



**SIVOM
Leucate – Le Barcarès**

**Suivi scientifique
des récifs artificiels
de Leucate et Le Barcarès**

Automne 2005 – Hiver 2006

Juin 2006



**Laboratoire Ecosystèmes Aquatiques Tropicaux et
Méditerranéens
EPHE – CNRS FRE 2935**

Laboratoire Ecosystèmes Aquatiques Tropicaux et Méditerranéens
EPHE – CNRS FRE 2935
Université de Perpignan
Avenue Paul Alduy, 66860 Perpignan Cedex

Suivi scientifique des récifs artificiels de Leucate et Le Barcarès

Automne 2005 – Hiver 2006

Maître d'ouvrage :

SIVOM de Leucate et Le Barcarès

Maître d'œuvre :

Laboratoire Ecosystèmes Aquatiques Tropicaux et Méditerranéens

EPHE – CNRS FRE 2935

Université de Perpignan

Avenue Paul Alduy

66860 Perpignan Cedex

Responsables de l'étude :

Philippe LENFANT, Nicolas DALIAS

Participants aux missions de terrain :

Philippe LENFANT, Nicolas DALIAS, Patrick ASTRUCH, Jérémy PASTOR, Marion JARRAYA, Géraldine CRIQUET, Pablo SAENZ

Crédits photographiques :

Nicolas DALIAS, Jérémy PASTOR

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

DALIAS N., LENFANT P., SAENZ P., ASTRUCH P., PASTOR J., 2006. Suivi des récifs artificiels de Leucate et Le Barcarès, Automne 2005 – Hiver 2006. Contrat SIVOM de Leucate et Le Barcarès & EPHE, Fr : 1 – 79.

1	Introduction.....	5
1.1	Contexte général du projet	5
1.2	Description technique des récifs artificiels immergés	6
1.2.1	Module type A.....	6
1.2.2	Module type A'	7
1.2.3	Module type B.....	7
1.2.4	Module type B'	7
1.2.5	Module type C.....	8
1.3	Présentation de la zone d'immersion des récifs artificiels	9
1.3.1	Les zones de profondeur inférieure à 20 m	11
1.3.2	Les zones de profondeur supérieure à 20 m	11
1.4	Objectifs de la présente étude	12
2	Le suivi des récifs artificiels.....	13
2.1	Présentation des récifs étudiés.....	13
2.2	Choix de la méthode.....	15
2.3	Méthodes de comptage en plongée	16
2.4	Phase de repérage des modules	17
3	L'étude des paramètres physiques	18
3.1	Méthodologie	18
3.1.1	L'indice d'enfouissement	18
3.1.2	La profondeur de la cuvette	19
3.1.3	L'indice d'effondrement.....	19
3.1.4	L'émergence des modules.....	20
3.1.5	Déplacement des modules	20
3.1.6	La température	20
3.2	Résultats et discussion.....	21
3.2.1	Description générale.....	21
3.2.2	L'orientation des modules	23
3.2.3	Les modules de type « Buse »	24
3.2.4	Les modules de type « Dalot »	24
3.2.5	Les modules type « Amas chaotique »	25
3.2.6	Discussion	26
4	L'étude des paramètres biologiques	27
4.1	Méthodologie	27
4.1.1	Suivi des espèces mobiles (poissons et invertébrés)	27
4.1.2	Suivi des espèces fixées (macroflore et invertébrés)	29
4.2	Résultats et discussion	29
4.2.1	La faune pionnière	29
4.2.2	La richesse spécifique des peuplements des récifs.....	32
4.2.3	La densité des espèces en fonction des classes de taille	40
4.2.4	La densité des espèces d'intérêt commercial.....	45
4.2.5	La biomasse des espèces d'intérêt commercial	49
4.2.6	Estimation de la biomasse sur l'ensemble d'une zone de récifs artificiels.....	59
5	L'étude halieutique par pêche expérimentale.....	61
5.1	Méthodologie	61
5.2	Résultats et discussion	63
5.2.1	Diversité, densité et biomasse	63
5.2.2	Influence de la Zone Témoin rocheuse du Cap Leucate	72
6	Conclusion.....	74
6.1	Des résultats encourageants.....	74
6.2	Les récifs artificiels, un outil de gestion des ressources	75
7	Références bibliographiques	77

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au concours financier du SIVOM Leucate – Le Barcarès. Nous profitons donc de ce court paragraphe de remerciements pour saluer l'intérêt de cet organisme pour les problèmes de gestion halieutique et écologique de la zone côtière et leur volonté de soutenir l'activité de pêche professionnelle.

Nous tenons à remercier chaleureusement les pêcheurs de Leucate et du Barcarès qui nous ont régulièrement accueilli sur leurs bateaux et qui ont réalisé les pêches expérimentales, le centre de plongée sous-marine Le Poulpe (le Barcarès), les capitaineries de Leucate et Le Barcarès pour leur soutien logistique au cours de ce suivi.

Avertissements

Dans le texte, les noms scientifiques des espèces sont généralement utilisés uniquement lors de leur première apparition ou lorsque la précision s'avère nécessaire. Au profit d'un confort de lecture, les noms communs des espèces sont donc le plus souvent employés.

1 Introduction

1.1 Contexte général du projet

Le littoral Languedocien et Roussillonnais, comme bon nombre de zones côtières, a souffert d'une exploitation intensive et parfois mal gérée des ressources halieutiques (capture d'individus trop jeunes, pêche en période de reproduction, etc.) avec, pour conséquence, une diminution des stocks pour de nombreuses espèces. Cette situation de mauvaise exploitation, voire de surexploitation, entraîne des difficultés non seulement en terme de conservation des ressources vivantes, mais également sur le plan socio-économique, étant donné la situation actuelle souvent inconfortable des métiers de la pêche. En deux décennies, le littoral Languedocien et Roussillonnais a connu un important phénomène de récession concernant les activités halieutiques.

Le concept des récifs artificiels est ancien et certainement lié à l'observation faite par les pêcheurs que la pêche était bien plus importante au voisinage d'épaves ou de structures volontairement immergées. En effet, ces structures font office de nouveau substrat disponible. Dans un premier temps, les poissons et les invertébrés mobiles sont attirés par cette nouvelle structure, puis, dans un deuxième temps, une véritable production de biomasse peut se réaliser. Des réseaux trophiques complexes peuvent alors s'installer et un nouvel écosystème peut se développer.

En 2004, le SIVOM Leucate – Le Barcarès a donc fait réaliser au large de ses communes un projet de récifs artificiels.

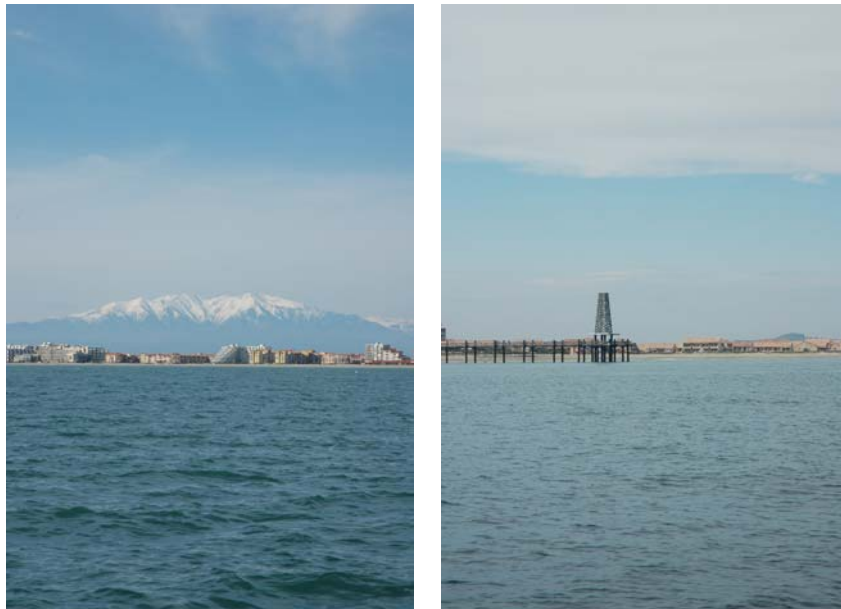


Photo 1 : Le Barcarès et Leucate, vue du large.

L'objectif de l'immersion des récifs artificiels au large des communes de Leucate et Le Barcarès est de favoriser le maintien de la pêche professionnelle artisanale locale et des emplois indirects de cette filière économique traditionnelle (chantier naval, réparation de moteurs, mareyage, etc.) sur une partie de ce littoral (Photo 2).

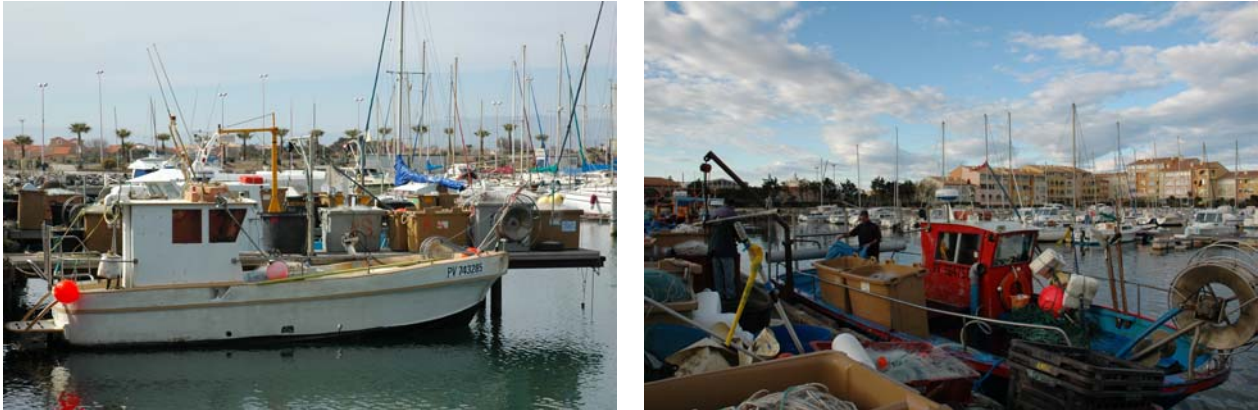


Photo 2 : Les ports de Le Barcarès et Leucate

Basé sur la protection de six zones marines le long de ce littoral à des profondeurs comprises entre 15 et 30 m, ce projet est le plus important en Languedoc-Roussillon avec un volume de récifs d'environ 2200 m³, sur une surface totale de 72 hectares.

Cette opération s'inscrit dans une politique régionale de protection et de mise en valeur de la bande côtière initiée depuis plus de 15 ans par le CEPRALMAR.

1.2 Description technique des récifs artificiels immergés

Les récifs artificiels sont constitués de plusieurs modules répartis sur les différents sites à aménager.

1.2.1 Module type A

Le module type A est un récif tout béton qui est composé simplement d'un cœur ou, noyau composant le volume.

Le cœur ou noyau du récif est une buse d'un diamètre intérieur de 1600 mm et d'un diamètre extérieur de 1900 mm, dans laquelle est disposée à l'intérieur une buse de diamètre intérieur de 1000 mm. La longueur des buses est de 2,40 m.

Les deux buses sont liées entre elles afin d'être complètement solidaires et d'éviter tout désemboîtement.

1.2.2 Module type A'

Il s'agit du même type de récif que précédemment (type A) complété d'un socle composant un tapis anti-affouillement.

Le tapis anti-affouillement est composé de berlingots en béton d'une largeur de 415 mm et d'une longueur de 425 mm, pour une épaisseur de 150 mm. Ils sont espacés de 15 mm et sont reliés entre eux par une corde de diamètre 22 mm dans le sens de la largeur et de diamètre 14 mm dans le sens de la longueur.

L'ensemble du tapis est constitué de sept unités dans le sens de la largeur et de 16 unités dans le sens de la longueur, ce qui représente un total de 112 berlingots pour une dimension totale de 7,025 m x 2,995 m et un poids total de 6096 Kg.

Le cœur ou noyau du récif est une buse d'un diamètre intérieur de 1600 mm et d'un diamètre extérieur de 1900 mm, dans laquelle est disposée à l'intérieur une buse de diamètre intérieur de 1000 mm. La longueur des buses sera de 2,40 m.

Les deux buses sont liées entre elles afin d'être complètement solidaires et d'éviter tout désemboitement.

Par ailleurs, les deux buses sont positionnées et fixées par des chaînes sur le centre du tapis anti-affouillement.

1.2.3 Module type B

Le module type B est un récif tout béton qui est composé simplement d'un cœur ou, noyau composant le volume.

Le cœur ou noyau du récif est constitué de deux dalots préfabriqués en béton de dimensions intérieures de 2 m x 2 m sur une longueur de 2 m, d'épaisseur 18 cm, dans lesquels sont disposés à l'intérieur deux dalots de 0,97 m x 0,97 m x 0,60 m.

Les quatre dalots sont liés entre eux afin d'être complètement solidaires et d'éviter tout désemboitement.

1.2.4 Module type B'

Il s'agit du même type de récif que précédemment (type B) complété d'un socle composant un tapis anti-affouillement.

Le tapis anti-affouillement est composé de berlingots en béton d'une largeur de 415 mm et d'une longueur de 425 mm, pour une épaisseur de 150 mm. Ils sont espacés de 15 mm et sont reliés entre eux par une corde de diamètre 22 mm dans le sens de la largeur et de diamètre 14 mm dans le sens de la longueur.

L'ensemble du tapis est constitué de sept unités dans le sens de la largeur et de 16 unités dans le sens de la longueur, ce qui représente un total de 112 berlingots pour une dimension totale de 7,025 m x 2,995 m et un poids total de 6096 Kg.

Le cœur ou noyau du récif est constitué de quatre dalots préfabriqués en béton de dimensions intérieures de 2 m x 2 m sur une longueur de 2 m, d'épaisseur 18 cm, dans lesquels sont disposés à l'intérieur deux dalots de 0,97 m x 0,97 m x 0,60 m.

Les deux dalots sont liés entre eux afin d'être complètement solidaires et d'éviter tout désemboitement.

Par ailleurs, les quatre dalots sont positionnés et fixés par des chaînes sur le centre du tapis anti-affouillement.

1.2.5 Module type C

Le module type C est constitué par des amas chaotiques d'éléments divers. Il s'organise en deux parties distinctes : la base ou socle du récif et le cœur ou noyau du récif.

Le tapis anti-affouillement est composé de berlingots en béton d'une largeur de 415 mm et d'une longueur de 425 mm, pour une épaisseur de 150 mm. Ils sont espacés de 15 mm et sont reliés entre eux par une corde de diamètre 22 mm dans le sens de la largeur et de diamètre 14 mm dans le sens de la longueur.

L'ensemble du tapis est constitué de sept unités dans le sens de la largeur et de 16 unités dans le sens de la longueur, ce qui représente un total de 112 berlingots pour une dimension totale de 7,025 m x 2,995 m et un poids total de 6096 Kg.

Pour ce type de récif quatre tapis sont immergés et constituent un plus grand tapis de 7 m x 12 m.

Le cœur du récif est constitué :

- de blocs et rochers de carrière,
- d'éléments creux de regards d'assainissement en béton armé,
- de bornes en béton, dalle en béton, buses béton,
- de modules cubiques type « sabla ».

Le volume total de l'amas chaotique est d'environ 100 m³. L'amas est disposé de manière à créer un obstacle d'environ 3 m de hauteur.

L'amas chaotique est composé :

- d'éléments fournis gratuitement par le Maître d'Ouvrage (30%),
- d'enrochements de catégorie C (20%),
- d'éléments cubiques 1,20 x 1,20 x 1,20 type BONNA SABLE ou similaire (20%),
- de grosses structures préfabriquées type buses, poutres, dalles, etc. (20%),
- de petites structures préfabriquées type agglos, blocs à bancher, etc. (10%).

1.3 Présentation de la zone d'immersion des récifs artificiels

L'immersion des récifs artificiels s'est déroulée le long du littoral des communes de Leucate et de Le Barcarès, depuis le sud de Leucate Plage, jusqu'au Grau Saint Ange (Figure 1).

Chaque commune comporte trois zones :

- pour Leucate : les zones 1 (Z1) et 2 (Z2) au sud de Leucate Plage et la zone 3 (Z3), située au large de Port Leucate,
- pour Le Barcarès : les zones 4 (Z4) et 5 (Z5) au large des Portes du Roussillon et la zone 6 au large de Port Barcarès.

Les implantations précises des stations sont les suivantes :

Nom Station	Latitude Nord (Europe 50)	Longitude Est (Europe 50)	Zone	Profondeur (m)
« Leucate Nord – côte »	42° 53,805' N	3° 04,280' E	2	17,5
« Leucate Nord – large »	42° 53,800' N	3° 04,680' E	1	22,5
« Leucate sud – côte »	42° 51,095' N	3° 03,715' E	3	17,5
« Barcarès Nord – côte »	42° 49,500' N	3° 03,530' E	5	18
« Barcarès Nord – large »	42° 49,500' N	3° 03,890' E	4	23
« Barcarès sud – large »	42° 48,210' N	3° 03,700' E	6	22,5

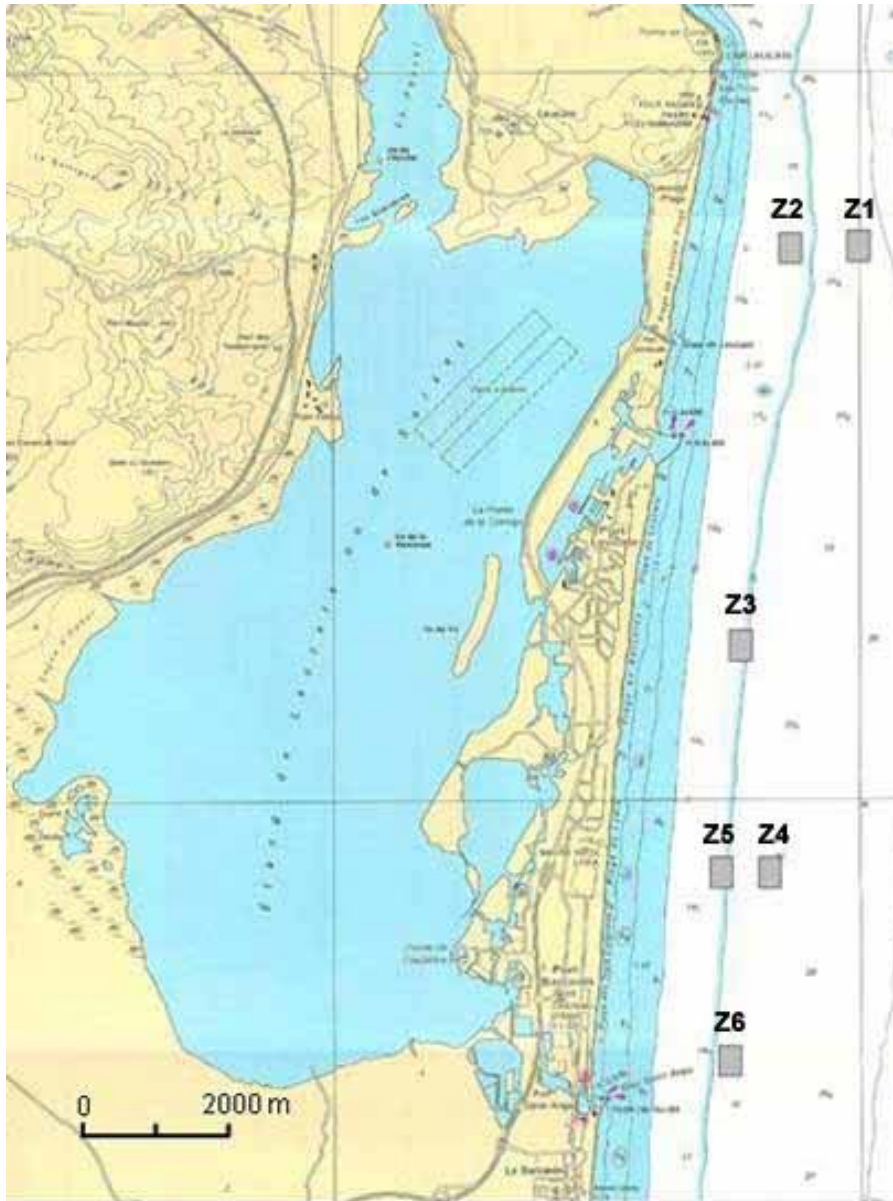


Figure 1 : Localisation des 6 zones de récifs artificiels

Les six zones d'immersion des récifs artificiels sont très semblables. Elles sont caractérisées par un fond plat, sablo-vaseux, ne présentant aucune particularité physique remarquable. Les peuplements benthiques et les ressources trophiques sont abondants. Les six zones sont en continuité des zones rocheuses qui jouent le rôle de concentrateurs de poissons.

Sur chacune, les différents modules sont répartis au sein d'une zone rectangulaire de 400 m de long et de 300 m de large, soit une superficie de 12 hectares, orientée parallèlement à la côte. Les récifs sont implantés sur un pas de 50 m en partant du rivage (isobathe 15 m) vers le large (isobathe 30 m) (Figure 2).

Le facteur profondeur permet de distinguer plusieurs zones dont l'aménagement varie.

1.3.1 Les zones de profondeur inférieure à 20 m

Les zones des profondeurs inférieures à 20 m sont :

- Leucate nord, « zone 2 », dont l'isobathe moyen se situe à environ 17,50 m,
- Leucate sud, « zone 3 », dont l'isobathe moyen se situe à environ 17,50 m,
- Barcarès nord, « zone 5 », dont l'isobathe moyen se situe à environ 18 m.

Les aménagements sur chacune de ces trois zones sont composés de :

- 10 modules de type A' « Buse »,
- 12 modules de type B' « Dalot »,
- 6 modules de type C « Amas chaotique ».

1.3.2 Les zones de profondeur supérieure à 20 m

Les zones des profondeurs supérieures à 20 m sont :

- Leucate nord, « zone 1 », dont l'isobathe moyen se situe à environ 22,50 m,
- Barcarès nord, « zone 4 », dont l'isobathe moyen se situe à environ 23 m,
- Barcarès sud, « zone 6 », dont l'isobathe moyen se situe à environ 22,50 m,

Les aménagements sur chacune de ces trois zones sont composés de :

- 10 modules de type A « Buse »,
- 12 modules de type B « Dalot »,
- 6 modules de type C « Amas chaotique ».

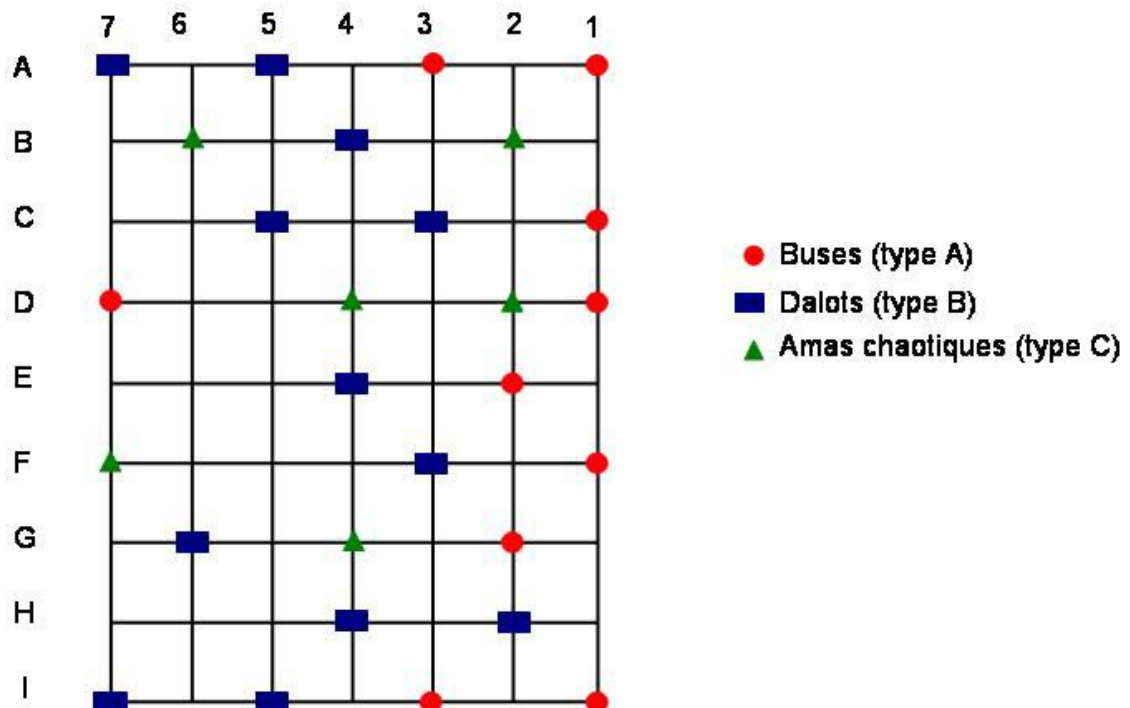


Figure 2 : Schéma du positionnement des différents modules au sein d'une zone de récifs artificiels.

