Sabl 4	18,68	3,21	49,68	1,07	1949,97
Sabl 5	8,58	2,46	44,58	0,66	2071,72
Sabl 6	26,84	2,73	44,46	1,07	1651,07
Sabl 7	11,66	2,26	44,88	0,87	1748,17
Sabl 8	11,01	1,90	42,53	0,61	1675,22
Sabl 9	33,85	1,91	43,92	0,95	1696,28
Sabl 10	32,45	2,83	40,10	0,75	1702,73
Roch 1	3,58	1,12	41,79	0,43	1670,34
Roch 2	3,39	1,40	42,99	0,36	1437,19
Roch 3	3,59	1,70	41,78	0,29	1629,54
Roch 4	4,73	2,29	44,02	0,43	1945,92
Roch 5	2,95	1,64	43,92	0,25	1735,29
Roch 6	4,71	1,78	43,84	0,23	1629,22
Roch 7	8,09	2,15	42,89	0,22	1607,83
Roch 8	3,48	1,46	42,79	0,17	1870,77

Annexe 2 : Concentrations (en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V et Zn dans les otolithes de juvéniles de sars communs prélevés en 2006 sur les enrochements côtiers de la côte sableuse (sabl x) la lagune (lagu x) et sur la côte rocheuse naturelle (roch x).

		Ba	Co	Cr	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Zn
sabl 1	ste marie 1	15,29	0,61	2,64	20,04	1,96	9,98	0,12	1825,07	0,78	7,56	3,57
sabl 2	ste marie 2	1,98	0,73	3,65	20,26	1,44	13,50	0,01	1815,52	0,52	9,52	3,62
sabl 3	ste marie 3	8,99	0,70	2,46	21,96	1,16	12,86	0,17	1829,53	0,51	8,08	3,23
sabl 4	ste marie 4	8,70	0,68	4,25	21,11	2,77	9,97	0,01	1928,99	0,94	5,94	5,81
sabl 5	ste marie 5	6,03	1,18	3,53	42,85	4,05	14,14	0,27	1758,57	0,45	6,36	6,10
sabl 6	ste marie 6	7,16	0,59	7,11	21,82	1,99	9,62	0,05	1825,84	0,58	6,12	5,65
sabl 7	ste marie 7	21,69	0,40	3,08	22,93	1,24	5,86	0,32	1947,57	1,53	4,70	7,26
sabl 8	ste marie 8	13,03	0,45	3,58	22,60	2,07	6,55	0,08	1776,12	2,77	5,86	8,95
sabl 9	ste marie 9	8,38	0,49	3,12	23,39	21,26	10,82	0,12	1788,08	0,54	11,39	4,82
sabl 10	ste marie 10	27,13	0,94	8,69	20,92	3,14	20,34	0,13	1856,14	3,43	7,66	9,65
sabl 11	st cyprien 1	7,35	0,77	3,82	21,13	1,19	6,95	0,02	2125,05	1,36	4,10	7,49
sabl 12	st cyprien 2	21,21	0,53	3,96	22,49	2,34	8,91	0,10	2295,22	0,70	4,79	12,51
sabl 13	st cyprien 3	16,88	0,58	3,09	20,39	1,42	11,09	0,02	1914,91	0,72	5,66	3,36
sabl 14	st cyprien 4	3,26	0,76	4,69	18,75	5,97	15,70	0,02	1987,52	0,35	6,17	13,92
sabl 15	st cyprien 5	7,86	0,46	2,59	20,17	1,48	6,68	<0,01	2033,47	0,70	6,77	1,25
sabl 16	st cyprien 6	15,33	0,83	2,88	19,93	1,53	8,45	<0,01	1672,55	0,81	6,43	3,84
sabl 17	st cyprien 7	21,81	0,76	2,38	16,78	1,53	5,86	<0,01	1912,70	0,55	5,35	14,38
sabl 18	st cyprien 8	8,83	0,44	1,24	17,27	1,47	9,65	<0,01	1795,68	0,63	5,87	5,38
sabl 19	st cyprien 9	12,82	0,45	1,41	16,93	1,33	8,96	<0,01	1832,29	1,86	4,89	13,27
sabl 20	st cyprien 10	2,45	0,49	1,45	20,98	0,55	10,66	<0,01	1675,85	0,78	8,10	8,23
sabl 21	etg canet 1	28,65	0,99	4,21	33,48	1,52	6,95	0,20	2038,29	1,02	6,66	14,45
sabl 22	etg canet 2	15,49	0,45	2,62	23,28	1,86	8,31	0,23	2067,10	0,78	8,55	8,83
sabl 23	etg canet 3	9,59	0,50	2,46	20,82	2,22	9,51	0,20	1735,00	0,79	5,13	37,77
sabl 24	etg canet 4	6,20	0,52	2,23	22,35	3,35	9,15	0,19	1875,39	0,61	6,12	26,00
sabl 25	etg canet 5	7,60	0,52	2,78	20,69	3,36	9,64	0,11	2003,73	1,86	5,79	8,70
sabl 26	etg canet 6	7,37	0,50	1,91	21,74	2,37	8,19	0,12	1693,33	0,55	4,44	8,70
sabl 27	etg canet 7	6,00	0,52	2,38	18,85	2,28	7,87	0,28	1617,50	7,56	5,50	9,03
sabl 28	etg canet 8	6,11	0,54	1,37	19,97	3,48	9,28	0,05	1722,88	0,63	3,29	9,67
sabl 29	etg canet 9	11,75	0,46	1,10	18,65	2,71	10,25	0,02	1766,88	0,37	3,17	2,73
sabl 30	etg canet 10	1,76	0,50	1,18	23,19	1,65	9,73	<0,01	1517,18	4,00	3,73	4,45