1.4 Objectifs de la présente étude

L'objectif du suivi est double et se développe suivant des approches complémentaires :

- évaluer l'efficacité des récifs en terme de soutien de l'activité de pêche artisanale,
- obtenir une vision plus globale des diverses fonctions biologiques et écologiques (existence d'abri, de nourriture, rôle de nurseries, favorisation de la croissance et de la reproduction, nouveau réseau trophique, etc.) qu'ils assurent au sein de l'écosystème.

L'étude pour ce suivi est donc basée sur :

- la description de la dynamique de colonisation des récifs artificiels par la macroflore et la macrofaune (espèces commerciales essentiellement),
- l'évaluation du comportement des ouvrages par rapport aux contraintes naturelles environnementales,
- la comparaison des caractéristiques des zones d'immersion des récifs artificiels avec des zones « témoin » non aménagées,
- l'analyse de l'impact de ces immersions sur la pêche professionnelle locale,
- enfin, au terme du suivi, la formulation de propositions pour de futurs aménagements faisant intervenir l'immersion de récifs artificiels.

Le suivi est réalisé sur une période de 4 années. Une campagne est effectuée en été (entre Avril et Septembre, de 2005 à 2009) et une autre est effectuée en hiver (entre Octobre et Mars, de 2005 à 2008). La campagne d'hiver 2009 ne sera pas effectuée du fait du terme du marché fixé à l'été 2009.

Ce rapport présente les résultats des deux premières campagnes « Automne 2005 » et « Hiver 2006 ».

Etant donné l'attribution tardive du marché (début octobre 2005) et le temps nécessaire à la mise en place logistique, la première campagne (« Automne 2005 ») n'a seulement débuté que le 2 novembre 2005.

Le suivi scientifique comporte deux volets complémentaires :

- l'étude de la colonisation des récifs en plongée sous-marine,
- l'étude halieutique par pêche expérimentale (Photo 3).

Photo 3 : La pêche expérimentale



2 Le suivi des récifs artificiels

2.1 Présentation des récifs étudiés

Les zones profondes (zone 1, 4 et 6) ne permettent pas la réalisation du suivi biologique du fait d'une absence de visibilité (plongées de repérage), au moins pour les périodes d'automne et d'hiver.

Comme recommandé par le SIVOM de Leucate et Le Barcarès et après concertation avec tous les partenaires du projet, deux zones sont suivies :

- sur la commune de Leucate, la zone 3 (Z3),
- sur la commune du Barcarès, la zone 5 (Z5) (Figure 3).



Figure 3 : Localisation des deux zones de récifs artificiels étudiés

Compte tenu de l'étendue du projet et de la dispersion des modules, il n'était pas réaliste d'envisager un suivi sur chaque module. Aussi, 18 modules par zone (Figure 4) ont été étudiés, avec un nombre minimum de modules assurant la représentativité de l'aménagement, en fonction de la localisation, de la profondeur et des distances entre les modules. En fonction des spécificités rencontrées lors des premiers repérages, les plongées ont été adaptées.

- Les 18 modules étudiés par zone sont répartis de la façon suivante :
- 6 buses,
 - 6 dalots,
 - 6 amas chaotiques.

Cette sélection permet d'étudier 60% des buses, 50% des dalots et 100% des amas chaotiques. L'effort de prospection est fonction de la taille et de la complexité des récifs.

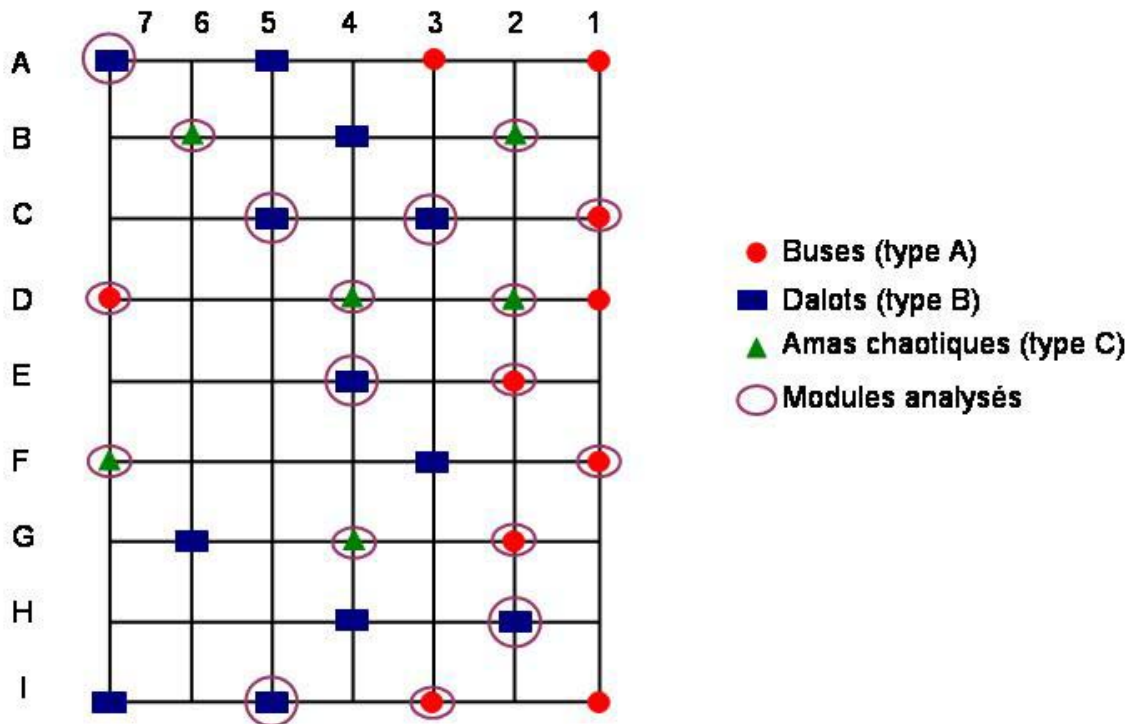


Figure 4 : Schéma du positionnement des différents modules étudiés au sein d'une zone de récifs.

Ces zones resteront interdites d'accès aux différents usagers pendant toute la durée du suivi.

Outre ces deux zones, une zone localisée loin du site d'immersion, située à l'aplomb du Cap Leucate, fait office de zone témoin.

L'analyse de la zone témoin du Cap Leucate se fait par l'analyse de 6 secteurs d'environ 40 m. Ces derniers sont délimités au préalable et correspondent en superficie à celle des modules de type « Amas chaotique ».

2.2 Choix de la méthode

L'évaluation des peuplements dans un récif artificiel peut comporter deux stratégies différentes :

- utilisation de méthodes destructives, avec des engins de pêche traditionnels (trémail, filet maillant, chalut, palangre, canne hameçons) ou d'autres engin (fusil-harpon, divers poisons),
- utilisation de méthodes conservatrices, directes (évaluation en plongée par des comptages visuels, enregistrement vidéo et/ou photo) ou indirectes (ROV ou caméra téléguidé depuis la surface).

Les avantages et les inconvénients des deux méthodes pour les récifs artificiels ont été analysé par Charbonnel et al. (1995, 1997) et sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 1).

	Pêche expérimentale	Plongée sous-marine
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Données précises sur tailles et poids des individus - Spécimens disponibles pour d'autres analyses (alimentation, reproduction), - Nombre d'espèces échantillonnées, en théorie, plus important, - Evaluation de l'impact bénéfique des récifs sur la pêche professionnelle, - Possibilité d'échantillonner les espèces nocturnes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Surface et volumes échantillonnés connus (calculs de densité et de biomasses), - Caractéristiques du site connues - Pas de prélèvement dans le peuplement étudié (comparaisons répétées et suivi à long terme possibles), - Données sur les espèces vivant à l'intérieur et autour du récif, - Evaluation plus efficace des espèces craintives et bonnes nageuses (Sparidae), - Possibilité d'observation sur le comportement.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Pas d'accès à l'intérieur des récifs et accès limité entre les récifs, - Méthode aveugle, pas de contrôle des caractéristiques de la zone échantillonnée, - Evitement des poissons devant l'engin de pêche, sous-estimation des biomasses, - Suivi régulier à long terme du peuplement impossible sur des petits récifs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comptages impossibles si turbidité importante, - Obligation d'un entraînement régulier et d'une intercalibration des observateurs, - Interactions entre plongeur / poisson, - Temps d'intervention limité (problème d'étude des variabilités spatiales et temporelles)

Tableau 1 : Synthèse des avantages et inconvénients des méthodes par pêche et par plongée pour l'évaluation des peuplements de poissons sur les récifs artificiels (in Charbonnel et al., 1995, 1997).

Les méthodes par pêche ont été largement utilisés en Europe sur les récifs de la Mer Adriatique (Bombace et al., 1994 ; Fabi & Fiorentini, 1994), sur les anciens récifs du Languedoc- Roussillon (immergés en 1985) par l'IFREMER (Duval-Mellon, 1987 ; Duclerc & Bertrand, 1993). Néanmoins, ces techniques d'échantillonnage ne

sont pas vraiment appropriées à l'étude des peuplements des récifs artificiels car la pêche aux filets est impossible à proximité des récifs (problème d'accessibilité et accrochage des filets) où se situe l'essentiel du peuplement. Ainsi les pêches expérimentales (filets trémails, chalutage) et les enquêtes sur les débarquements, menés par l'IFREMER, ont été effectuées sur des zones trop éloignées des récifs pour pouvoir montrer l'impact halieutique bénéfique attendu (Duval-Mellon, 1987 ; Duclerc & Bertrand, 1993). De plus, une technique de pêche classique comme le chalutage sous-échantillonne fortement les Sparidae (Harmelin-Viviens & Francour, 1992). Pourtant, en Méditerranée, ils représentent la principale famille de poissons d'intérêt commercial rencontrée sur les récifs. Le suivi réalisé par l'IFREMER a été vivement critiqué sur le plan scientifique (Ody, 1990 ; Marinaro, 1995 ; Jensen & Collins, 1995) mais également sur le plan politique. En effet, les conclusions négatives de ce suivi ont conduit la France, leader dans le domaine de l'immersion de récifs artificiels dans les années 1980, à adopter une attitude prudente et à geler la plupart des programmes d'immersions de récifs, alors que les pays voisins (Italie et Espagne) développaient d'importants programmes d'aménagement de leur bande côtière en récifs, avec une grande partie des financements provenant d'Europe.

Les évaluations visuelles en plongée sous-marine comportent également un certain nombre de biais, synthétisés par Harmelin-Vivien et al. (1985). Les sources d'erreurs proviennent à la fois de l'observateur, de sujet observé et des interactions qu'ils peuvent établir entre eux. Néanmoins, cette méthode non destructive ne perturbe pas les peuplements en place et n'entraîne pas un biais d'échantillonnage trop important contrairement aux méthodes destructives qui laissent croire à une plus grande précision (Harmelin-Vivien et al., 1985). Les comptages en plongée permettent d'échantillonner les espèces à domaine vital étendu (sars, loups), les espèces à plus faible déplacement spatial, inféodées au récif (labres, serrans) ou les espèces cryptiques du récif (congres, mostelles, rascasses). Les relevés visuels constituent toutefois un compromis car la totalité du peuplement ne peut être pris en compte.

Chaque méthode présentant des avantages et des inconvénients, l'utilisation complémentaire de ces deux techniques d'échantillonnage (pêche et plongée sous-marine) a donc été choisie pour ce suivi des récifs artificiels de Leucate et Le Barcarès, comme ce fut le cas en Italie (Fabi & Fiorentini, 1994), au Portugal (Nevès-Santos, 1997) et en France (Collart & Charbonnel, 1998).

2.3 Méthodes de comptage en plongée

Depuis leur mise au point par Brock (1954) sur les récifs coralliens d'Hawaii, les comptages visuels en plongée sous-marine sont largement utilisés à travers le monde.

En Méditerranée, la plupart des travaux réalisés concernent les zones naturelles : substrats rocheux et herbier de Posidonie (Harmelin-Vivien et al., 1985 ; Harmelin, 1987 ; Francour, 1994 ; Garcia-Rubiès & Mac Pherson, 1995). Plusieurs équipes de recherche ont tout de même adapté ces techniques de comptage à l'étude des récifs artificiels (Charbonnel et al., 1997). Une stratification de l'échantillonnage est nécessaire (Charbonnel et al., 1997). Chaque récif artificiel est

un cas particulier, du fait de sa taille et de son hétérogénéité structurale. Il faut donc adapter à chaque fois sa méthode d'étude.

Lors de ce suivi, il a fallu prendre en compte de nombreux facteurs limitants (Tramontane, vent d'est, houle, froid, turbidité des eaux et manque de visibilité) pour les différents échantillonnages (pêches expérimentales et plongée sous-marine).

2.4 Phase de repérage des modules

La méthode employée consiste se placer sur la position théorique du module et de tourner autour de cette position pendant quelques minutes, jusqu'à ce que l'écho caractéristique du module apparaisse au sondeur. Les surfaces couvertes lors de certaines recherches furent parfois importantes car par mer agitée (houle et/ou courant), il devient difficile voire impossible de distinguer l'écho du sondeur.

L'écho renvoyé sur l'écran du sondeur présente un pic vers le haut (module proprement dit), associé parfois à un décrochement vers le bas (cuvette). Une fois l'écho visualisé, un corps mort est alors mis à la mer afin de baliser la zone et de guider les plongeurs sur le récif (Photo 4).



Photo 4 : Balise signalant un récif artificiel

Dans certains cas, la balise étant tombée à proximité du récif du fait de la houle et/ou du courant, le manque de visibilité a rendu plus difficile le repérage du récif par les plongeurs, augmentant ainsi leur temps de plongée.

L'ensemble des paramètres physiques et biologiques est collecté au cours de la même plongée pour une optimisation du temps passé sous l'eau. Sur une journée de travail, deux palanquées de deux plongeurs se relaient afin d'effectuer ces plongées dans les meilleures conditions de sécurité et permettre une plus grande pertinence des données récoltées.

3 L'étude des paramètres physiques

3.1 Méthodologie

3.1.1 L'indice d'enfouissement

La méthode de mesure est adaptée en fonction du type de module. Trois paramètres sont mesurés pour pouvoir calculer l'indice d'enfouissement (Figure 5).

- profondeur maximale (prof. max., en mètres) : profondeur mesurée au point le plus profond à proximité du module, généralement au fond de la cuvette formée près du module,
- profondeur minimale (prof. min. en mètres) : profondeur mesurée au point le moins profond du module, généralement la partie supérieure de celui-ci,
- hauteur du module (h, en mètres) : hauteur ou diamètre du module.

Les profondeurs sont estimées à l'aide d'un profondimètre digital donnant la mesure en mètres à dix centimètres près.

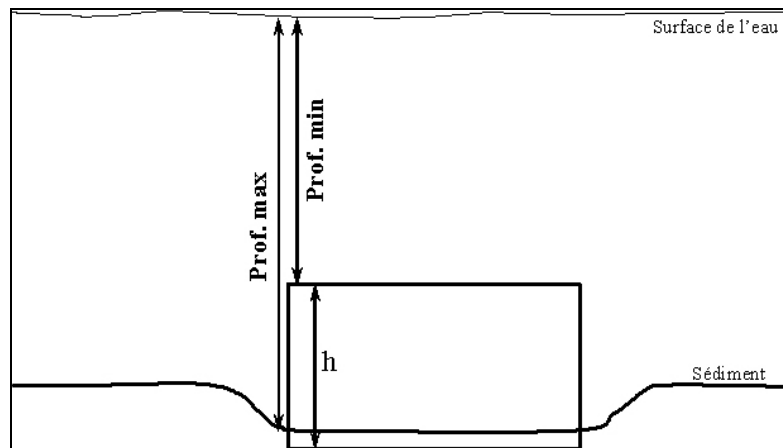


Figure 5 : Différentes mesures utilisées pour calculer l'indice d'envasement d'un module quelconque.

L'indice d'enfouissement (I_E) peut ainsi être calculé comme suit :

$$I_E = h - (\text{prof. max.} - \text{prof. min.}) \times 100$$

Cet indice nous informe sur le degré d'enfouissement du module, il est ainsi potentiellement indicateur de la durée de vie du récif.

3.1.2 La profondeur de la cuvette

Deux paramètres sont mesurés pour pouvoir calculer la profondeur de la cuvette :

- profondeur maximale (prof. max., en mètres) : profondeur mesurée au point le plus profond à proximité du module, généralement au fond de la cuvette formée près du module,
- profondeur extérieure (prof. ext., en mètres) : profondeur observée à une dizaine de mètres de distance du module et supposée ne pas être affectée par les perturbations courantologiques induites par le récif.

Les profondeurs sont estimées à l'aide d'un profondimètre digital donnant la mesure en mètres à dix centimètres près.

3.1.3 L'indice d'effondrement

L'indice d'effondrement (I_{Ef}) est calculé seulement au niveau des amas chaotiques qui sont les seuls modules susceptibles de s'effondrer. Pour cela, seulement deux paramètres sont mesurés (Figure 6) :

- profondeur extérieure (prof. ext., en mètres) : profondeur observée à une dizaine de mètres de distance du module et supposée ne pas être affectée par les perturbations courantologiques induites par le récif,
- profondeur minimale (prof. min. en mètres) : profondeur mesurée au point le moins profond du récif, généralement la partie supérieure de celui-ci.

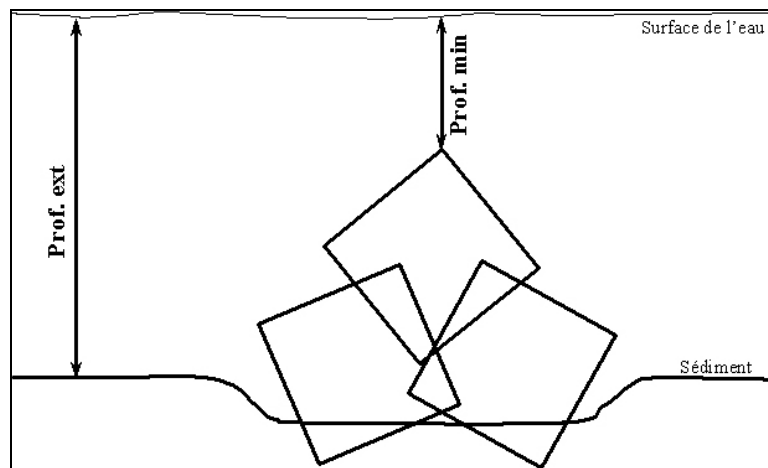


Figure 6 : Différentes mesures utilisées pour calculer l'indice d'effondrement d'un récif.

L'indice d'effondrement (I_{Ef}) peut ainsi être calculé comme suit :

$$I_{Ef} = 1 - \frac{\text{prof. ext.} - \text{prof. min.}}{r} \times 100 \quad \text{où } r = (\text{prof. ext.} - \text{prof. min.}) \text{ à l'état initial.}$$

3.1.4 L'émergence des modules

Deux paramètres sont mesurés pour pouvoir calculer l'émergence du module :

- profondeur minimale (prof. min. en mètres) : profondeur mesurée au point le moins profond du récif, généralement la partie supérieure de celui-ci,
- profondeur extérieure (prof. ext., en mètres) : profondeur observée à une dizaine de mètres de distance du module et supposée ne pas être affectée par les perturbations courantologiques induites par le récif.

Les profondeurs sont estimées à l'aide d'un profondimètre digital donnant la mesure en mètres à dix centimètres près.

3.1.5 Déplacement des modules

Les déplacements des modules (dus à une forte houle ou un chalutage) sont estimés en mesurant l'orientation de ces derniers (Figure 7) à l'aide d'un compas.

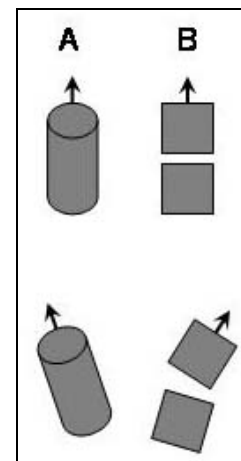


Figure 7 : Changement possible d'orientation des modules

(A : buses, B : dalots)

La ligne supérieure représente l'état initial et la ligne inférieure représente l'état après déplacement.

Les données physiques récoltées seront ainsi comparées si possible avec celles obtenues lors de l'étude « Bilan et réception des travaux » réalisée par BRL / CREOCEAN en décembre 2004.

3.1.6 La température

La température est prise à chaque plongée à l'aide des ordinateurs de plongée.

3.2 Résultats et discussion

3.2.1 Description générale

Au cours du suivi, la température a varié entre 13 et 17°C lors de la campagne « Automne 2005 » et est restée constante (10°C) lors de la campagne « Hiver 2006 ».

Au cours de ce suivi, aucun signe particulier de dégradation importante des modules n'a été observé ce qui souligne la bonne tenue à la mer, à moyen terme, de ces structures en béton.

Par contre, certains modules nous sont apparus plus ou moins envasés. D'une façon schématisée, deux types d'envasement ont été rencontrés (Figure 8) : enfouissement faible (présence d'une cuvette) et enfouissement avancé (présence d'une cuvette, le tapis anti-affouillement commence à s'ensaver).

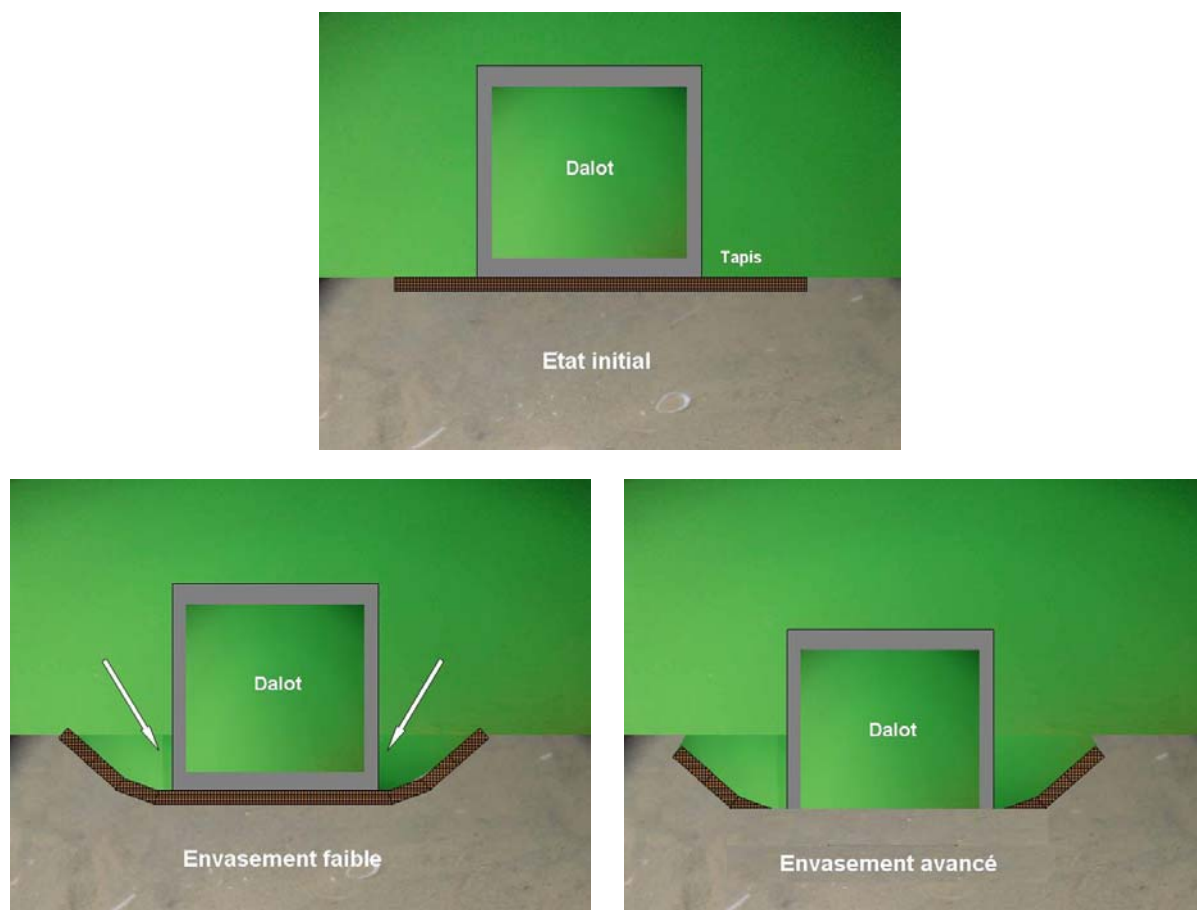


Figure 8 : Visualisation des différents degrés d'envasement des modules (exemple du dalot)

Au niveau des modules type « Dalot », plusieurs cas particuliers ont été observés (Figure 9) : dalot incliné (3 sur 12 observés), dalots désaxés (5 sur 12 observés) et un dalot mal positionné (Z5I5).

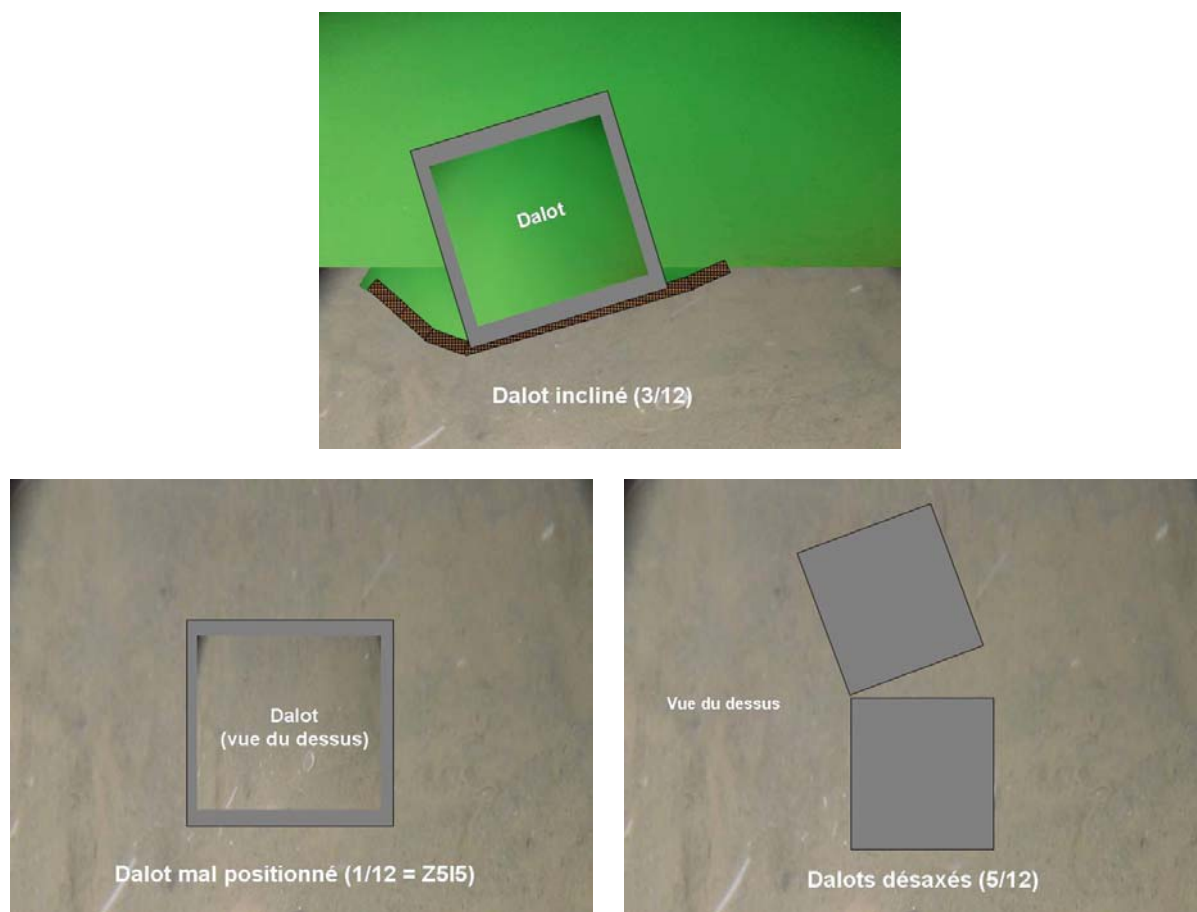


Figure 9 : Visualisation des cas particuliers rencontrés au niveau des dalots

3.2.2 L'orientation des modules

Certaines données ne sont pas indiquées dans le tableau (Tableau 2) car le module cité n'a pas été étudié ou localisé lors des diverses études.

Code Récif	Type	Etat Initial	Automne 2005	Hiver 2006
Z3A7	Dalot			90
Z3C1	Buse			0
Z3C3	Dalot	135	135	150
Z3C5	Dalot		90	35
Z3D7	Buse	135	165	30
Z3E2	Buse		0	0
Z3E4	Dalot		100	0
Z3F1	Buse		90	90
Z3G2	Buse	45	45	0
Z3H2	Dalot	135	135	150
Z3I3	Buse		90	90
Z3I5	Dalot		30	30
Z5A7	Dalot		0	0
Z5C1	Buse			30
Z5C3	Dalot	90	0	0
Z5C5	Dalot		90	90
Z5D7	Buse	135	30	0
Z5E2	Buse		80	120
Z5E4	Dalot		20	30
Z5F1	Buse			30
Z5G2	Buse	45	0	0
Z5H2	Dalot		90	90
Z5I3	Buse		30	30
Z5I5	Dalot		0	0

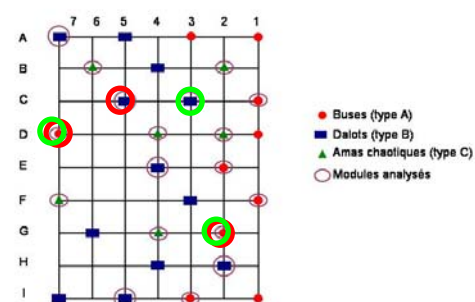


Tableau 2 : Orientations des buses et dalots

L'orientation de trois modules, Z5C3 (dalot), Z5D7 (buse) et Z5G2 (buse) a changé entre l'état initial et la campagne « Automne 2005 ».

L'orientation de trois modules, Z3C5 (dalot), Z3D7 (buse) et Z3G2 (buse) a changé entre les campagnes « Automne 2005 » et « Hiver 2006 ».

Ces changements peuvent avoir plusieurs explications : courant, houle, chalutage. De plus, il est intéressant de noter que deux des modules sont identiques d'une zone à l'autre.

Ces observations seront à confirmer lors des prochaines campagnes.

3.2.3 Les modules de type « Buse »

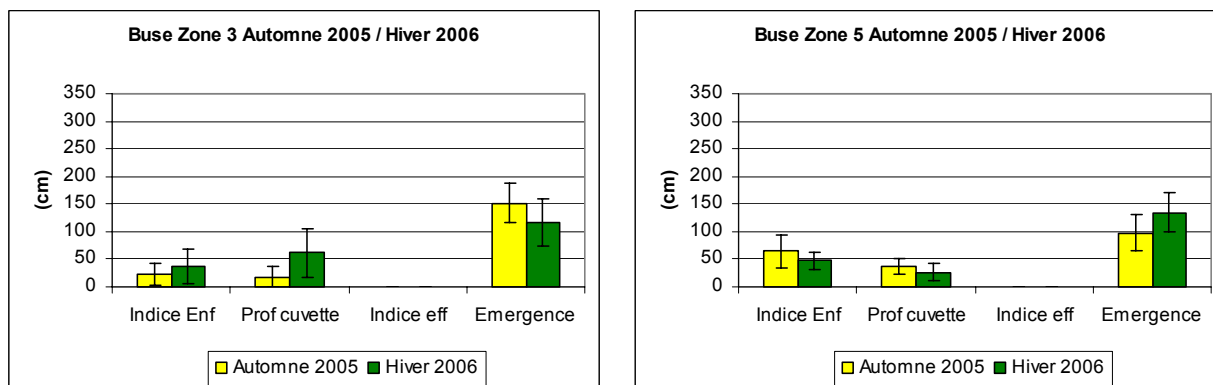


Figure 10 : Paramètres physiques des buses lors des deux campagnes

Au cours de ces deux campagnes, l'émergence des buses, qui suit de façon inverse les tendances de l'envasement (lorsque l'envasement augmente, l'émergence diminue en général), évolue de façon différente dans les deux zones étudiées (Figure 10).

Au niveau de la zone 3, l'émergence moyenne des buses est passée de $152 \pm 34,9$ cm à $116,7 \pm 41,8$ cm, l'indice d'enfouissement et la profondeur de la cuvette ayant augmenté.

Au niveau de la zone 5, l'émergence moyenne des buses est passée de $97,5 \pm 33$ cm à $135 \pm 35,1$ cm, l'indice d'enfouissement et la profondeur de la cuvette ayant légèrement diminué.

3.2.4 Les modules de type « Dalot »

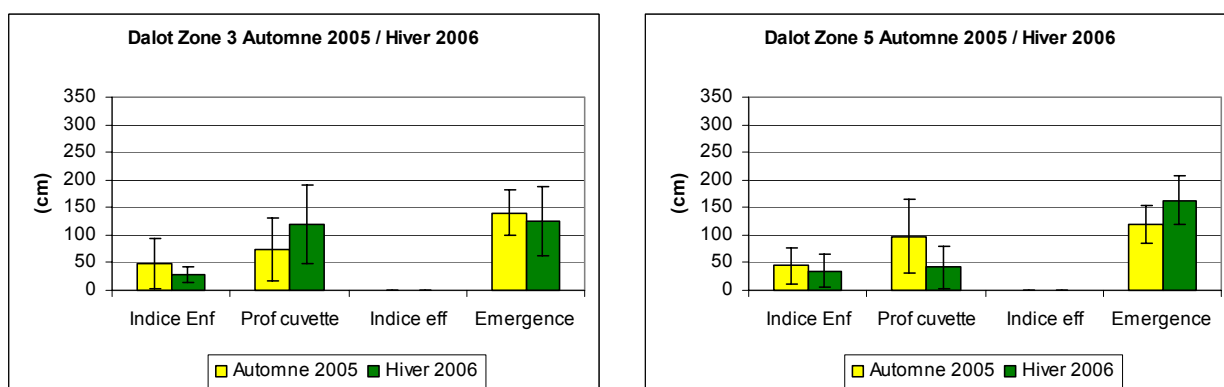


Figure 11 : Paramètres physiques des dalots lors des deux campagnes

Au cours de ces deux campagnes, l'émergence des dalots, qui suit de façon inverse les tendances de l'envasement (lorsque l'envasement augmente,

l'émergence diminue en général), évolue de façon différente dans les deux zones étudiées (Figure 11).

Au niveau de la zone 3, l'émergence moyenne des dalots est passée de $140 \pm 41,8$ cm à $125 \pm 63,5$ cm, la profondeur de la cuvette ayant augmenté.

Au niveau de la zone 5, l'émergence moyenne des buses est passée de $120 \pm 35,1$ cm à $163,3 \pm 44,1$ cm, l'indice d'enfouissement et la profondeur de la cuvette ayant légèrement diminué.

3.2.5 Les modules type « Amas chaotique »

Au cours de ces deux campagnes, l'émergence des amas chaotiques, qui suit de façon inverse les tendances de l'envasement et de l'indice d'effondrement (lorsque ces paramètres augmentent, l'émergence diminue en général), évolue de façon différente dans les deux zones étudiées (Figure 12).

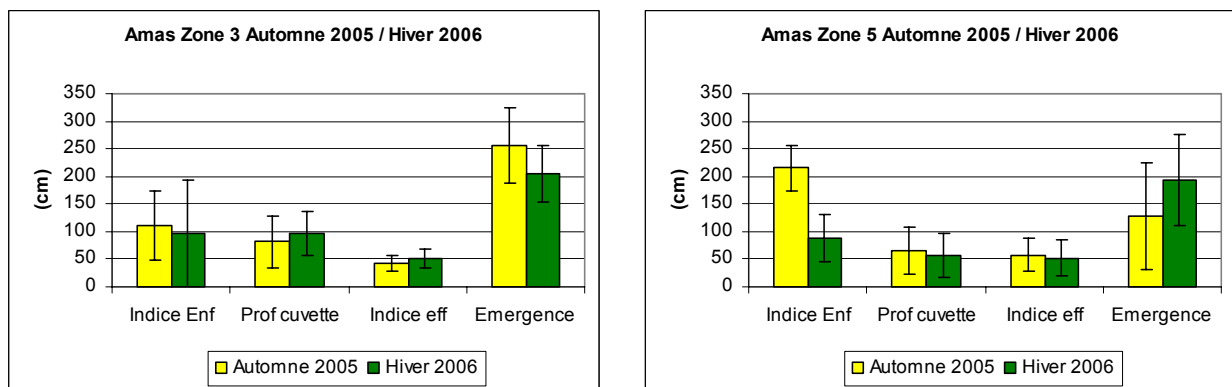


Figure 12 : Paramètres physiques des amas chaotiques lors des deux campagnes

Au niveau de la zone 3, l'émergence moyenne des amas chaotiques est passée de $256,7 \pm 67,7$ cm à $205 \pm 50,5$ cm, la profondeur de la cuvette et l'indice d'effondrement ayant augmenté.

Au niveau de la zone 5, l'émergence moyenne des amas chaotiques est passée de $128,3 \pm 96,4$ cm à $193,3 \pm 82,4$ cm, l'indice d'enfouissement ayant diminué.

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que les deux zones ont suivi une évolution inverse. Actuellement, l'émergence moyenne des amas chaotiques de la zone 3 est légèrement supérieure à celle de la zone 5.

Toutefois, du fait de la forte variabilité observée (écart-types élevés), cette évolution sera à vérifier lors des prochaines campagnes.

3.2.6 Discussion

Ces deux campagnes ont permis de mettre en évidence la grande spécificité des zones 3 (Leucate) et 5 (Barcarès). Malgré leur proximité, chaque site est unique et évolue de façon bien particulière. Toutefois, du fait de la forte variabilité observée (écart-types élevés), cette évolution sera à vérifier lors des prochaines campagnes.

En fonction des résultats obtenus, il apparaît que le phénomène d'envasement des récifs artificiels peut atteindre rapidement des valeurs importantes, malgré la présence du tapis anti-affouillement qui ralentit le phénomène. De plus, il peut exister des oscillations des niveaux d'envasement suivant la saison et le site. Mais est-ce qu'un module enfoncée à 90 % dans le substrat et dont la taille est assez réduite pourra émerger à nouveau ? En connaissant l'investissement de telles structures, c'est l'avenir de la politique d'immersion des récifs artificiels qui risque d'être remise en cause si le problème de l'envasement des structures n'est pas résolu.

L'expérience des japonais a montré que la déstabilisation des récifs artificiels est due dans la plupart des cas aux effets dynamiques de la houle et des courants. Ainsi, il apparaît des affouillements et des enlissements à la base des modules liés à l'hydrodynamisme et suffisants pour provoquer un mouvement général du récif. Lors de notre suivi, 3 dalots sur les 12 observés sont inclinés.

La présence d'une dépression autour du module n'est pas étonnante pour une structure de petite taille (buse ou dalot) immergée sur des fonds sablo-vaseux et soumise à des actions hydrodynamiques assez intenses. La circulation de l'eau autour du module est perturbée par la présence du module. Les lignes de courant sont déviées et s'accroissent à proximité de la structure, un peu à la manière d'un cours d'eau dont la vitesse d'écoulement augmente au niveau d'un passage plus étroit. Cette accélération a tendance à remettre en suspension le sédiment et à le déposer plus loin. Ce phénomène est bien connu des plongeurs qui repèrent souvent les épaves au sondeur grâce à la visualisation de la dépression entourant la structure. Des prélèvements de sédiment ont été réalisés au quatre points cardinaux de quelques modules afin de caractériser la granulométrie. Les résultats de ces analyses seront fournis en octobre 2006 dans un document qui sera annexé à ce premier rapport.

Dans le cas de la présente étude, la situation peut se stabiliser si les modules, au fur et à mesure qu'ils s'enfoncent, rencontrent un substrat dur (présence de grès). L'affouillement sera alors important mais la structure émergera. Dans le cas contraire, le module continuera à s'envaser et pourra disparaître totalement. Raphael CERTAIN, Maître de Conférences au Laboratoire d'Etudes des GéoEnvironnements Marins (LEGEM) de l'Université de Perpignan nous a précisé qu'une approche de type « sismique » permettrait d'évaluer les risques d'envasements totaux. Des discussions ont été engagées pour la réalisation d'une telle approche.

La forme des affouillements (profondeur de la cuvette, taille du talus) ne peut être interprétée avec les seules observations issues de ces deux campagnes. D'autres mesures seront nécessaires afin de bien caractériser ce phénomène.

4 L'étude des paramètres biologiques

4.1 Méthodologie

4.1.1 Suivi des espèces mobiles (poissons et invertébrés)

Afin de ne pas perturber les peuplements ichthyques des récifs, un seul observateur de la palanquée réalise les comptages. L'approche et le déplacement sont réalisés strictement de la même façon à chaque inventaire.

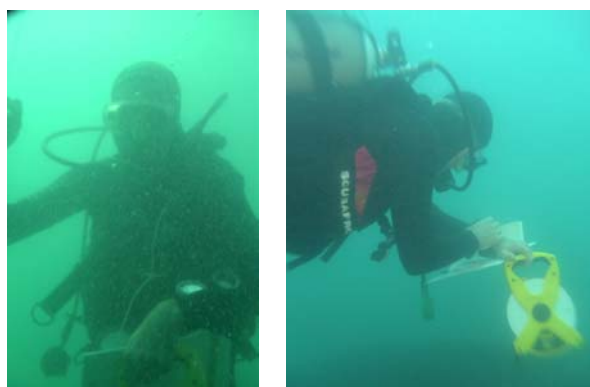
Nous avons défini quatre types de distribution des espèces mobiles :

- les espèces très mobiles et difficiles d'approche (sars, loups, pageots). Elles sont comptées en premier (Figure 13),
- les espèces à proximité immédiate du récif (poissons : labres, serrans ; invertébrés : calmars, seiche) sont dénombrées, face par face (dalots) en tournant autour (buses) ou bien en longeant les modules (amas chaotiques) (Figure 14),
- les espèces inféodées aux récifs (poissons : congres, mostelles, rascasses, blennies, gobies ; invertébrés : poulpes, langoustes, etc.) sont répertoriées en explorant consciencieusement toutes les cavités ainsi que les zones internes à l'aide de phares sous-marins (Figure 15),
- les espèces grégaires de pleine eau, peu craintives, souvent très abondantes (bogues, tacauds, athérines) sont estimées en dernier.

Des enregistrements vidéo ou des photographes sont réalisés sur chaque type de module par le deuxième plongeur lorsque la visibilité le permettait.

La difficulté de l'étude a directement été liée aux conditions météorologiques (visibilité faible, forte Tramontane, tempêtes d'est, courant) (Photo 5).

Photo 5 : La plongée



Les paramètres sont suivis selon les quatre niveaux définis précédemment : mobiles et difficiles d'approche, à proximité du récifs, à l'intérieur du récifs et les espèces grégaires de pleine eau.

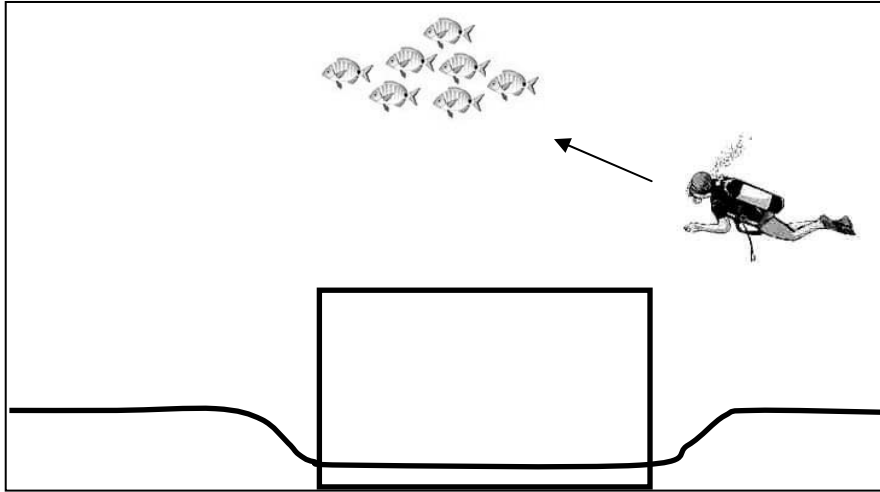


Figure 13 : Représentation schématique de la première phase du comptage, les espèces mobiles et difficiles d'approche.

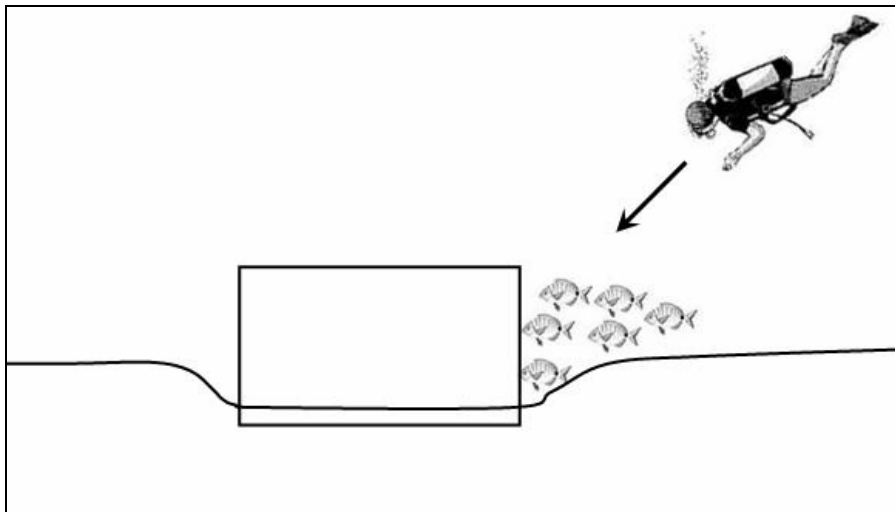


Figure 14 : Représentation schématique de la deuxième phase du comptage, les espèces à proximité immédiate du récif.

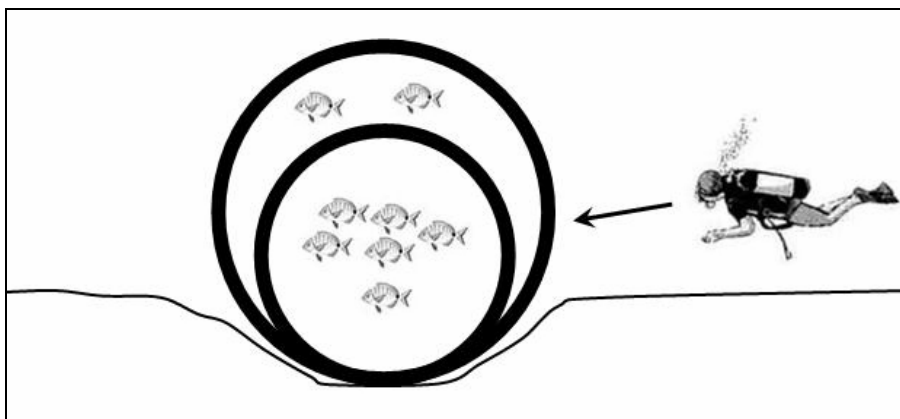


Figure 15 : Représentation schématique de la troisième phase du comptage, les espèces vivant à l'intérieur du récif.