		Ba	Co	Cr	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Zn
lagu 1	etg leucate 1	2,34	0,42	0,79	25,38	1,83	7,56	<0,01	1633,88	3,62	7,92	<0,11
lagu 2	etg leucate 2	2,36	0,38	1,06	23,43	0,75	7,28	<0,01	1690,80	0,18	6,22	<0,11
lagu 3	etg leucate 3	3,84	0,57	2,32	24,20	2,33	12,66	<0,01	1638,47	0,79	8,58	0,45
lagu 4	etg leucate 4	5,27	0,43	0,91	21,81	1,18	8,96	<0,01	1632,74	0,45	7,63	5,57
lagu 5	etg leucate 5	5,06	1,57	5,71	23,92	1,58	27,70	<0,01	1623,28	0,54	8,01	1,10
lagu 6	etg leucate 6	2,38	0,54	1,61	22,77	1,48	8,28	<0,01	1713,11	0,50	6,79	0,88
lagu 7	etg leucate 7	6,34	0,46	1,48	26,26	2,62	9,54	<0,01	1695,84	0,95	7,89	<0,11
lagu 8	etg leucate 8	3,29	0,41	1,05	25,19	1,88	9,13	<0,01	1722,63	0,36	10,22	0,33
lagu 9	etg leucate 9	4,49	0,58	1,81	26,64	1,50	9,08	<0,01	1507,95	0,39	8,73	1,76
lagu 10	etg leucate 10	4,30	0,59	1,35	24,16	0,86	11,82	<0,01	1645,89	0,95	6,37	<0,11
roch 1	Paulilles 1	2,51	0,58	2,25	17,41	1,09	15,65	<0,01	1700,73	0,31	11,31	0,49
roch 2	Paulilles 2	2,62	0,47	0,99	19,21	1,07	10,27	<0,01	1726,71	0,37	10,69	0,60
roch 3	Paulilles 3	4,62	0,57	2,64	14,64	1,23	11,08	<0,01	1838,12	0,62	5,87	0,73
roch 4	Paulilles 4	11,30	0,48	2,11	16,74	1,03	10,64	<0,01	1950,62	0,27	6,62	<0,11
roch 5	Paulilles 5	4,05	0,45	0,96	20,26	1,08	9,66	<0,01	1772,78	0,54	10,65	0,18
roch 6	Paulilles 6	3,60	0,56	1,17	17,62	0,89	9,70	<0,01	1802,17	0,65	10,63	0,55
roch 7	Paulilles 7	2,87	0,69	1,39	18,86	1,27	11,04	<0,01	1818,70	0,49	9,12	0,18
roch 8	Paulilles 8	2,04	0,42	0,86	17,73	1,72	10,67	<0,01	1740,14	0,14	13,22	<0,11
roch 9	Paulilles 9	2,27	0,46	0,44	19,47	1,18	11,99	<0,01	1662,82	0,21	11,02	0,09
roch 10	Paulilles 10	1,94	0,40	0,61	14,91	1,90	9,80	<0,01	1561,52	0,13	12,36	<0,11
roch 11	Peyrefite 1	8,25	0,38	<0,16	15,16	1,06	9,21	<0,01	1948,57	0,83	5,72	<0,11
roch 12	Peyrefite 2	3,07	0,46	0,42	19,17	1,66	10,13	<0,01	1798,35	0,28	10,43	<0,11
roch 13	Peyrefite 3	9,50	0,46	0,30	15,31	0,57	11,17	<0,01	1884,60	0,55	9,87	<0,11
roch 14	Peyrefite 4	4,86	0,39	0,38	17,50	0,85	10,50	<0,01	1708,60	2,84	15,18	<0,11
roch 15	Peyrefite 5	4,98	0,73	0,37	17,06	1,57	14,60	<0,01	1620,40	0,29	11,73	<0,11
roch 16	Peyrefite 6	3,09	0,49	0,51	20,69	1,02	11,93	<0,01	1752,38	0,06	11,40	<0,11
roch 17	Peyrefite 7	3,45	0,61	1,19	21,14	1,35	10,63	<0,01	1814,14	0,16	12,74	0,75
roch 18	Peyrefite 8	2,68	0,54	1,44	16,28	1,21	12,56	<0,01	1868,76	0,65	12,77	<0,11
roch 19	Peyrefite 9	19,00	0,53	0,82	16,88	0,85	10,09	<0,01	1878,83	0,18	11,31	<0,11
roch 20	Peyrefite 10	4,99	0,43	0,30	21,27	1,62	10,87	<0,01	1924,67	0,25	13,62	2,78