4.1.2 Suivi des espèces fixées (macroflore et invertébrés)

L'évaluation est réalisée en scaphandre autonome. Lors de la plongée, l'observateur étudie les principales espèces fixées sur le récif. En complément, quand les conditions météorologiques le permettent, des prises de vue sont réalisées pour une analyse d'image au laboratoire.

La présence d'espèces caractéristiques peut éventuellement permettre d'identifier les différents stades de colonisation du récif artificiel (espèces pionnières comme les moules, certaines ophiures, etc.).

4.2 Résultats et discussion

4.2.1 La faune pionnière

4.2.1.1 Les invertébrés fixés

Lors de ce suivi des récifs artificiels, une attention toute particulière est apportée aux espèces présentant un intérêt commercial. Il convient néanmoins de signaler la présence des espèces sans importance commerciale.

Recouverts de moules (*Mytilus galloprovincialis*) et d'huîtres (*Ostrea edulis*), la surface des récifs est parfois colonisée par quelques autres espèces d'invertébrés fixés (Photo 6) :

- Spongiaires
 - Eponge encroûtante orange-rouge, *Crambe crambe*
- Annélides polychètes
 - Spirographe, *Spirographis spallanzanii*
- Ascidies
 - Violet, *Microcosmus sabatieri*,
 - Ascidie blanche, *Phallusia mammillata*,
 - Ascidie jaune, *Pleurociona edwardsi*.

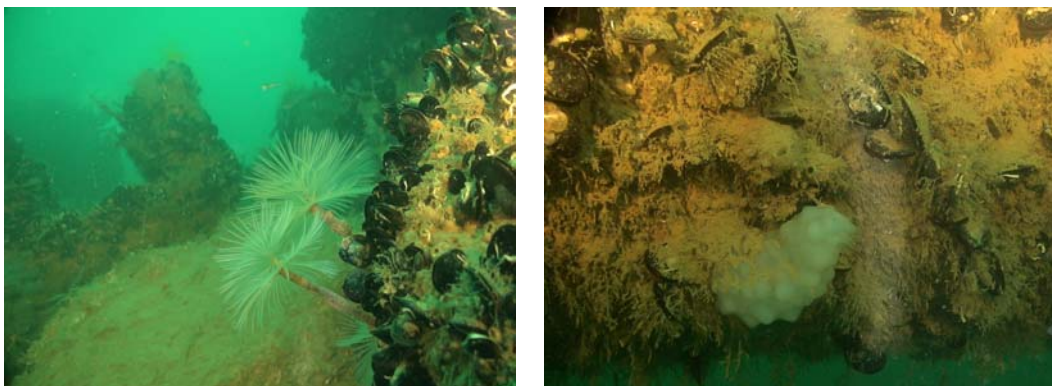


Photo 6 : Moules, Spirographes et Ascidie blanche

Ces invertébrés peuvent parfois constituer de véritables faciès et donnent un aspect paysager particulier aux structures.

L'observation s'étant limitée aux macro-invertébrés aisément déterminables *in situ*, le nombre total d'espèces est donc certainement plus important.

Cette diversité en invertébrés fixés, plus spécialement l'abondance en organismes filtreurs et suspensivores, traduit la richesse du milieu en matières organiques et particulaires en suspension, engendrant une importante turbidité.

4.2.1.2 Les invertébrés mobiles

Les invertébrés mobiles, directement observables et évoluant sur ou à proximité des récifs sont :

- Echinodermes
 - Comatule, *Antedon mediterranea* (Photo 7)
 - Ophiure fragile, *Ophiothrix fragilis*,
 - Ophiure noire, *Ophiocomina nigra*
- Crustacés
 - Crevette pélagique, *Leptomyssis mediterranea*,
 - Grand bernard-l'ermite, *Dardanus (Eupagurus, Pagurus) arrosor*,
 - Gonfaron, *Eupagurus prideauxi* (Photo 7)



Photo 7 : Comatule et Gonfaron

4.2.1.3 Les espèces de substrat meuble situées au voisinage des récifs

Fondamentalement, le substrat meuble situé aux environs du récif ne paraît pas avoir été modifié par la présence de la structure artificielle. Il s'agit d'un substrat sablo-vaseux à *Ditrupa* (*Ditrupa arietina*), substrat qui se retrouve également dans les secteurs non aménagés avoisinants. *Ditrupa* est un Annélide suspensivore qui a tendance à se développer dans les zones soumises à des renouvellements d'eau importants. Les problèmes d'enfouissement des modules et la présence de cette espèce témoignent donc bien d'une circulation d'eau importante au niveau du fond. De nombreux trous, monticules et déjections relevés à la surface du sédiment attestent d'une certaine abondance de la faune endogée.

Aux abords du récif, certaines espèces du substrat meuble ont été observées en abondance, dans des zones où les turbulences hydrodynamiques doivent parfois être plus importantes. Ainsi, il faut noter les regroupements de gonfarons et l'accumulation de nombreuses coquilles vides de bivalves comme des bucardes (*Acanthocardia aculeata*), des vernis (*Callista chione*), des coquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*), vraisemblablement collectées par les poulpes (Photo 8).



Ditrupa et vermis



Vérétille



Gonfaron



Crabe

Photo 8 : Les espèces de substrat meuble

4.2.2 La richesse spécifique des peuplements des récifs

Au cours de la campagne « Automne 2005 », 18 espèces de poissons appartenant à 11 familles ont été observées sur les récifs artificiels :

- Sparidae
 - Sar commun, *Diplodus sargus*,
 - Sar à tête noire, *Diplodus vulgaris*,
 - Sparailon, *Diplodus annularis*,
 - Bogue, *Boops boops*,
 - Galet, *Pagellus acarne*,
 - Oblade, *Oblada melunara*.
- Scorpaenidae
 - Rascasse brune, *Scorpaena porcus*,
 - Rascasse rouge, *Scorpaena notata*.
- Labridae
 - Cténolabre, *Ctenolabrus rupestris*
- Moronidae
 - Loup, *Dicentrarchus labrax*
- Serranidae
 - Serrans (Photo 9)
- Athérinidae
 - Athérine, *Atherina sp* (Photo 9)
- Mullidae
 - Rouget, *Mullus surmuletus*
- Gadidae
 - Mostelle, *Phycis phycis* (Photo 9),
 - Tacaud, *Trisopterus luscus* (Photo 9).
- Congridae
 - Congre, *Conger conger* (Photo 9)
- Blennidae
 - Blennie pilicorne, *Parablennius pilicornis* ; Blennie de Roux, *Parablennius rouxi* (Photo 9)
- Gobidae
 - Gobies

A ces individus, il faut ajouter 8 espèces d'invertébrés (Photo 10) : poulpe (*Octopus vulgaris*), seiche (*Sepia officinalis*), langouste (*Palinurus elephas*), étrille (*Necora puber*), crevette bouquet (*Palaemon elegans*), crevette cavernicole rouge (*Lysmata seticaudata*), cigale (*Scyllarus arctus*), galathée (*Galathea strigosa*).

Au cours de la campagne « Hiver 2006 », deux nouvelles espèces de poissons appartenant à deux familles et une nouvelle espèce d'invertébrés ont été observées :

- Muraenidae
 - Murène, *Muraena helena*
- Pomacentridae
 - Castagnole, *Chromis chromis*
- Homaridae
 - Homard, *Homarus gammarus*



Serran



Athérines



Mostelle



Tcaud



Congre



Blennie pilicorne

Photo 9 : Les vertébrés



Poulpe



Langouste



Etrille



Cigale

Photo 10 : Les invertébrés

Lors de ce suivi des récifs artificiels, une attention particulière est portée aux espèces d'intérêt commercial.

La richesse spécifique moyenne (nombre d'espèces) pour les différents types de modules est décrite.

4.2.2.1 Les modules de type « Buse »

Au niveau de la zone 3, la richesse spécifique moyenne est passée de $5,8 \pm 1,8$ à $4,8 \pm 1,7$ (Figure 16).

Au niveau de la zone 5, la richesse spécifique moyenne est passée de $7 \pm 2,2$ à $5 \pm 1,3$ (Figure 16).

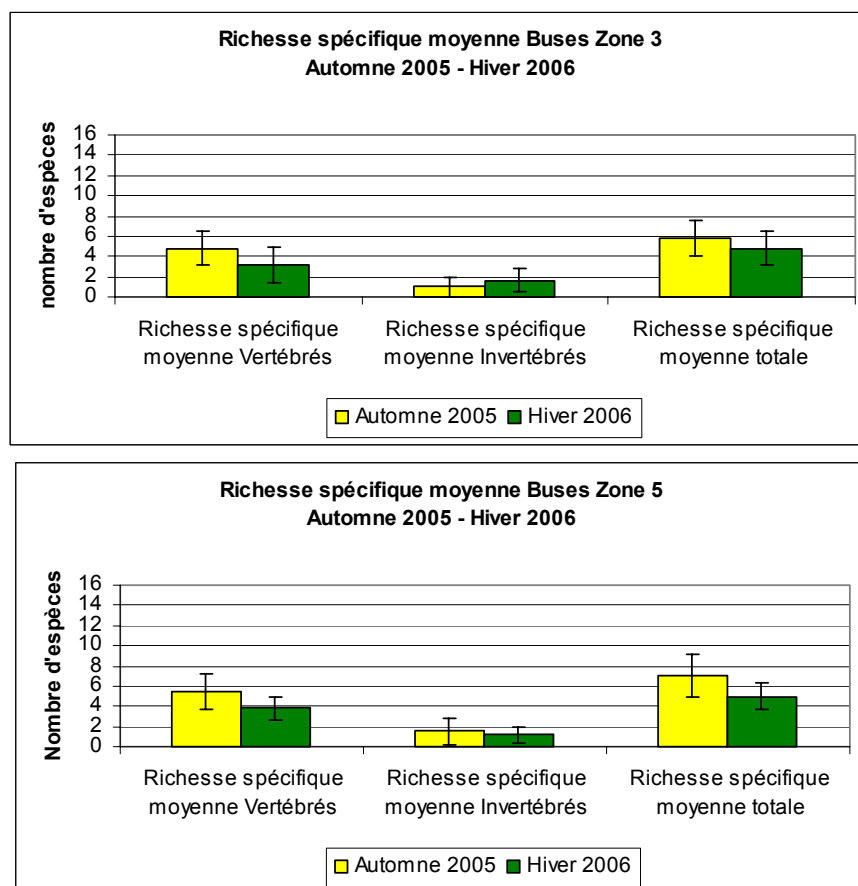


Figure 16 : Richesse spécifique moyenne des buses lors des deux campagnes

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que les deux zones ont suivi une évolution similaire. La diminution de la richesse spécifique est plus visible au niveau de la zone 5 (Barcarès). Actuellement, la richesse spécifique des buses des deux zones est sensiblement identique.

4.2.2.2 Les modules de type « Dalot »

Au niveau de la zone 3, la richesse spécifique moyenne est passée de $4,7 \pm 2$ à $4,7 \pm 3,3$ (Figure 17).

Au niveau de la zone 5, la richesse spécifique moyenne est passée de $7,5 \pm 3,4$ à $4,8 \pm 2,5$ (Figure 17).

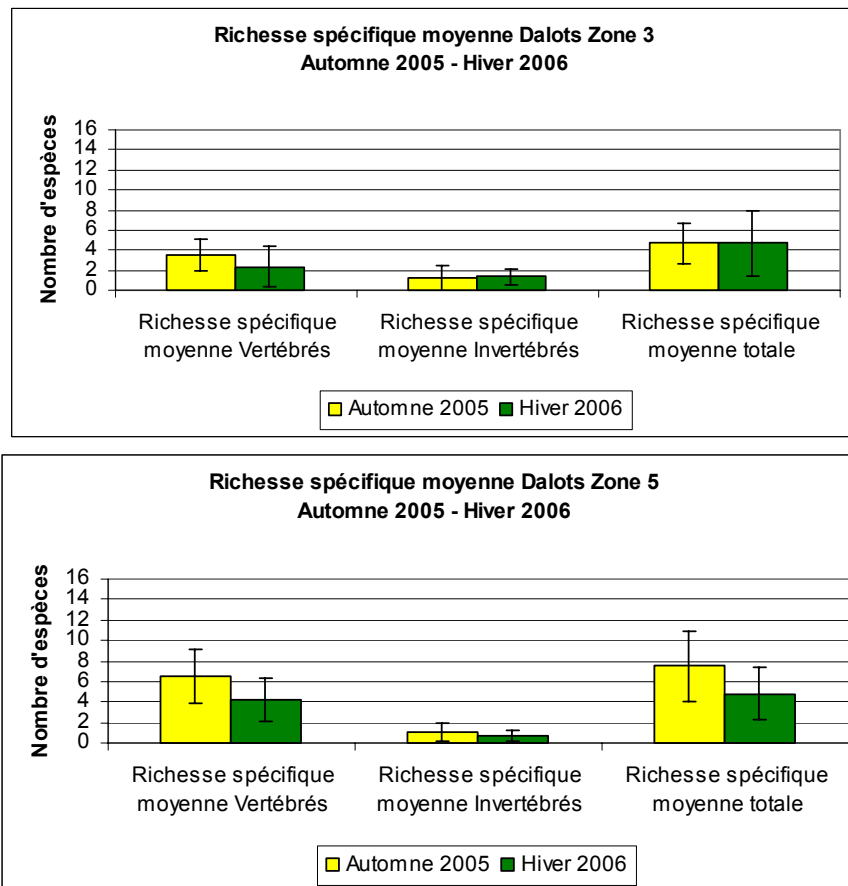


Figure 17 : Richesse spécifique moyenne des dalots lors des deux campagnes

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que les deux zones ont suivi une évolution différente. La richesse spécifique de la zone 3 n'a pas trop évolué alors que celle de la zone 5 a diminué.

4.2.2.3 Les modules de type « Amas chaotique »

Au niveau de la zone 3, la richesse spécifique moyenne est passée de $10,5 \pm 2,6$ à $11,7 \pm 1,4$ (Figure 18).

Au niveau de la zone 5, la richesse spécifique moyenne est passée de $12,3 \pm 2,4$ à $10,3 \pm 3,4$ (Figure 18).

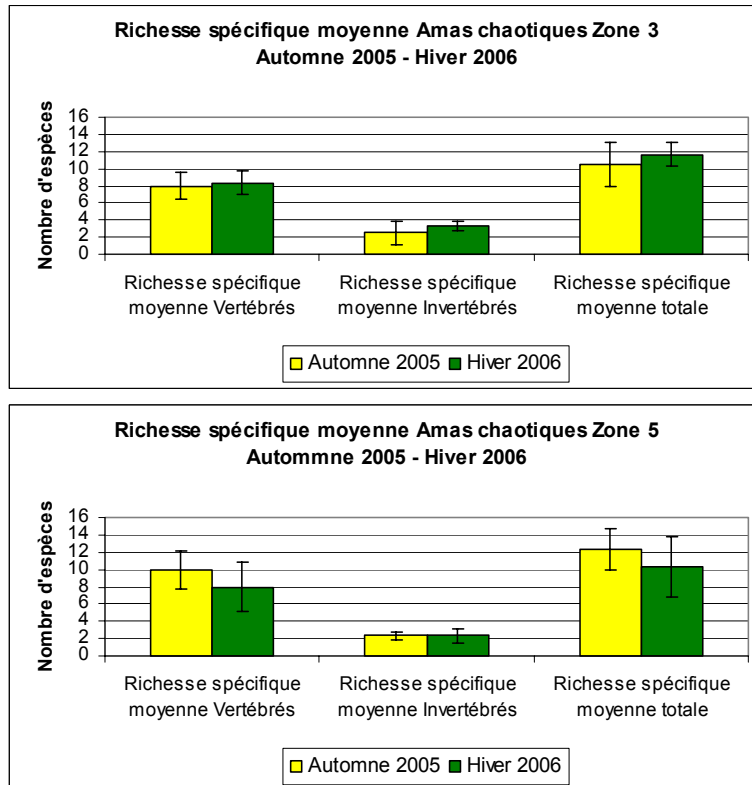


Figure 18 : Richesse spécifique moyenne des amas chaotiques lors des deux campagnes

4.2.2.4 La zone témoin (le Cap Leucate)

Au cours de la campagne « Hiver 2006 », 9 espèces de poissons appartenant à 8 familles ont été observées :

- Sparidae
 - Sar commun, *Diplodus sargus*,
 - Sar à tête noire, *Diplodus vulgaris*.
- Labridae
 - Cténolabre, *Ctenolabrus rupestris*
- Serranidae
 - Serran chevrette (Photo 11)
- Athérinidae
 - Athérine, *Atherina sp*
- Gadidae
 - Tacaud, *Trisopterus luscus*
- Congridae
 - Congre, *Conger conger*

- Blennidae
 - Blennie pilicorne, *Parablennius pilicornis* ; Blennie de Roux, *Parablennius rouxi*
- Pomacentridae
 - Castagnole, *Chromis chromis*

A ces individus, il faut ajouter une espèce d'invertébré, la seiche (*Sepia officinalis*).



Gorgone



Cérianthe



Serran et Gorgone



Coralligène

Photo 11 : Les peuplements de la Zone Témoin, Cap Leucate

La richesse spécifique moyenne est de $4,7 \pm 0,5$ (Figure 19)

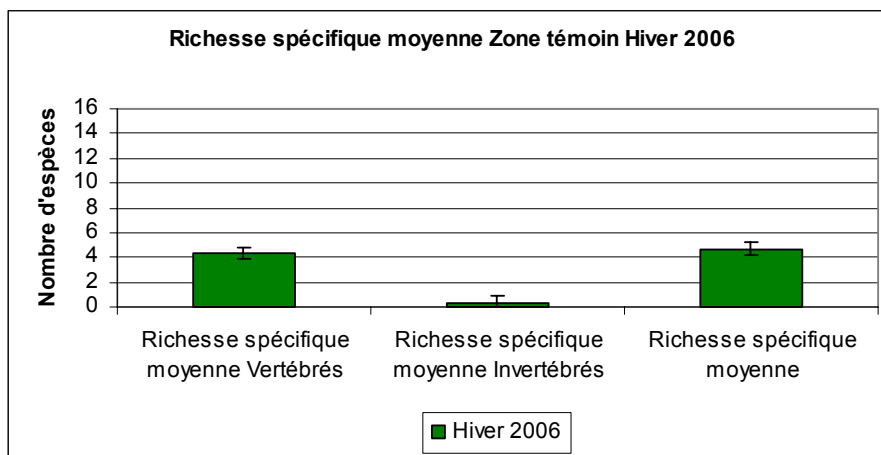


Figure 19 : Richesse spécifique moyenne de la zone témoin du Cap Leucate

4.2.2.5 Discussion

Ces deux campagnes ont permis de mettre en évidence la grande spécificité des zones 3 (Leucate) et 5 (Barcarès). Malgré leur proximité, chaque site est unique et évolue de façon bien particulière. Il apparaît que les deux zones ont suivi une évolution différente :

- La richesse spécifique de la zone 3 a légèrement augmenté alors que celle de la zone 5 a diminué,
- Au sein de ces zones, les amas chaotiques présente une richesse spécifique nettement supérieure à celle observée sur les buses et les dalots.

Etant donné qu'il s'agit de la première année de suivi et que l'immersion est relativement récente (juillet à novembre 2004), il est difficile de proposer une explication définitive en l'état actuel des observations.

L'évolution de la richesse spécifique au sein de chaque zone de récifs peut s'expliquer sur la base d'hypothèses « écologiques », par le fait que le système récifal n'est pas clos. Il peut donc exister des échanges plus ou moins importants entre une zone de récifs et les zones adjacentes. Dans ces conditions, il est probable que des espèces n'utilisent les buses ou les dalots qu'une partie de la journée, de la saison, de l'année ou de leur cycle de vie. De ce fait, il peut exister une variation du nombre d'espèces sur les différentes zones de récifs, et sur les différents types de module. L'hypothèse alternative est un peuplement sur les récifs non stabilisé, du fait de la poursuite des phénomènes de colonisation à plus long terme. Cette stabilisation ne serait pas nécessairement synchrone d'un type de module à l'autre. En effet, concernant spécifiquement les amas chaotiques, la plus grande diversité spécifique pourrait s'expliquer par la structure tridimensionnelle plus complexe que sur les buses ou les dalots en béton, et plus favorable à l'établissement d'un peuplement varié.

D'autres paramètres peuvent être pris en compte afin d'expliquer ces diverses observations, totalement ou en partie. Tout d'abord, une mauvaise accessibilité de certaines espèces peuvent être difficilement accessibles lors des comptages en plongée. Les conditions de visibilité ont souvent été très médiocres lors des deux premières campagnes en plongée. De plus, certaines espèces ont un comportement particulier : espèces cryptiques (c'est à dire vivant le plus souvent cachées, ex. gobies, blennies), espèces craintives (comportement de fuite à l'approche des plongeurs) et espèces à domaine vital étendu (espèces non nécessairement sur la zone lors du comptage).

Des perturbations extérieures à la dynamique de colonisations des récifs ou aux espèces présentes sur les récifs sont à envisager, toujours sur la base des observations faites sur le terrain lors de la réalisation du suivi. Des filets de pêche et des pots à poulpe ont pu être observés directement sur les récifs. L'impact de la pêche professionnelle pourrait perturber la dynamique de colonisation. Ceci devrait être relativement limité du fait de la mise en place d'un comité de réflexion sur la mise en place d'une réglementation de l'accès aux zones de récifs faisant l'objet d'un suivi scientifique. Les autres perturbations extérieures pourraient être les tempêtes ou encore l'envasement fluctuant.

Du fait de la forte variabilité observée (écart-types élevés), l'évolution sur les différents types de module sera à vérifier lors des prochaines campagnes.

4.2.3 La densité des espèces en fonction des classes de taille

La densité est exprimée en nombre d'individus par récif. Le nombre d'individus présents sur chaque récif est dénombré de façon directe jusqu'à 30 individus. Pour les espèces regroupées en bancs, le nombre d'individus est estimé selon une cotation d'abondance proche d'une progression géométrique de base 2 : 31-50 / 51-100 / 101-200 / 201-500 / plus de 500. Cette cotation correspond généralement aux abondances des différents groupements de poissons les plus souvent observés en plongée (Harmelin-Vivien & Harmelin, 1975). Les densités sont calculées à partir de la moyenne arithmétique de chaque limite de classe (ex : 31-50 = 40).

L'emploi de classes d'abondance préfixées a l'avantage d'augmenter la rapidité de comptage et minimise donc les pertes d'informations qui découleraient de toute perte de temps lors de l'estimation d'un groupe de poissons. Malgré tout, plusieurs auteurs (Harmelin-Vivien & Harmelin, 1975 ; Frontier & Viale, 1977) ont démontré que le nombre d'individus comptabilisés est généralement sous-estimé. Les expériences réalisées par Harmelin-Vivien et al. (1985) ont montré qu'au-delà de 20 à 30 poissons, la numération directe était difficile. D'ailleurs, l'existence d'un seuil maximal de dénombrement possible, sans sous-estimation importante, a déjà été démontrée en psychologie humaine par Brevan et al. (1963). Ce seuil se situe aux alentours de la vingtaine d'objets.

Pour l'estimation de la taille du poisson, trois catégories sont généralement retenues : Petit, Moyen, Gros (Bayle-Sempere et al., 1994 ; Charbonnel & Francour, 1994a). Ces catégories, adaptées à chaque espèce, sont déterminées par rapport à la taille maximale (L. max) atteinte citée dans la littérature (Bauchot & Pras, 1980 ; Whitehead et al., 1986 ; Fisher et al., 1987) : Petit (0 à 1/3 de L. max), Moyen (1/3 à 2/3 de L. max) et Gros (2/3 à L. max).

4.2.3.1 Les modules de type « Buse »

Au niveau de la zone 3, les individus de taille moyenne ($17,6 \pm 25,2$) étaient prédominants en automne 2005. Mais lors de la campagne suivante, les individus de petite taille ($10,3 \pm 20$) dominent à présent (Figure 20).

Au niveau de la zone 5, les individus de taille moyenne dominent lors des deux campagnes ($10,25 \pm 3,5$ et $34,8 \pm 61,2$).

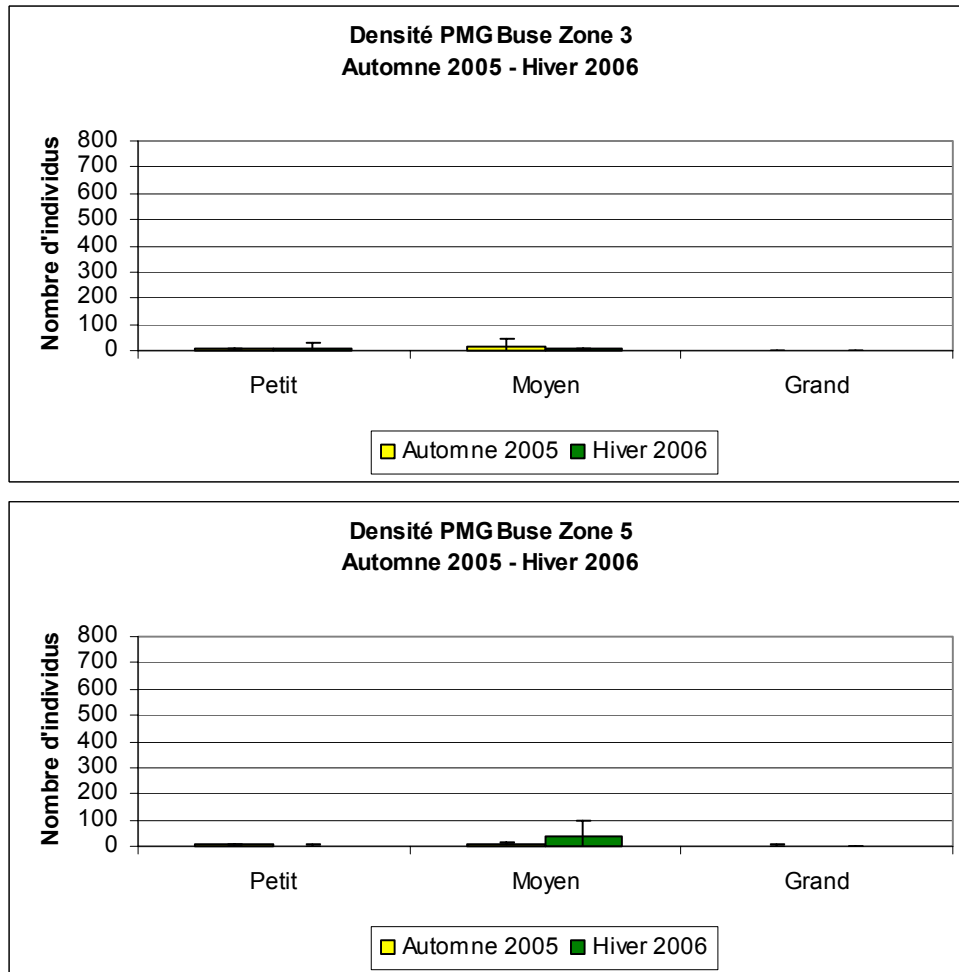


Figure 20 : La densité des espèces en fonction des classes de taille au niveau des buses lors des deux campagnes

4.2.3.2 Les modules de type « Dalot »

Au niveau de la zone 3, les individus de taille moyenne ($15 \pm 14,8$) étaient prédominants en automne 2005. Mais lors de la campagne suivante, les individus de petite taille ($54,3 \pm 121,1$) dominent à présent (Figure 21).

Au niveau de la zone 5, les individus de taille petite ($20,3 \pm 13,4$) et moyenne ($20,3 \pm 23$) sont très présents en automne 2005. Lors de la campagne suivante, les individus moyens dominent ($164,8 \pm 197,6$).

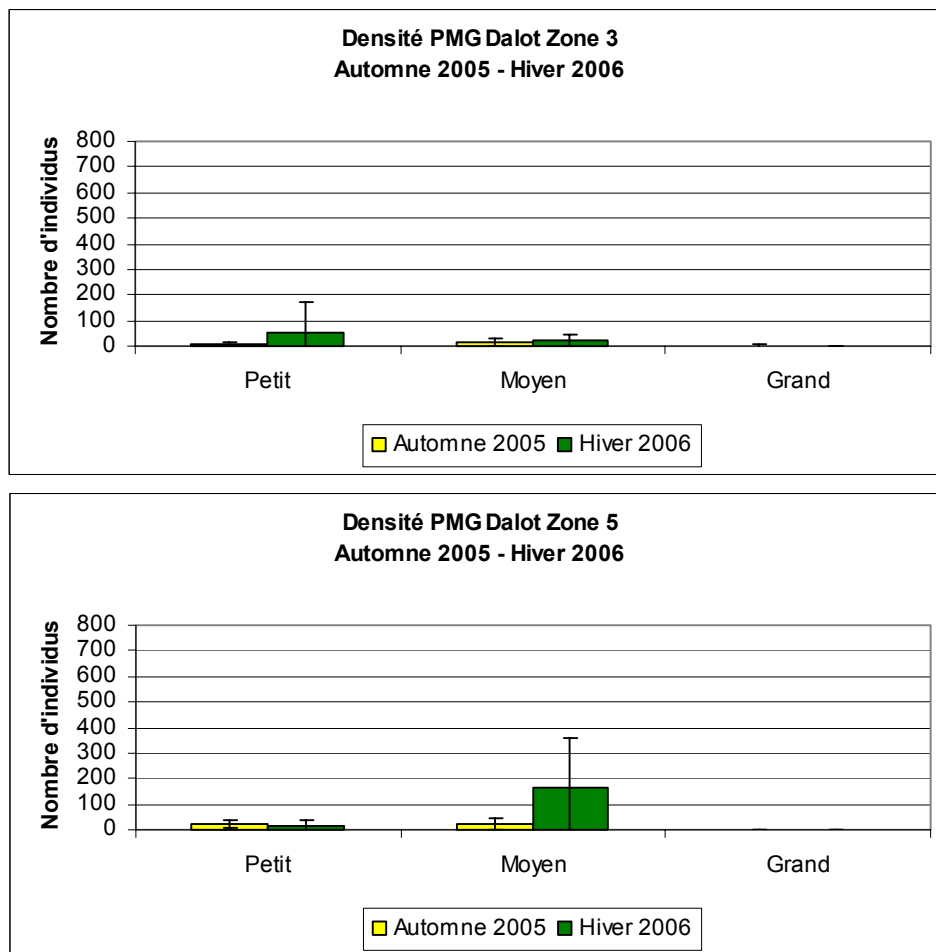


Figure 21 : La densité des espèces en fonction des classes de taille au niveau des dalots lors des deux campagnes

4.2.3.3 Les modules de type « Amas chaotique »

Au niveau de la zone 3 (Figure 22), les individus de taille petite ($31,7 \pm 17,8$) et moyenne ($33 \pm 17,4$) sont très présents en automne 2005. Lors de la campagne suivante, les petits individus dominent légèrement ($146,3 \pm 209,6$).

Au niveau de la zone 5 (Figure 22), les individus moyens dominent lors des deux campagnes ($78,3 \pm 50,8$ et $334 \pm 404,3$).

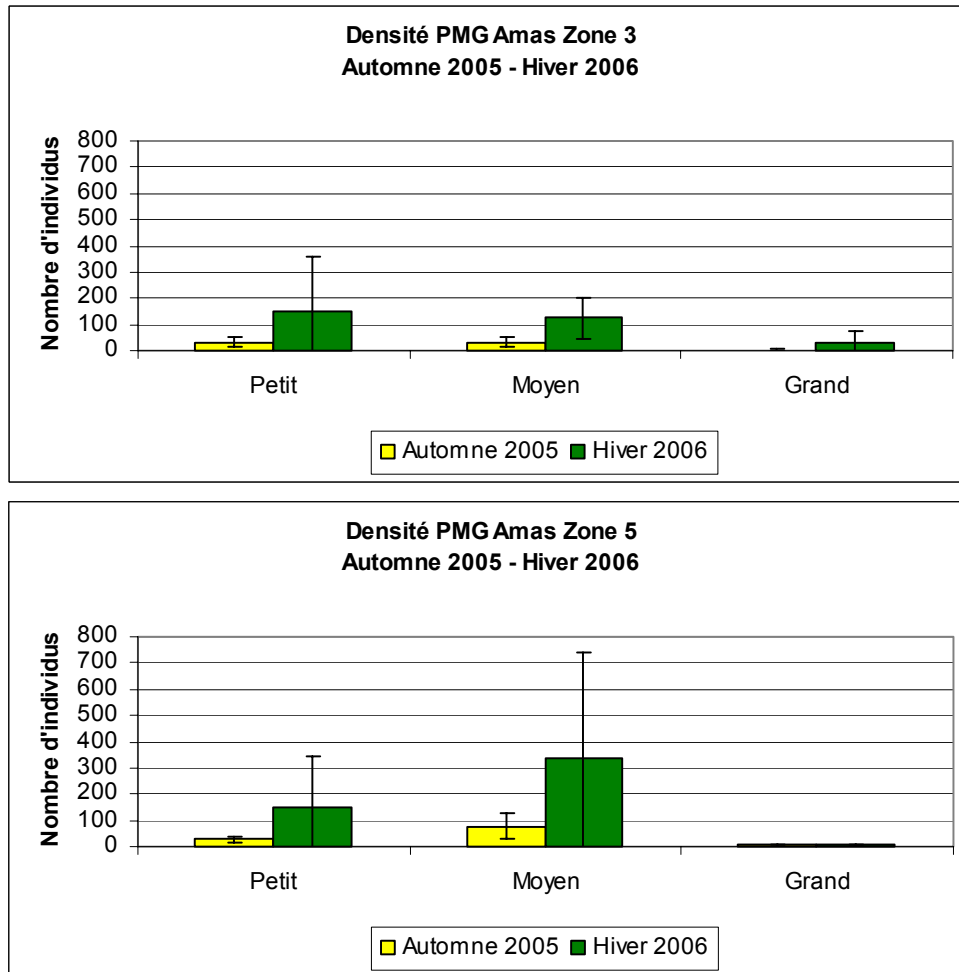


Figure 22 : La densité des espèces en fonction des classes de taille au niveau des amas chaotiques lors des deux campagnes

4.2.3.4 La zone témoin, le Cap Leucate

Lors de la campagne « Hiver 2006 » (Figure 23), il apparaît que ce sont les individus de taille moyenne qui dominent ($11,3 \pm 6,1$).

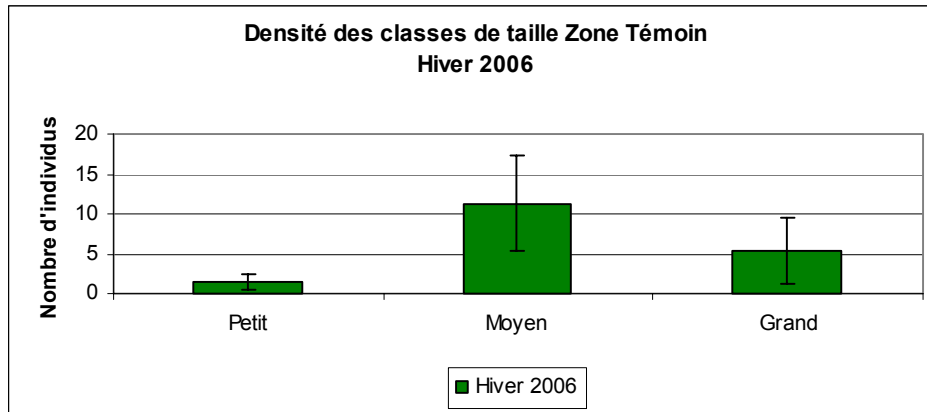


Figure 23 : La densité des classes de taille de la zone témoin du Cap Leucate

Par contre, les grands individus ne sont pas minoritaires ($5,3 \pm 4,1$).

4.2.3.5 Discussion

L'analyse des classes de taille lors des deux campagnes confirme la grande spécificité des zones 3 (Leucate) et 5 (Barcarès). A nouveau, malgré leur proximité, chaque site est unique et évolue de façon bien particulière. La distribution des classes de taille varie en fonction de ces deux zones et du type de module :

- au niveau de la zone de Leucate (zone 3), tous les modules ont évolué de la même façon. La distribution des classes de taille a changé. A l'automne 2005, les individus de taille moyenne dominaient. Mais lors de la campagne « Hiver 2006 », ce sont les petits individus qui sont majoritaires.
- à l'inverse, au niveau de la zone du Barcarès (zone 5), la distribution des classes de taille est resté quasiment identique. Les individus de taille moyenne sont majoritaires.
- enfin, dans les deux zones, les grands individus restent très minoritaires.

Les hypothèses proposées précédemment lors de l'analyse de la richesse spécifique peuvent être à nouveau invoquées : hypothèses « écologiques » (utilisation temporaire des récifs, peuplements non stabilisés), problèmes d'accessibilité et de visibilité, comportements des espèces, perturbations extérieures (impact de la pêche). Néanmoins, le fait que l'on observe un changement dans les classes de taille entre l'automne et l'hiver peut laisser penser que les espèces n'utilisent pas les récifs de façon continue d'une saison à l'autre. L'absence d'individus de grande taille est, par contre, en faveur d'une non stabilisation des peuplements des récifs.

A nouveau, du fait de la forte variabilité des données observées (écart-types élevés). Ces évolutions seront à vérifier lors des prochaines campagnes.

4.2.4 La densité des espèces d'intérêt commercial

4.2.4.1 Les modules de type « Buse »

Au niveau de la zone 3 (Figure 24), la densité des espèces d'intérêt commercial est passée de $13,2 \pm 5,8$ à $15,5 \pm 19,8$. Cette légère augmentation est due à celle des vertébrés dont la densité est passée de $10,8 \pm 5,5$ à $12,8 \pm 18,4$.

Au niveau de la zone 5 (Figure 24), la densité des espèces d'intérêt commercial est passée de $11,75 \pm 5,6$ à $38,7 \pm 60,1$. Cette forte augmentation est due à celle des vertébrés dont la densité est passée de $8,5 \pm 5,9$ à $36,5 \pm 60,4$.

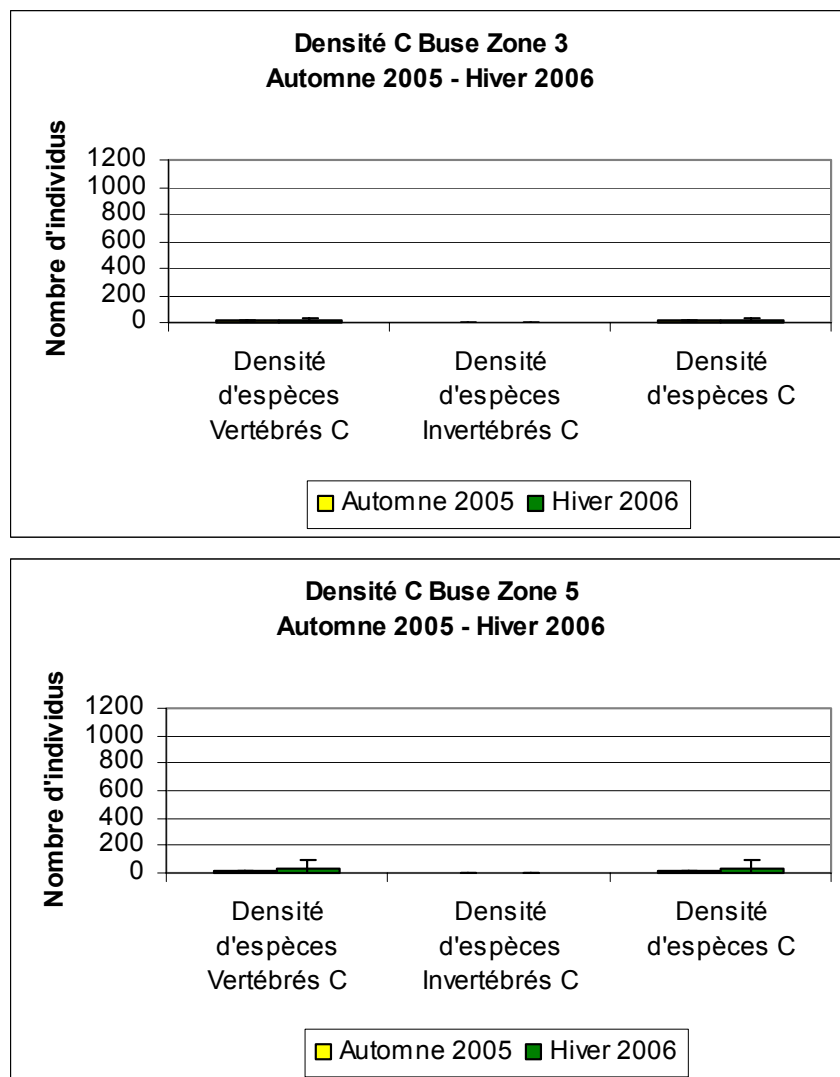


Figure 24 : La densité des espèces d'intérêt commercial au niveau des buses lors des deux campagnes

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que les deux zones ont suivi une évolution similaire mais l'augmentation de la densité des espèces d'intérêt commercial est plus visible au niveau de la zone 5.

4.2.4.2 Les modules de type « Dalot »

Au niveau de la zone 3 (Figure 25), la densité des espèces d'intérêt commercial est passée de $15,2 \pm 16,5$ à $80,3 \pm 110,4$. En effet, les densités de vertébrés et d'invertébrés ont fortement augmenté passant respectivement de $8 \pm 8,6$ à $27,7 \pm 26$ et de $7,2 \pm 15,6$ à $52,7 \pm 121,7$.

Au niveau de la zone 5 (Figure 25), la densité des espèces d'intérêt commercial est passée de $12,8 \pm 7,1$ à $183,2 \pm 189,4$. Cette forte augmentation est due à celle des vertébrés dont la densité est passée de $10,7 \pm 5,4$ à $182,3 \pm 189,5$.

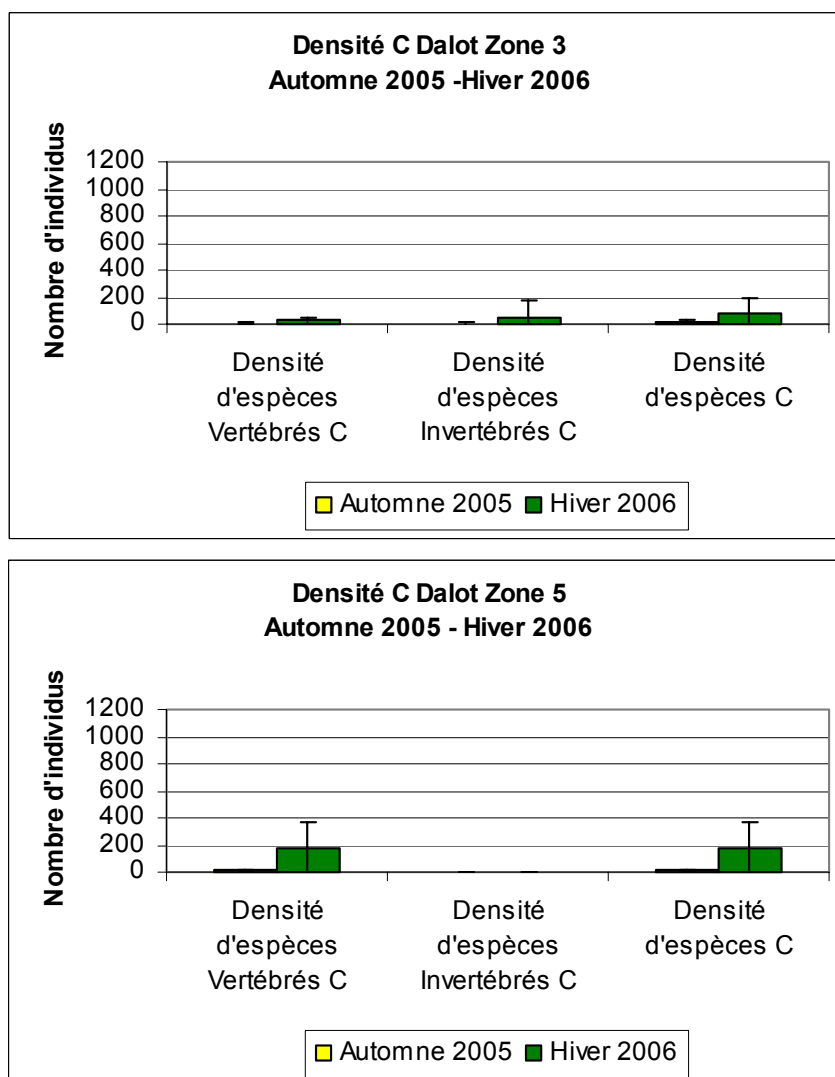


Figure 25 : La densité des espèces d'intérêt commercial au niveau des dalots lors des deux campagnes

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que les deux zones ont suivi une évolution similaire mais l'augmentation de la densité des espèces d'intérêt commercial est encore plus flagrante au niveau de la zone 5 que pour les buses.

4.2.4.3 Les modules de type « Amas chaotique »

Au niveau de la zone 3 (Figure 26), la densité des espèces d'intérêt commercial est passée de $40,5 \pm 23,7$ à $315,3 \pm 213,3$. Cette forte augmentation est due à celle des vertébrés dont la densité est passée de $31,7 \pm 23,1$ à $308,9 \pm 214,2$.

Au niveau de la zone 5 (Figure 26), la densité des espèces d'intérêt commercial est passée de $94,5 \pm 41,2$ à $485,7 \pm 558,5$. Cette forte augmentation est due à celle des vertébrés dont la densité est passée de $89,5 \pm 40,8$ à $478,3 \pm 559$.

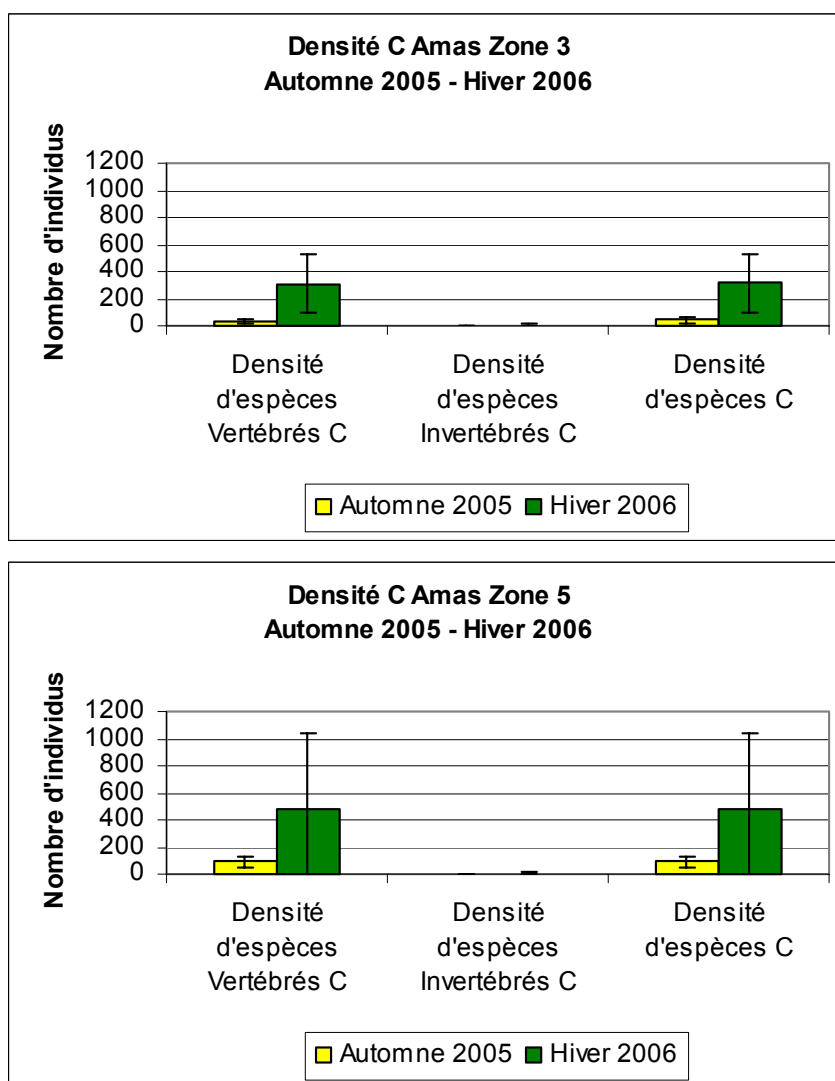


Figure 26 : La densité des espèces d'intérêt commercial au niveau des amas chaotiques lors des deux campagnes

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que les deux zones ont suivi une évolution similaire. Les densités de vertébrés et d'invertébrés d'intérêt commercial ont augmenté.