Annexe 3 : Concentrations (en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) en Ba, Co, Cr, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V et Zn dans la partie de l'otolithe de sars communs adultes correspondant à leur première année de croissance. Ces derniers ont été pêchés en 2007 sur la côte rocheuse naturelle (roch x) et au cap Leucate (Leuc x). Neuf poissons sont issus des marquages sur la côte sableuse (marq x).

	Ba	Co	Cr	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Zn
roch 1	5,71	20,04	1,98	14,15	1,19	31,61	0,32	2181,66	1,18	10,50	8,05
roch 2	3,60	20,54	3,28	10,02	0,85	49,69	0,29	2355,53	2,82	9,47	1,71
roch 3	4,04	12,96	2,19	12,43	2,02	41,32	0,28	2334,86	2,42	9,90	1,43
roch 4	3,68	11,85	4,17	15,61	1,40	46,73	0,23	2715,75	2,06	11,29	1,17
roch 5	6,78	6,58	3,99	7,22	2,68	32,21	0,16	2568,15	2,37	9,64	12,57
roch 6	3,43	9,17	3,61	8,77	0,65	49,36	0,27	2223,43	2,68	9,59	< 0,91
roch 7	2,28	9,08	2,24	8,29	0,48	51,71	0,26	2340,80	1,80	9,74	1,50
roch 8	5,80	7,48	2,43	7,68	0,55	46,36	0,25	2584,61	2,05	9,55	2,61
roch 9	4,08	5,86	2,25	13,28	1,47	37,72	0,24	1925,16	1,74	9,63	1,10
roch 10	3,83	5,56	2,04	7,57	0,37	37,39	0,30	2146,02	3,06	9,97	2,63
roch 11	4,82	4,80	5,12	13,26	1,13	35,49	0,29	2119,84	1,90	10,22	1,08
roch 12	3,47	4,07	3,29	11,96	0,73	27,26	0,30	2092,96	7,72	10,06	3,23
roch 13	1,97	2,57	1,58	9,80	1,27	18,13	0,28	2467,59	2,83	9,49	2,78
roch 14	3,19	3,61	2,66	10,04	0,34	27,48	0,27	2517,74	2,40	10,02	2,04
roch 15	4,10	4,25	2,64	10,77	1,05	32,02	0,24	1958,43	1,60	9,78	0,92
roch 16	5,82	3,84	2,56	11,52	0,42	33,43	0,33	2265,92	6,80	10,29	2,16
roch 17	2,75	1,60	1,16	12,95	1,21	21,33	0,43	2129,87	2,27	10,23	3,72
roch 18	2,97	1,24	2,27	14,04	1,49	16,53	0,47	1599,73	1,04	9,88	3,08
roch 19	4,47	1,88	3,05	11,32	1,00	24,16	0,25	2018,29	1,64	10,18	0,96
roch 20	1,84	2,60	1,86	8,20	11,90	31,72	0,39	2019,87	0,80	9,93	0,69
roch 21	3,41	1,48	1,42	9,50	0,59	19,32	0,31	2010,23	16,53	9,97	3,95
roch 22	3,10	2,32	1,27	11,65	1,17	29,21	0,28	2223,14	<0,70	9,66	< 0,91
roch 23	5,08	3,28	2,08	6,28	0,43	39,54	0,30	2990,92	1,43	9,97	< 0,91
roch 24	4,57	2,80	1,39	5,91	0,95	35,97	0,25	2720,16	0,81	10,19	< 0,91
roch 25	1,71	1,86	1,65	12,16	1,21	23,30	0,28	1885,99	0,77	10,73	1,96
leuc 1	3,22	2,68	1,01	12,35	0,69	9,84	0,24	2190,96	0,56	8,19	4,23