4.2.4.4 La zone témoin, le Cap Leucate

Lors de la campagne « Hiver 2006 », il apparaît que ce sont les vertébrés (13,7 ± 5,8) qui constituent la majorité des espèces d'intérêt commercial (Figure 27). La part des invertébrés est très faible (0,7 ± 1,2).

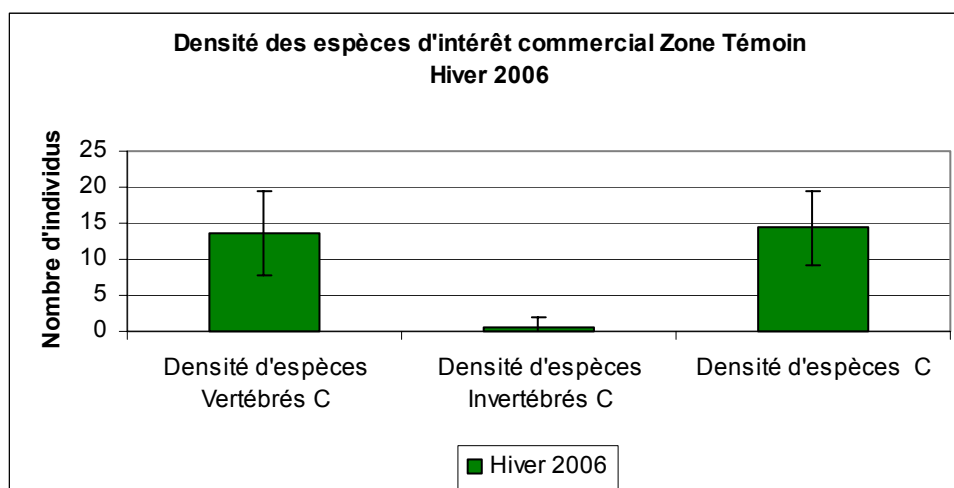


Figure 27 : La densité des espèces d'intérêt commercial de la zone témoin du Cap Leucate

4.2.4.5 Discussion

La grande spécificité des zones 3 (Leucate) et 5 (Barcarès) apparaît à nouveau pour les espèces commerciales. Malgré leur proximité, chaque site est unique et évolue de façon bien particulière. La densité des espèces d'intérêt commercial varie en fonction de ces deux zones et du type de récif :

- au niveau de la zone de Leucate (zone 3), cette densité a augmenté au niveau des dalots et des amas chaotiques. La densité au niveau des buses n'a pas trop évolué.
- à l'inverse, au niveau de la zone du Barcarès (zone 5), cette densité d'individus d'intérêt commercial a fortement augmenté au niveau des trois types de modules malgré une certaine stagnation voire une diminution de la densité des invertébrés au niveau des buses et des dalots.
- enfin, dans les deux cas, la densité des espèces d'intérêt commercial est bien plus importante au niveau des amas chaotiques que des autres modules. De plus, celle rencontrée au niveau des dalots est supérieure à celle des buses.

Même si le système récifal n'est pas clos, il est intéressant de voir que les espèces commerciales sont largement présentes sur les récifs, ce qui était l'objectif principal de l'immersion des récifs. Même si ces espèces n'utilisent que temporairement les récifs ou se déplacent d'un module à l'autre, la capturabilité n'en sera que plus grande. De même, si ces derniers ne sont pas encore stabilisés, il était

important de noter que dès les premières années d'immersion, les espèces commerciales sont déjà présentes. La seule contrainte qui pourrait perturber l'installation des espèces commerciales est la pêche (professionnelle et amateur). Il serait judicieux de réaliser une comparaison entre une des zones où le suivi scientifique est effectuée (sans activité de pêche) et une zone de récifs exploitée afin de d'estimer l'impact de la pêche. Ceci pourrait être envisagé au cours du suivi scientifique.

4.2.5 La biomasse des espèces d'intérêt commercial

A partir des données de comptage *in situ*, il est possible d'estimer la biomasse (en grammes de poids humide) en utilisant une relation Taille - Poids par espèce. Pour chaque classe de taille (Petit, Moyen et Grand), un poids moyen est calculé. Ce poids correspond à la moyenne arithmétique des poids calculés pour les tailles limites de la classe de taille (Devaux & Millerioux, 1976 ; Harmelin-Vivien et al., 1985).

La plupart des relations Taille - Poids disponibles proviennent des espèces de la région Provence, où la majorité des études sur les récifs artificiels ont été effectuées (Charbonnel, 1989 ; Charbonnel & Francour, 1994 ; Ody, 1987 ; Ody & Harmelin, 1994). Toutefois, ces relations ne sont pas forcément adaptées aux espèces du Languedoc-Roussillon. Aussi, ce suivi se base sur les relations Taille - Poids obtenues par Collart & Charbonnel (1998) après une importante recherche bibliographique et spécifiques à la région d'étude. Ces relations sont présentées en Annexe.

Pour les personnes directement concernées par les aménagements du littoral en récifs artificiels (collectivités territoriales, pêcheurs professionnelles), les biomasses des espèces présentes sur les récifs constituent souvent le paramètre qui va permettre de juger de l'efficacité de ces aménagements. Cette dimension économique est importante. Néanmoins, il convient d'interpréter les valeurs de biomasses avec prudence et de considérer qu'elles représentent plutôt un ordre de grandeur. En effet, les imprécisions concernant le dénombrement des individus (visibilité) s'ajoutent à celles affectant la détermination du poids individuel (utilisation de classes de taille, estimation visuelle de la taille individuelle, relations Taille - Poids limitées à certaines tailles).

Suite à nos observations en plongée, aux pêches expérimentales et aux rencontres avec les pêcheurs professionnels, l'étude de la biomasse s'est concentrée sur certaines espèces d'intérêt commercial (individus les plus fréquemment observés et/ou pêchés) :

- Sparidae
 - Sar commun, *Diplodus sargus*,
 - Sar à tête noire, *Diplodus vulgaris*,
 - Sparailon, *Diplodus annularis*,
 - Galet, *Pagellus acarne*,

- Scorpaenidae
 - Rascasse brune, *Scorpaena porcus*,
 - Rascasse rouge, *Scorpaena notata*.

- Moronidae
 - Loup, *Dicentrarchus labrax*

- Mullidae
 - Rouget, *Mullus surmuletus*

- Gadidae
 - Mostelle, *Phycis phycis*,
 - Tacaud, *Trisopterus luscus*.

- Congridae
 - Congre, *Conger conger*

A ces individus, il faut ajouter 4 espèces d'invertébrés : poulpe (*Octopus vulgaris*), seiche (*Sepia officinalis*), langouste (*Palinurus elephas*) et homard (*Homarus gammarus*)

4.2.5.1 Les modules de type « Buse »

Au niveau de la zone 3 (Figure 28), la biomasse des espèces d'intérêt commercial est passée de $7590 \pm 6127,3$ à $12581,9 \pm 20397,8$.

Au niveau de la zone 5 (Figure 28), la biomasse des espèces d'intérêt commercial est passée de $17654,4 \pm 16856,5$ à $22393,2 \pm 30554,7$.

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que les deux zones ont suivi une évolution similaire.

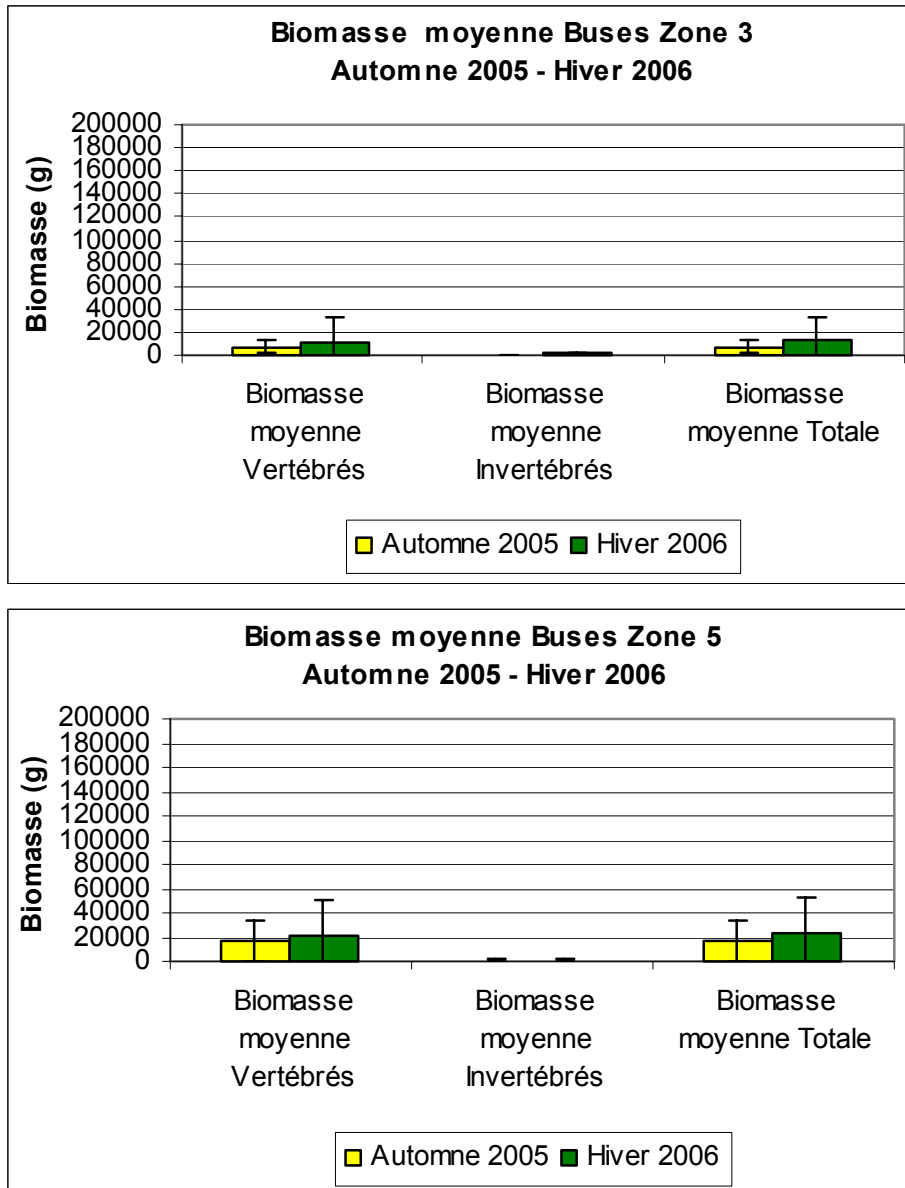


Figure 28 : La biomasse des espèces d'intérêt commercial au niveau des buses lors des deux campagnes

Au niveau de la zone 3 (Figure 29), la biomasse des Sparidae et des poulpes a augmenté (respectivement de $7,2 \pm 13$ à $40,2 \pm 86,4$ et de $104,3 \pm 233,2$ à $1301,8 \pm 1906,6$). Par contre, la biomasse des langoustes a diminué de $21,6 \pm 29,6$ à $9 \pm 13,9$.

Au niveau de la zone 5 (Figure 29), la biomasse des poulpes a augmenté de $527,5 \pm 435,6$ à $608,4 \pm 1252,3$. Par contre, la biomasse des Sparidae et des langoustes a diminué (respectivement de $456 \pm 560,3$ à $39,3 \pm 79,2$ et de $123,5 \pm 247$ à $91,3 \pm 197,7$).

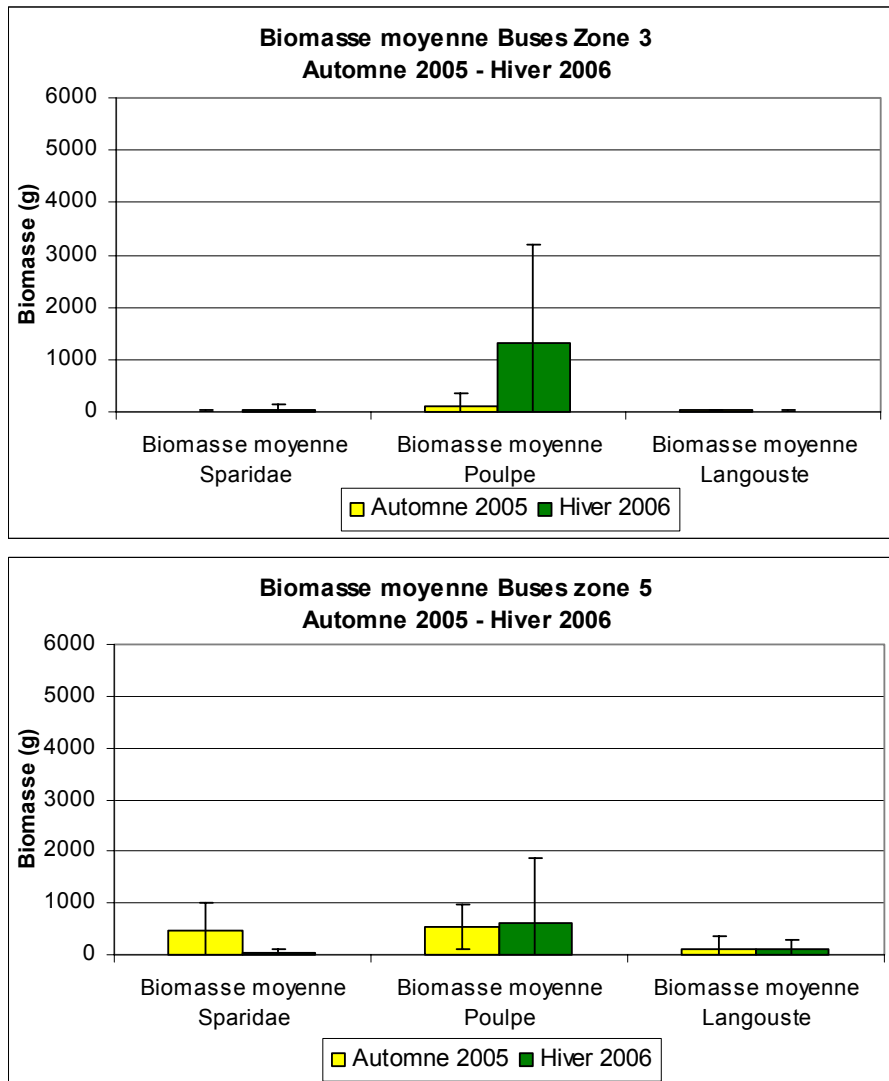


Figure 29 : La biomasse des Sparidae, Poulpes et Langoustes au niveau des buses lors des deux campagnes

4.2.5.2 Les modules de type « Dalot »

Au niveau de la zone 3 (Figure 30), la biomasse des espèces d'intérêt commercial est passée de $3349,8 \pm 4580,8$ à $3552,8 \pm 3797,9$. Pourtant, la biomasse des vertébrés d'intérêt commercial a diminué de $3065,6 \pm 4354,6$ à $1978,2 \pm 3412,2$. Par contre, la biomasse des invertébrés a fortement augmenté ($284,2 \pm 475,9$ à $1574,6 \pm 1806,7$).

Au niveau de la zone 5 (Figure 30), la biomasse des espèces d'intérêt commercial est passée de $8482,9 \pm 8293$ à $36686,1 \pm 38096,5$. La biomasse des vertébrés d'intérêt commercial a augmenté de $6941 \pm 7065,6$ à $36429,9 \pm 38009,6$. Par contre, la biomasse des invertébrés d'intérêt commercial a fortement diminué ($1541,9 \pm 2132,1$ à $256,2 \pm 280,8$).

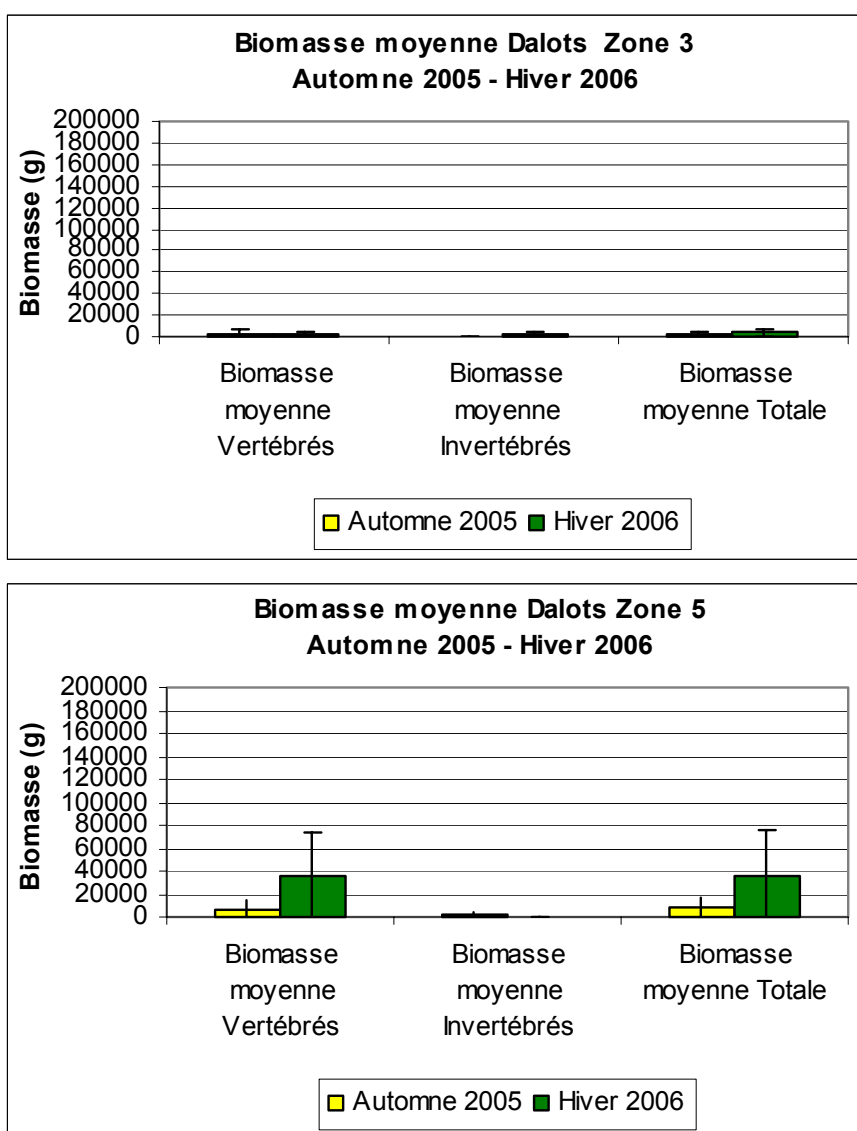


Figure 30 : La biomasse des espèces d'intérêt commercial au niveau des dalots lors des deux campagnes

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que la biomasse totale des deux zones a suivi une évolution similaire. Mais la biomasse des invertébrés et des invertébrés a évolué de façon différente suivant les zones.

Au niveau de la zone 3 (Figure 31), la biomasse des poulpes a augmenté de $177,8 \pm 266,4$ à $1574,6 \pm 1806,7$. Par contre, la biomasse des Sparidae a diminué de $370,3 \pm 772,7$ à $219,5 \pm 380,7$. La biomasse de langoustes est toujours nulle.

Au niveau de la zone 5 (Figure 31), les biomasses des Sparidae, langoustes et poulpes ont toutes diminué (respectivement de $445,6 \pm 567,2$ à $79,7 \pm 119,6$ de $1443,1 \pm 1977,7$ à $173,8 \pm 269,3$ et de $98,8 \pm 201,7$ à $82,3 \pm 201,7$).

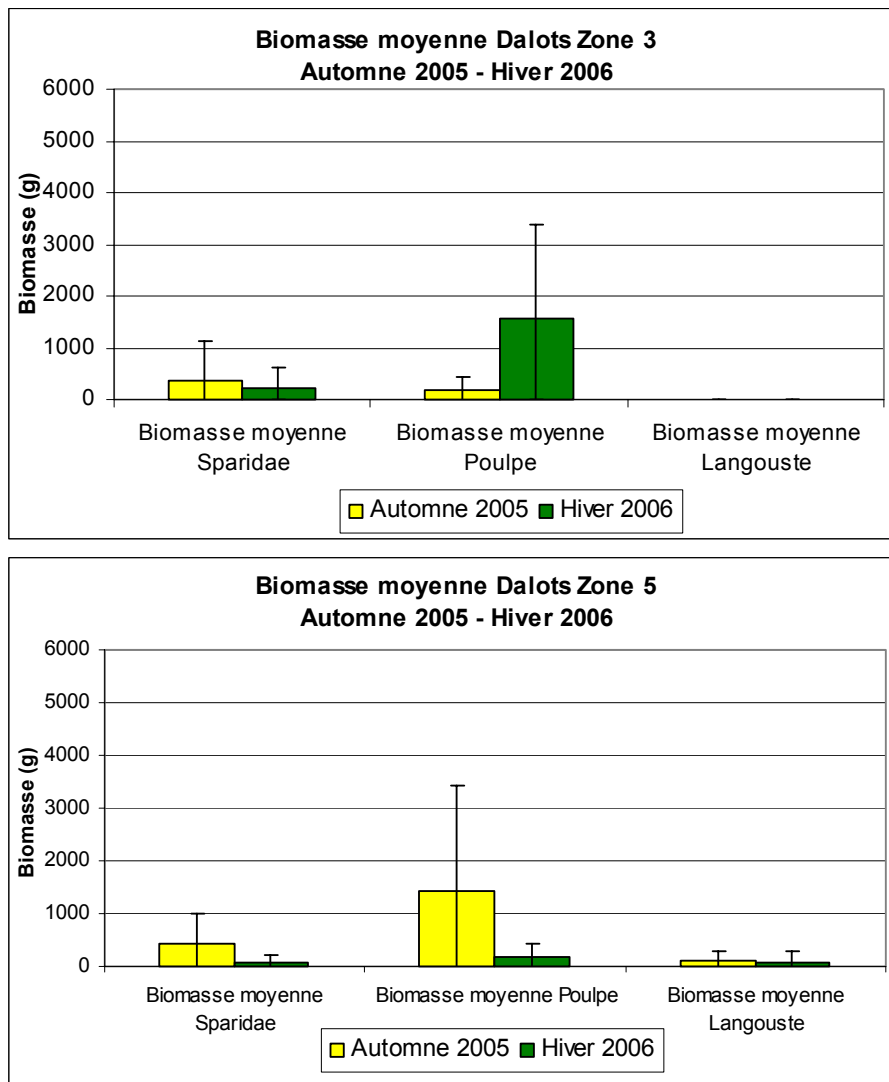


Figure 31 : La biomasse des Sparidae, Poulpes et Langoustes au niveau des dalots lors des deux campagnes

4.2.5.3 Les modules de type « Amas chaotique »

Au niveau de la zone 3 (Figure 32), la biomasse des espèces d'intérêt commercial est passée de $23255,3 \pm 30592,2$ à $85023,7 \pm 58477,9$.

Au niveau de la zone 5 (Figure 32), la biomasse des espèces d'intérêt commercial est passée de $53560,3 \pm 47821,3$ à $124180,3 \pm 69582,1$. La biomasse des vertébrés d'intérêt commercial a augmenté de $51791,6 \pm 46804,7$ à $123244,7 \pm 69722,6$. Par contre, la biomasse des invertébrés d'intérêt commercial a diminué de $1768,7 \pm 1352,6$ à $935,6 \pm 752,9$.