leuc 2	3,44	3,51	1,45	11,60	1,15	14,09	0,16	1867,07	0,76	8,58	3,08
leuc 3	10,89	2,26	0,93	8,44	0,64	10,31	0,28	1850,23	0,92	7,65	10,53
leuc 4	1,94	7,73	1,09	14,25	3,12	31,65	0,27	1881,24	1,38	8,24	2,11
leuc 5	6,07	6,42	2,32	7,75	1,37	26,57	0,18	1943,68	1,45	8,63	2,95
leuc 6	2,57	1,61	0,46	10,56	0,32	7,44	0,18	2651,39	<0,12	7,85	6,80
leuc 7	3,46	1,78	2,67	15,51	1,41	9,04	0,08	1804,57	0,33	7,62	10,70
leuc 8	3,88	1,76	0,82	14,26	1,51	7,95	0,15	1974,35	0,31	7,65	3,37
leuc 9	4,94	3,18	1,36	14,00	0,94	14,99	0,21	2035,90	0,32	8,58	3,83
leuc 10	7,55	1,94	0,61	15,50	1,10	9,61	0,17	1953,47	0,08	7,74	6,96
leuc 11	3,65	2,26	0,49	13,55	0,94	11,54	0,22	1964,16	0,29	8,12	12,63
leuc 12	5,12	1,14	0,37	19,48	1,33	6,55	0,10	1833,69	<0,12	7,04	16,69
leuc 13	1,99	2,31	0,61	9,36	0,56	15,28	0,16	2069,53	0,26	8,55	< 0,91
leuc 14	3,06	2,43	0,89	9,99	0,62	16,03	0,23	2043,45	0,99	8,31	< 0,91
leuc 15	2,27	3,51	0,84	13,37	1,23	23,59	0,17	1692,16	0,76	8,36	13,34
leuc 16	2,86	3,73	0,80	9,00	2,98	24,24	0,16	2284,46	0,74	8,22	7,94
leuc 17	2,25	2,36	0,89	8,44	0,52	15,61	0,23	1985,45	0,46	8,40	< 0,91
leuc 18	6,85	2,47	0,60	6,84	0,28	16,45	0,17	3924,64	0,55	8,55	< 0,91
leuc 19	2,13	3,91	1,04	8,92	0,85	27,65	0,25	1940,95	0,72	8,31	5,51
leuc 20	1,67	2,72	0,83	17,30	2,37	17,73	0,15	1592,94	1,65	8,60	0,67
leuc 21	4,81	3,07	0,83	12,47	2,48	22,42	0,19	1840,40	1,00	8,74	1,09
leuc 22	2,72	3,48	0,96	10,73	1,59	23,62	0,18	1851,92	1,14	8,45	< 0,91
leuc 23	2,66	3,83	0,93	8,63	0,75	26,08	0,17	1804,46	3,73	8,63	< 0,91
leuc 24	2,70	1,16	0,56	12,94	1,96	8,63	0,18	2162,15	0,58	6,90	< 0,91
marq 1	11,70	1,50	1,02	9,84	5,89	18,04	0,33	1750,89	3,11	10,11	< 0,91
marq 2	8,95	1,07	1,28	7,31	0,76	12,82	0,33	2194,88	1,75	9,65	0,90
marq 3	11,29	2,55	1,97	8,19	0,91	31,59	0,42	1856,29	0,94	9,99	< 0,91
marq 4	3,22	1,65	1,37	15,24	2,06	21,00	0,34	1552,43	0,88	10,55	4,57
marq 5	17,57	2,21	1,45	8,83	0,77	28,76	0,42	1879,89	0,85	9,97	< 0,91
marq 6	10,50	5,15	2,45	17,68	1,29	14,53	0,83	5323,86	0,92	9,01	10,62
marq 7	3,30	3,05	1,39	6,28	5,10	11,00	0,15	2557,20	0,75	8,52	1,66
marq 8	2,48	1,74	0,41	10,88	2,24	6,77	0,16	1999,78	0,27	7,40	4,73
marq 9	2,68	3,25	0,89	12,38	0,51	11,44	0,27	2338,36	0,60	8,27	4,29

Rôle des enrochements côtiers artificiels dans la connectivité des populations, cas du sar commun (*Diplodus sargus*, Linné, 1758) en Méditerranée nord-occidentale

La destruction d'une partie des habitats est souvent la cause principale de leur fragmentation. Or, depuis les années 1960-1970, l'anthropisation du littoral du golfe du Lion a engendré la création d'habitats fragmentés, non pas par une destruction, mais bien par un apport nouveau via l'installation massive d'enrochements côtiers artificiels. Cette étude a eu pour but principal de comprendre le rôle de ces structures en comparaison à des zones naturelles (lagunes, zone rocheuse) dans le maintien des populations de poissons de la côte rocheuse située plus au sud. Le sar commun, poisson caractéristique des zones rocheuses, a été utilisé comme modèle. Des comptages d'adultes et de juvéniles en plongée subaquatique, des marquages directs mais aussi l'utilisation de la microanalyse chimique des otolithes ont été utilisés afin de répondre à ces interrogations.

Les aménagements littoraux jouent un rôle de nurserie non négligeable. Selon les années, les densités de juvéniles sont de 30 à 109 fois supérieures à celles observées sur les habitats naturels, que ce soit sur la côte rocheuse ou dans la lagune. La présence de seulement deux groupes principaux de géniteurs sur la côte catalane française pourrait expliquer de telles différences. Un des deux alimenterait les enrochements côtiers artificiels, il serait situé au cap Leucate. Le second, dans la réserve de Cerbère-Banyuls exporterait des juvéniles vers la côte espagnole suivant un courant dominant nord-sud. De plus, la lagune aurait perdu son rôle de nurserie au profit des aménagements littoraux.

Nos résultats montrent aussi qu'il existe une connectivité lors de la phase adulte entre ces structures côtières et les zones rocheuses naturelles. Elle a lieu principalement au printemps et en automne. 20 % des sars ayant fait leur installation sur les aménagements littoraux les quittent pour la côte rocheuse. Sur cette côte un tiers des sars sont issus d'une installation sur des habitats artificiels de la côte sableuse.

Cette étude souligne le rôle majeur que peuvent avoir ces habitats artificiels dans le maintien, voire l'extension des populations de sars communs au niveau de la côte catalane, mais aussi de l'ensemble du golfe du Lion. La fragmentation de l'habitat est dans ce cas positive. Elle pourrait être à l'origine de l'apparition de nouvelles espèces sur la côte du Languedoc-Roussillon comme le sar tambour, *Diplodus cervinus* et le denti, *Dentex dentex*.

Mots clés : connectivité, habitats artificiels, *Diplodus sargus*, fragmentation positive, nurserie, marquage, microanalyse chimique des otolithes

Role of artificial coastal reefs in the connectivity of populations, the white seabream (*Diplodus sargus*, Linné, 1758) case in the north-western Mediterranean

Habitat destruction is a major cause of its fragmentation. Since the 1960's, human pressure on seashores, especially along the Gulf of Lion has induced lots of fragmented habitats. Destruction is not the predominant factor for this fragmentation, but the large-scale installation of coastal artificial rocks which creates new habitats. This study investigated on the role of these structures compared to natural areas (lagoons, rocky shores) to maintain fish populations more south, on the rocky coast. The white seabream, infested to these rocky areas, is the biological model used. Scuba diving visual census of adults and juveniles, direct tagging and otolith microchemistry were performed to better understand these dynamics.

Coastal artificial habitats have to be considered as important nursery areas. Depending on the year, densities of juveniles are 30 to 109 times higher than those observed on natural habitats, either on the rocky coast or in the lagoon. Such differences could be explained by the presence of only two main groups of adults along the French Catalan coast. The first would supply the coastal artificial rocks and be located at cap Leucate. The second, in the reserve of Cerbère-Banyuls, would export juveniles to the Spanish coast following the dominant north-south current. Moreover, the lagoon has lost its nursery function to the benefit of the artificial coastal habitats.

Our results also show the connectivity during the adult phase between these coastal structures and the natural rocky areas. 20% of white seabreams which had settled on the artificial habitats, left for the rocky coast, mainly in spring and autumn. We also presume that one third of the seabreams living there are those that had settled on the artificial habitats of the sandy coast.

This study underlies the importance presumably of major role played by these artificial habitats to the maintenance and expansion of populations of white seabream in the Catalan coast. The results are possibly a snapshot of the population dynamics in the Gulf of Lion. Habitat fragmentation has a positive effect in this case. It could be the origin of emergence of new species on the coast of Languedoc-Roussillon like the zebra seabream, *Diplodus cervinus* and the common dentex, *Dentex dentex*.

Key words: connectivity, artificial habitats, *Diplodus sargus*, positive fragmentation, nursery, tagging, otolith microchemistry