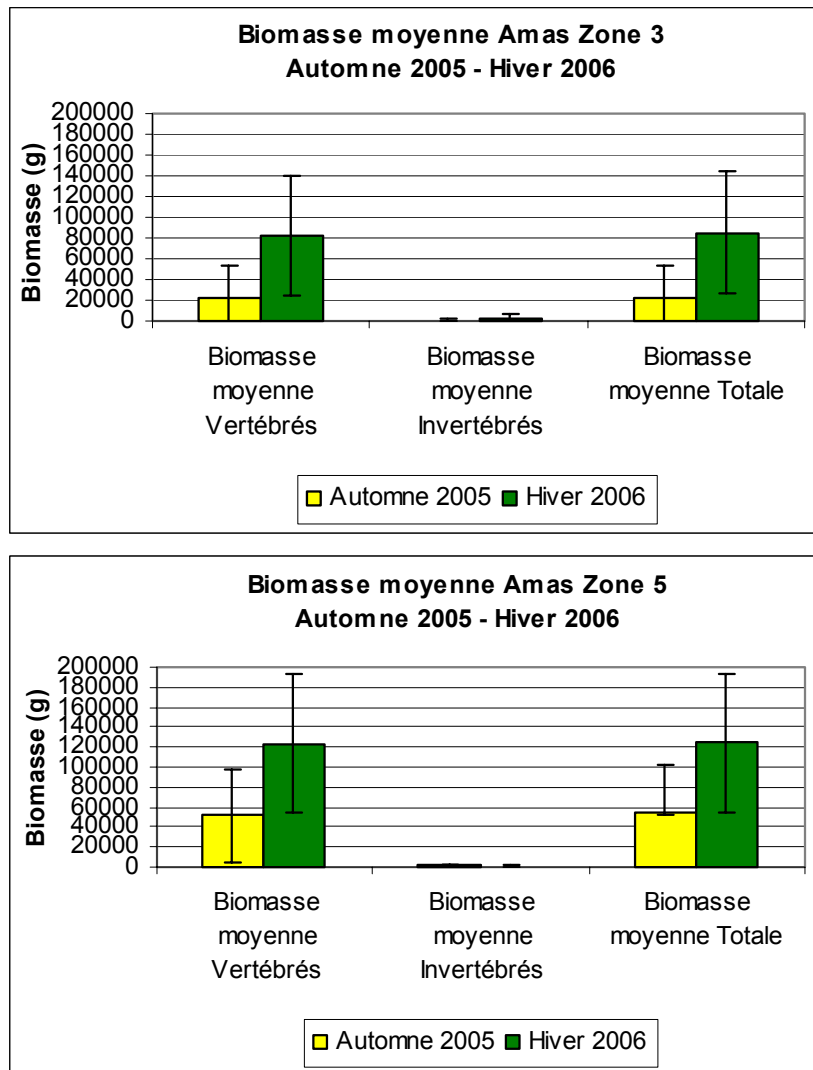


Figure 32 : La biomasse des espèces d'intérêt commercial au niveau des amas chaotiques lors des deux campagnes

A la suite de ces deux campagnes, il apparaît que la biomasse totale des deux zones a suivi une évolution similaire. La biomasse des invertébrés de la zone 5 est à surveiller.

Au niveau de la zone 3 (Figure 33), les biomasses des Sparidae, poulpes et langoustes ont toutes augmenté (respectivement de $434,8 \pm 344,8$ à $613,3 \pm 646,1$ de $608,4 \pm 609,7$ à $1566,6 \pm 1590,7$ et de $18 \pm 13,9$ à $759 \pm 693,4$).

Au niveau de la zone 5 (Figure 33), les biomasses des Sparidae, poulpes et langoustes ont toutes diminué (respectivement de $2447,7 \pm 3393,5$ à $993,7 \pm 1821,9$ de $988,4 \pm 826,6$ à $264,7 \pm 281,4$ et de $780,3 \pm 1591$ à $670,8 \pm 579,9$).

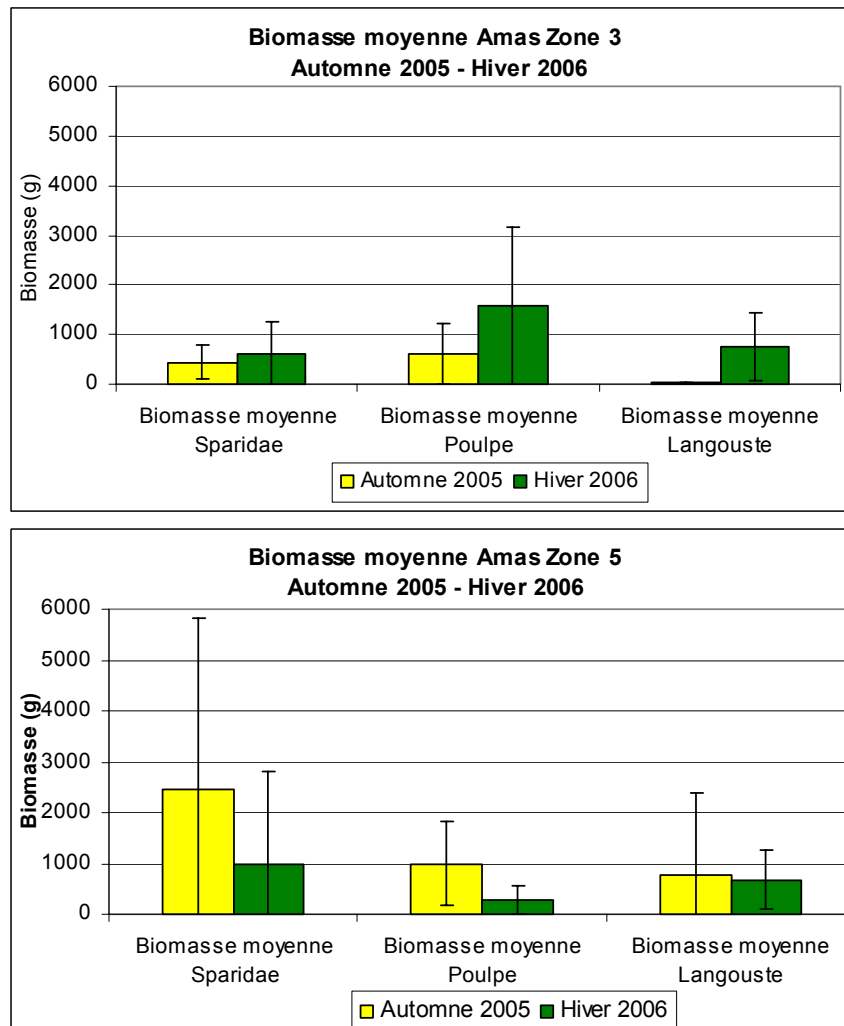


Figure 33 : La biomasse des Sparidae, Poulpes et Langoustes au niveau des amas chaotiques lors des deux campagnes

4.2.5.4 La zone témoin, le Cap Leucate

Lors de la campagne Hiver 2006, il apparaît que ce sont les vertébrés (10827,7 ± 22520,7) qui constituent la majorité de la biomasse (11157 ± 22377,9) des espèces d'intérêt commercial (Figure 34). La part des invertébrés est plus faible (329,3 ± 598,3).

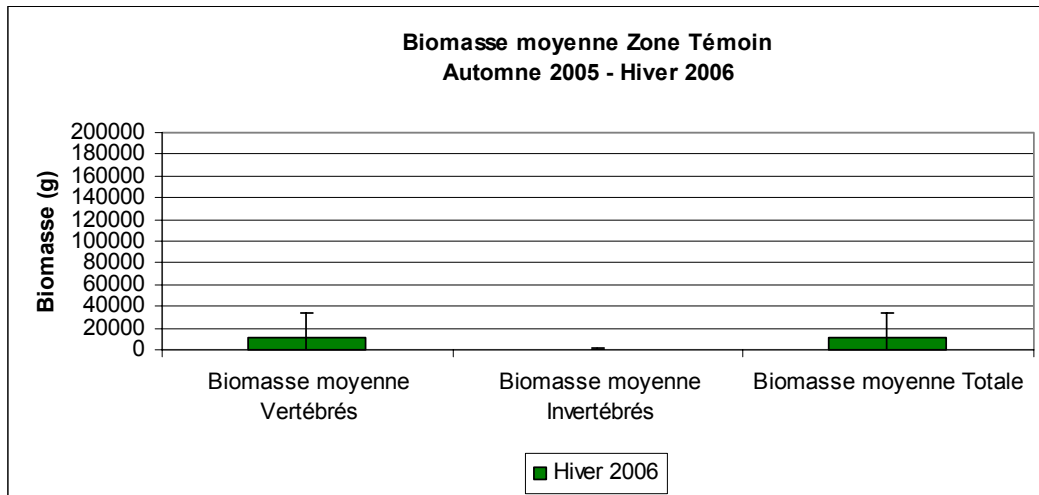


Figure 34 : La biomasse des espèces d'intérêt commercial de la zone témoin du Cap Leucate

4.2.5.5 Discussion

Ces deux campagnes ont permis de mettre en évidence la grande spécificité des zones 3 (Leucate) et 5 (Barcarès). La biomasse des espèces d'intérêt commercial varie en fonction de ces deux zones et du type de module :

- au niveau de la zone de Leucate (zone 3), la biomasse totale a augmenté au niveau de tous les types de modules (buses, dalots, amas chaotiques). Malgré tout, la biomasse de langoustes et des Sparidae ont diminué respectivement au niveau de buses et des dalots. Pour le moment, la biomasse des langoustes est nulle au niveau des dalots.
- au niveau de la zone du Barcarès (zone 5), la biomasse totale a augmenté. Malgré tout, la biomasse des Sparidae, poulpes et langoustes a diminué au niveau des dalots et des amas chaotiques. Au niveau des buses, le même phénomène est observé, à l'exception de la biomasse des poulpes qui a augmenté.
- dans les deux zones, la biomasse des espèces d'intérêt commercial est bien plus importante au niveau des amas chaotiques que sur les autres modules. Ce sont les buses qui présentent les plus faibles biomasses.
- la biomasse des espèces d'intérêt commercial observée sur les récifs est largement supérieure à celle observée au niveau de la zone témoin.

Les calculs de biomasse restent approximatifs car estimés sur la base des observations visuelles. Etant donné les conditions de travail assez médiocre, on peut espérer que ces valeurs soient sous estimées. Etant donné que le biais est le même

sur l'ensemble des modules étudiés, cela donne déjà une idée sur l'efficacité des différents modules en terme de concentration de biomasse. Il est encore difficile de dire si les récifs produisent de la biomasse ou s'ils déplacent de la biomasse qui a été produite sur des zones naturelles proches. Ceci pourra être abordé lorsque nous aurons accumulé plus de données. Là encore, l'impact de la pêche sur les récifs faisant parti du suivi scientifique devra être limité à la seule pêche expérimentale (Photo 12 et 13).

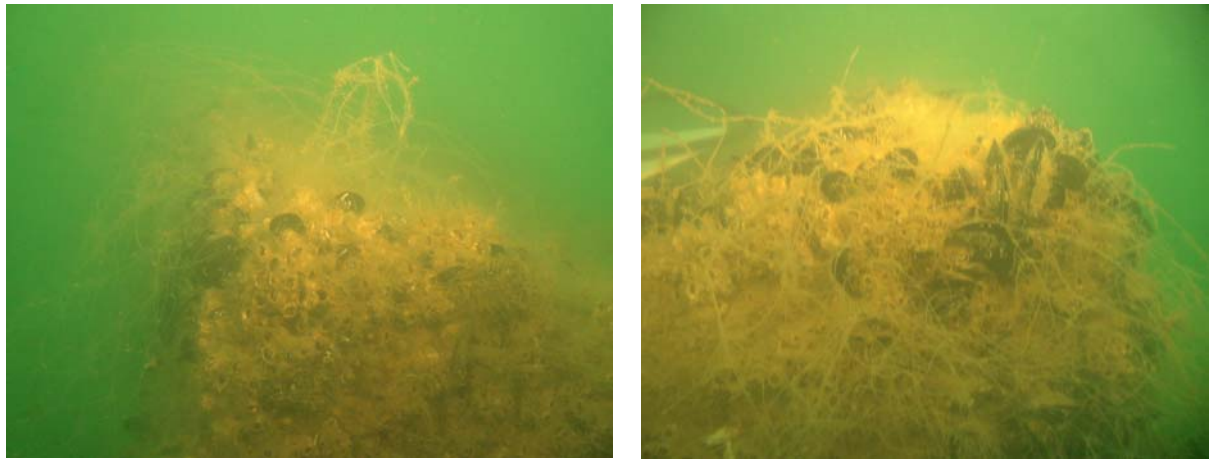


Photo 12 : Filets accrochés sur des récifs artificiels

*

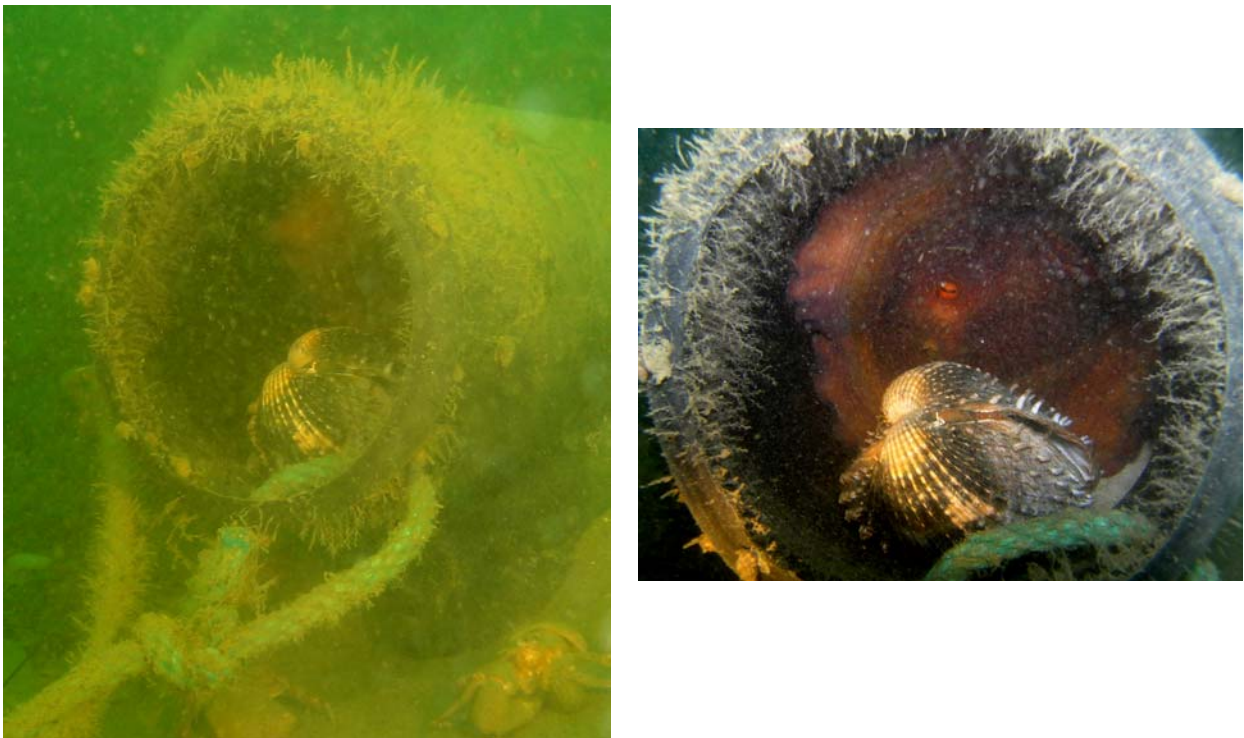


Photo 13 : Pots à poulpe rencontré sur des récifs artificiels

4.2.6 Estimation de la biomasse sur l'ensemble d'une zone de récifs artificiels

4.2.6.1 Zone 3 (Leucate)

L'estimation de la biomasse des espèces d'intérêt commercial sur l'ensemble des modules d'un même type (buse, dalot, amas chaotique) de la zone 3 (Leucate) montre que cette biomasse a augmenté (Figure 35).

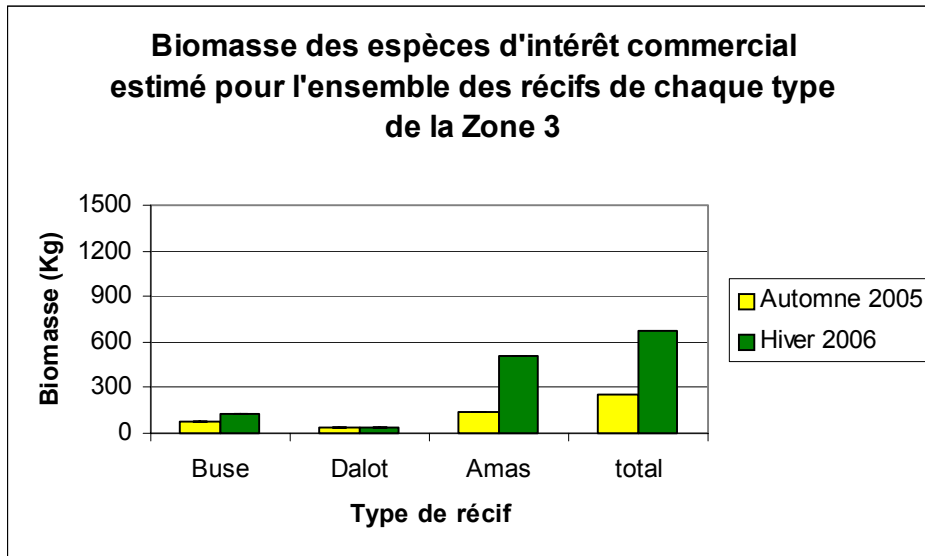


Figure 35 : Estimation de la biomasse des espèces d'intérêt commercial de la zone 3

Par conséquent, la biomasse général des espèces d'intérêt commercial a augmenté sur l'ensemble de la zone 3 (255,629 Kg à 678,594 Kg).

4.2.6.2 Zone 5 (Le Barcarès)

L'estimation de la biomasse des espèces d'intérêt commercial sur l'ensemble des modules d'un même type (buse, dalot, amas chaotique) de la zone 5 (Le Barcarès) montre que cette biomasse a augmenté (Figure 36).

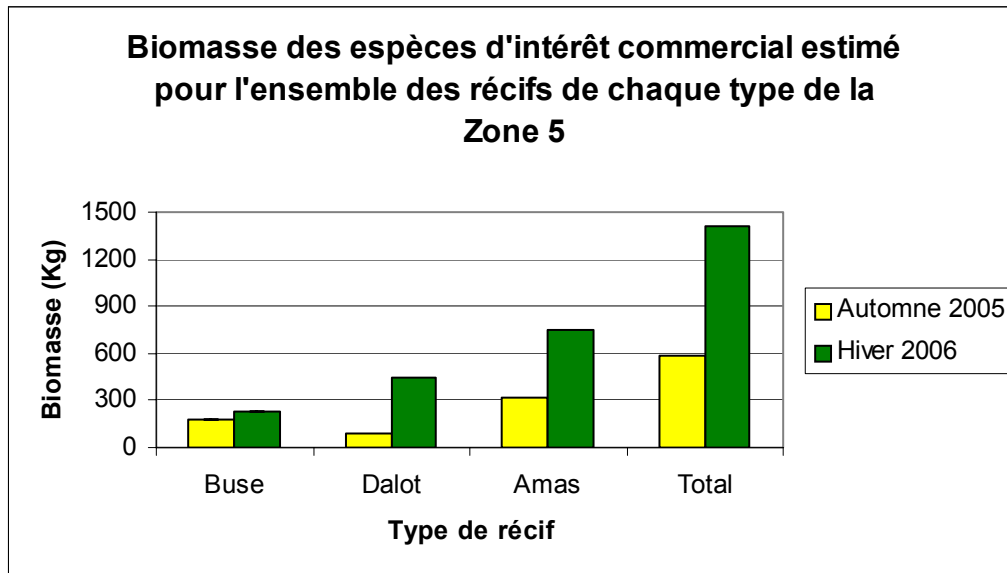


Figure 36 : Estimation de la biomasse des espèces d'intérêt commercial de la zone 5

Par conséquent, la biomasse général des espèces d'intérêt commercial a augmenté sur l'ensemble de la zone 5 (585,228 Kg à 1409,247 Kg).

4.2.6.3 Discussion

Les informations sur les biomasses ne sont là que pour donner un ordre d'idée et surtout être comparé aux données de pêches expérimentales. Comme précédemment, nous avons mis en évidence une différence entre les zones 3 (Leucate) et 5 (Barcarès).

La biomasse des espèces d'intérêt commercial varie en fonction de ces deux zones et du type de récif :

- au niveau des de Leucate (zone 3) et du Barcarès (zone 5), l'estimation de la biomasse des espèces d'intérêt commercial montre que cette biomasse a augmenté au niveau de l'ensemble de tous les types de modules (buses, dalots, amas chaotiques) et par conséquent sur l'ensemble de ces zones.

- dans les deux cas, la biomasse des espèces d'intérêt commercial est bien plus importante au niveau des amas chaotiques que des autres modules. De plus, celle rencontrée au niveau des dalots est supérieure à celle des buses.

De telles estimations sont destinées, à terme, à évaluer la biomasse d'une zone de récifs afin ensuite de la comparer aux captures moyennes faites par les pêcheurs professionnels. Une gestion raisonnée de la ressource pourra alors être proposée.

5 L'étude halieutique par pêche expérimentale

5.1 Méthodologie

Le suivi halieutique par pêche expérimentale permet d'évaluer l'impact de l'immersion des récifs artificiels sur la pêche professionnelle locale. Cette approche est complémentaire de l'observation en plongée (comptages visuels) car elle repose sur un prélèvement direct de la ressource dans le milieu, avec les mêmes moyens (filets) que ceux utilisés par les petits métiers. On aboutit donc à une évaluation directe de la ressource disponible dans le milieu pour la pêche.

Pour ce suivi halieutique, les deux mêmes zones d'immersion des récifs artificiels sont étudiées : la zone 3 (Leucate) et la zone 5 (Le Barcarès). Le Cap Leucate fait office de zone rocheuse témoin.

Sur chaque zone, trois points d'échantillonnage correspondant à trois situations géographiques, établies selon un gradient d'éloignement (Proche, Médian, Loin) depuis les zones de récifs artificiels ou de la zone témoin vers le large, sont sélectionnés. Ces trois points sont répartis sur 0,5 à 1 mille nautique de distance, le long d'un même isobathe, suivant un axe approximatif nord-sud.

Le choix de ces profondeurs, distance et orientation repose sur trois éléments :

- l'expérience acquise grâce au projet européen BIOMEX (étude de l'exportation de biomasse ichtyologique d'une aire marine protégée vers l'extérieur) tend à montrer que l'influence d'une zone de concentration de la ressource sur son environnement s'étend dans un rayon inférieur à 1 mille nautique,
- de manière à éviter un éventuel biais lié à la profondeur, les 3 points échantillonnés sont localisés suivant un isobathe constant,
- le choix de l'axe nord-sud permet de s'éloigner de la zone de concentration des récifs artificiels en évitant la proximité immédiate d'autres secteurs potentiellement riches en biomasse.

La pêche (Photo 14) est effectuée par des pêcheurs professionnels locaux, sous la responsabilité des scientifiques du laboratoire. Les pêches expérimentales sont toujours réalisées avec le ou les mêmes pêcheurs et le même matériel, pour obtenir une meilleure cohérence des résultats. Des engins de pêche standardisés, qui correspondent à des filets de pêche type trémail, tous constitués de 5 pièces de 100 m de longueur (vide de maille fixe de 38 mm) sont utilisés. Les filets sont positionnés sur chacun des 3 points d'échantillonnage. En chaque point, un filet est mis en place le soir et retiré le matin. Le démaillage est effectué en présence d'un scientifique, pour obtenir l'information la plus complète possible. Les informations suivantes sont notées pour chaque filet.



Filet de pêche



Zone de calé



Débarquement



Mesures

Photo 14 : La pêche expérimentale

- Données environnementales :

- la date,
- la météo : état de la mer, force et direction du vent, direction du courant,
- le jour de calée et les heures de calée et de levée,
- la localisation en relevant les points GPS,
- la profondeur avec le sondeur.

- Le produit de la pêche, en distinguant chaque pièce de chaque filet :

- la composition de la pêche : identification de toutes les espèces,
- la taille et poids de chaque individu pêché,

5.2 Résultats et discussion

5.2.1 Diversité, densité et biomasse

Au cours des deux campagnes « Automne 2005 » et « Hiver 2006 », 41 espèces de poissons appartenant à 21 familles ont été pêchées sur les récifs artificiels (Photo 15) :

- Sparidae
 - Bogue, *Boops boops*,
 - Sparailon, *Diplodus annularis*,
 - Sar à museau pointu, *Diplodus puntazzo*,
 - Sar commun, *Diplodus sargus*,
 - Sar à tête noir, *Diplodus vulgaris*,
 - Marbré, *Lithognathus mormyrus*,
 - Oblade, *Oblada melanura*,
 - Pageot acarné, *Pagellus acarne*,
 - Pageot commun, *Pagellus erythrinus*,
 - Pagre commun, *Pagrus pagrus*,
 - Canthare, *SpondylIOSoma cantharus*.

- Scorpaenidae
 - Petite rascasse rouge, *Scorpaena notata*,
 - Rascasse brune, *Scorpaena porcus*,
 - Chapon, *Scorpaena scrofa*.

- Labridae
 - Labre merle, *Labrus merula*.

- Moronidae
 - Loup, *Dicentrarchus labrax*.

- Serranidae
 - Serran, *Serranus cabrilla*.

- Carangidae
 - Grande sérieole, *Seriola dumerili*,
 - Chinchard à queue jaune, *Trachurus mediterraneus*,
 - Chinchard commun, *Trachurus trachurus*.

- Mullidae
 - Rouget barbet de vase, *Mullus barbatus*.

- Gadidae
 - Mostelle, *Phycis phycis*,
 - Tacaud (Capelan), *Trisopterus minutus capelanus*.

- Congridae
 - Congre, *Conger conger*.
- Centracanthidae
 - Gerle, *Spicara flexuosa*,
 - Mendole, *Spicara maena*.
- Clupeidae
 - Alose feinte, *Alosa fallax*,
 - Sardine, *Sardina pilchardus*.
- Lophiidae
 - Baudroie commune, *Lophius piscatorius*.
- Merluccidae
 - Merlu commun, *Merluccius merluccius*.
- Mugilidae
 - Mulet doré, *Liza aurata*.
- Rajidae
 - Raie bouclée, *Raja clavata*,
 - Raie lisse, *Raja brachyura*.
- Scombridae
 - Maquereau, *Scomber scombrus*,
- Scophthalmidae
 - Cardine chevelue, *Phynorhombus regius*
- Soleidae
 - Sole pole, *Pegusa lascaris*,
 - Sole commune, *Solea vulgaris*.
- Trachinidae
 - Grande vive, *Trachinus draco*.
- Triglidae
 - Grondin gris, *Eutrigla gurnardus*,
 - Grondin perlon, *Trigla lucerna*.
- Zeidae
 - Saint Pierre, *Zeus faber*.

A ces individus, il faut ajouter 6 espèces d'invertébrés (Photo 15) : poulpe (*Octopus vulgaris*), poulpe de sable ou élédone (*Eledone moschata*), calamar (*Loligo vulgaris*), seiche (*Sepia officinalis*), langouste (*Palinurus elephas*) et squille (*Odontodactylus scyllarus*).



Photo 15 : Les diverses espèces capturées lors des pêches expérimentales

Après le suivi biologique et les pêches expérimentales, il en ressort que :

- 11 espèces ont été observées exclusivement en plongée,
- 33 espèces ont été observées exclusivement lors des pêches,
- 16 espèces sont communes à ces deux méthodes de suivi (Figure 37).

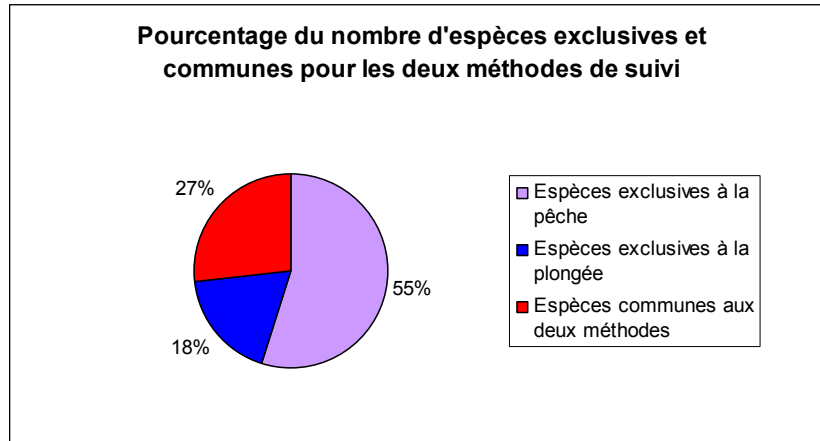


Figure 37 : Pourcentage du nombre d'espèces exclusives et communes pour les deux méthodes de suivi

L'utilisation complémentaire de ces deux techniques d'échantillonnage (pêche et plongée sous-marine) choisi pour ce suivi des récifs artificiels de Leucate et Le Barcarès permet donc d'obtenir une vision plus précise des peuplements de ces structures.

Pour les différentes zones d'études, plusieurs paramètres sont décrits selon la distance relative aux récifs (Proche, Médian, Loin) :

- la diversité (nombre d'espèces),
- la densité,
- la biomasse.

5.2.1.1 Zone Témoin, Cap Leucate

Entre les deux campagnes, le nombre d'espèces présentes au sein de la Zone Témoin du Cap Leucate a augmenté, avec toujours un maximum de diversité au niveau de la position « Médium » du filet (Figure 38).

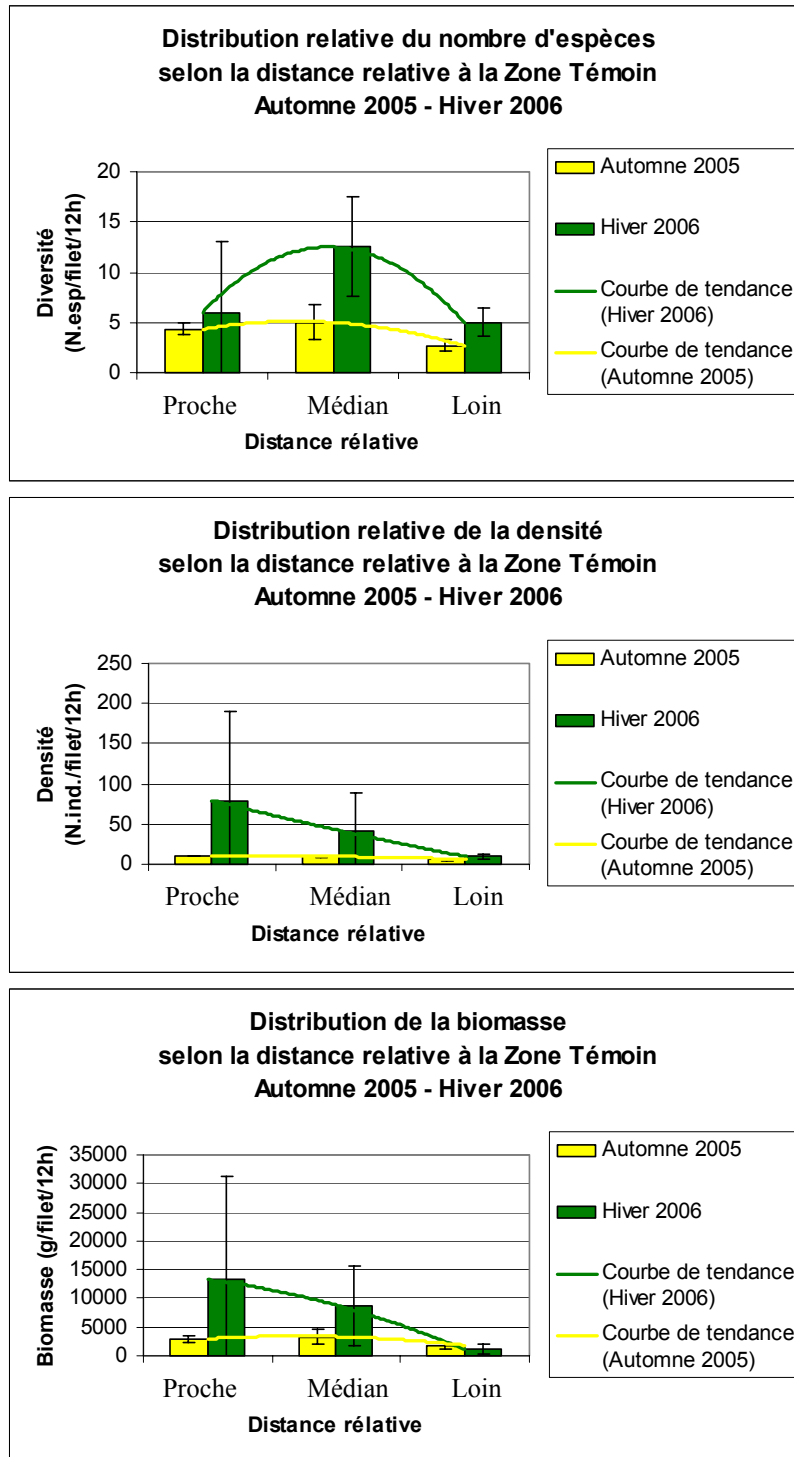


Figure 38 : Diversité, densité, biomasse selon la distance relative à la Zone Témoin

De même, cette augmentation est flagrante au niveau de la densité et de la biomasse. Par contre, ces deux paramètres diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la zone rocheuse (Figure 38).

5.2.1.2 Zone 3, Leucate

Entre les deux campagnes, le nombre d'espèces présentes au sein de la zone 3 a augmenté, sauf en position « Médian » du filet qui représente le minimum observé lors de la campagne « Hiver 2006 » (Figure 39).

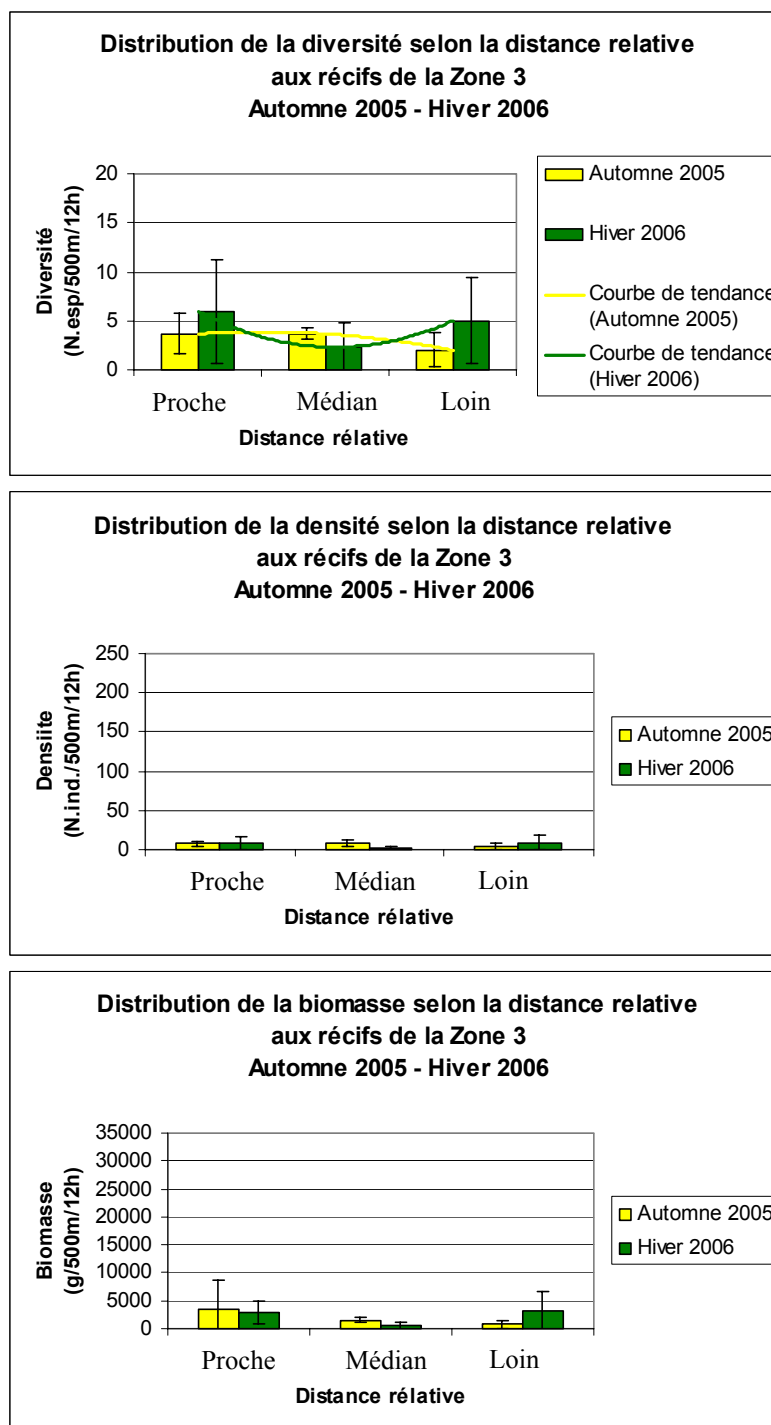


Figure 39 : Diversité, densité, biomasse selon la distance relative à la zone 3, Leucate

Par contre, cette augmentation est moins visible au niveau de la densité et de la biomasse. Le phénomène de diminution de ces deux paramètres au fur et à mesure que l'on s'éloigne des récifs est moins marqué (Figure 39).

5.2.1.3 Zone 5, Le Barcarès

Entre les deux campagnes, le nombre d'espèces présentes au sein de la zone 5 a diminué. La position « Médium » du filet représente le minimum observé lors de la campagne « Hiver 2006 » (Figure 40).

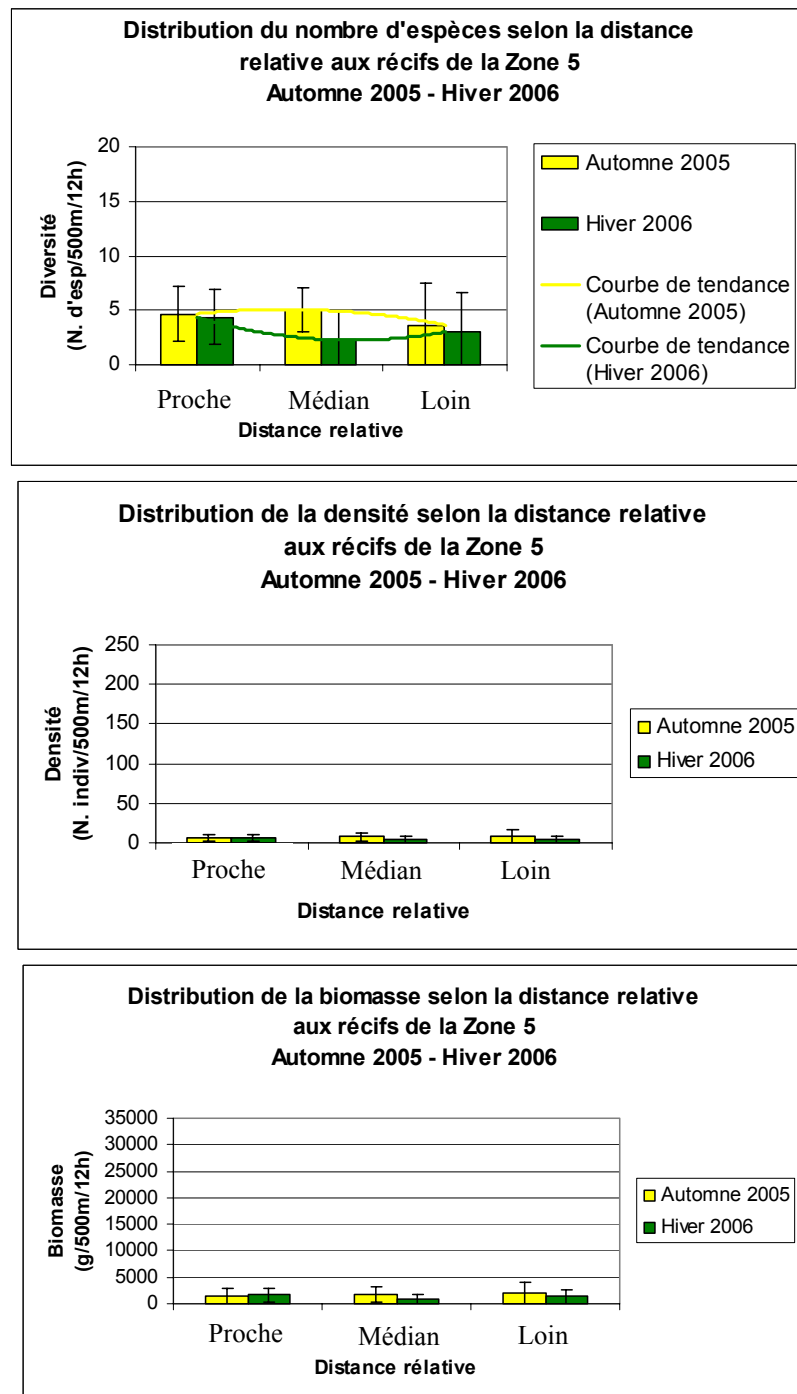


Figure 40 : Diversité, densité, biomasse selon la distance relative à la zone 5, Le Barcarès

Ce phénomène est aussi observable au niveau de la densité et de la biomasse. De plus, la diminution de ces deux paramètres au fur et à mesure que l'on s'éloigne des récifs est moins marquée (Figure 40).

5.2.1.4 Discussion

Ces deux campagnes ont permis de mettre en évidence la grande spécificité des zones 3 (Leucate) et 5 (Barcarès). Malgré leur promiscuité, chaque site est unique et évolue de façon bien particulière.

La biomasse des espèces d'intérêt commercial varie en fonction de ces deux zones.

Au niveau de Leucate (zone 3) et du Barcarès (zone 5), l'évolution de la biomasse pêchée n'est pas trop flagrante.

Malgré tout, il apparaît qu'il n'est pas nécessaire de pêcher à proximité immédiate (Near) des récifs puisque la biomasse pêchée à quelques mètres (Far) est parfois égale voir supérieure à celle observée sur ces structures. Ce phénomène s'observe aussi au niveau de la taille moyenne des individus (Figure 41).

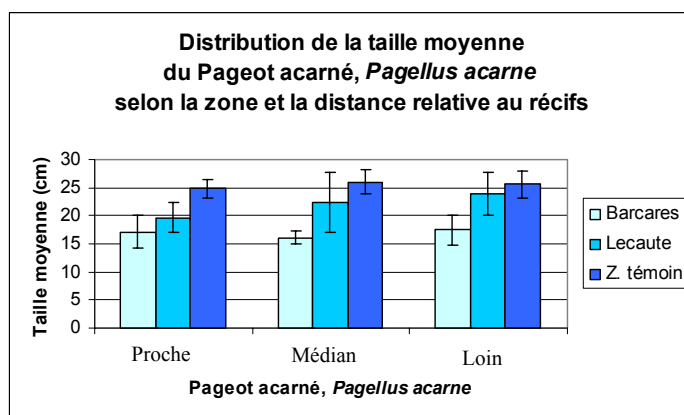
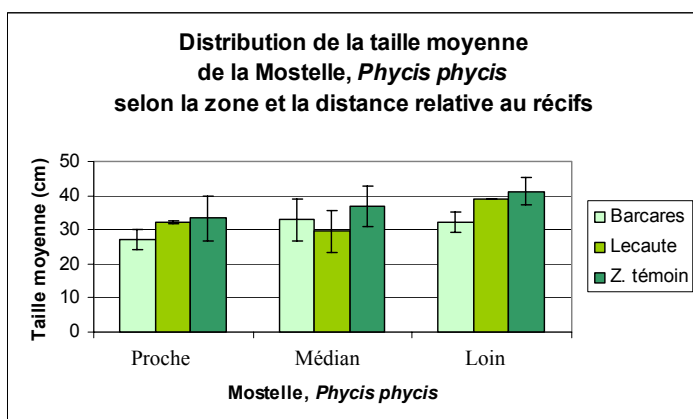
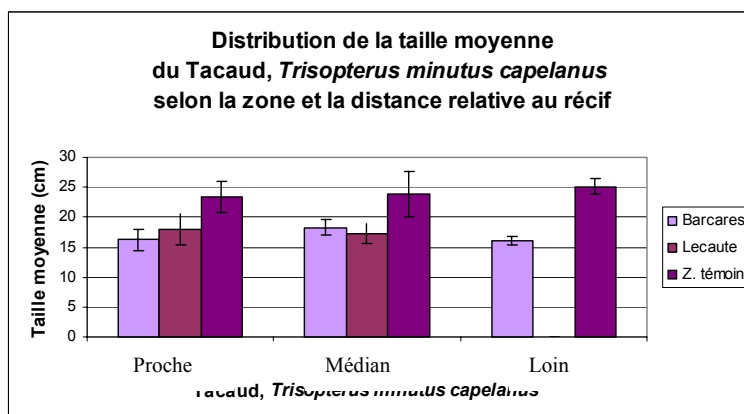


Figure 41 : Distribution de la taille moyenne selon la zone et la distance relative au récif (différence significative, Test de Kruskal-Wallis et test de corrélation des rangs, $p < 0,05$)

La biomasse est plus importante au niveau de la zone 3 (Leucate) que de la zone 5 (Leucate). Mais pour le moment, les différents paramètres étudiés (diversité, densité et biomasse) sont inférieurs à ceux observés au niveau de la Zone Témoin du Cap Leucate.

Il a parfois été reproché aux récifs artificiels de ne pas produire de nouvelle biomasse, mais simplement de déplacer et de concentrer la biomasse des zones naturelles périphériques vers les zones artificielles, par leurs effets attractifs et concentrateurs. La colonisation d'une zone naturelle est évidemment plus ancienne, ce qui se traduit par une structure plus complexe et un peuplement plus stable et plus diversifié. Toutefois, les différences entre zones naturelles et zones artificielles devraient tendre à s'atténuer avec le temps, sous réserve de certains paramètres, notamment physiques (envasement, effondrement). Dans un premier temps, le récif joue un rôle attracteur, entraînant le déplacement de certains individus des zones adjacentes vers le récif. Après cette phase d'intégration, le récif fonctionnera alors comme une zone naturelle, avec une production de biomasse. En outre, un récif artificiel ne doit pas être pris comme un système isolé mais ouvert, en relation étroite avec les communautés et les habitats naturels. Le récif artificiel est alors, comme pour les zones naturelles, un système non clos avec des espèces permanentes et des espèces qui l'utilisent une partie de leur cycle de vie (recrutement, stade juvénile, jeune, adulte), de la journée, de la saison ou de l'année, pour les fonctions de reproduction ou de nutrition (Harmelin & Bellan-Santini, 1997a).

La biomasse produite par un récif est donc difficilement quantifiable compte tenu des interactions complexes avec les systèmes périphériques. De Martini et al. (1994) et Johnson et al. (1994) ont réussi à chiffrer cette augmentation de la production attribuée aux espèces inféodées au récif artificiel, soit par une approche écologique globale, soit par des marquages de certaines espèces de poissons. Cette approche globale ou orientée uniquement vers quelques espèces cibles reste toutefois complexe. Bien souvent, les besoins spécifiques de chaque espèce ne sont pas suffisamment connus.

Pour les invertébrés fixés (moule, huître), la production est effective pendant toute la durée de vie des individus sur les récifs. Par contre, pour la faune mobile, sans marquage individuel, il est impossible d'être certain d'observer le même individu lors de chaque plongée. Toutefois, le caractère exceptionnel de certaines observations (très grande taille des individus, présence très rare d'une espèce) permet de penser que plusieurs individus sont restés plusieurs mois sur la structure. Pour ces individus appartenant à différentes espèces (congres, mostelles, tacauds, poulpes), la croissance a donc probablement été effectuée sur les structures artificielles.

Dans le but de compléter notre approche écologique globale des récifs artificiels, un suivi par marquage (marques de type « spaghetti », T-bar anchor tag) des sars communs (*Diplodus sargus*) est réalisé dans le cadre d'une thèse au sein du Laboratoire Ecosystèmes Aquatiques Tropicaux et Méditerranéens (FRE EPHE-CNRS 2935, Université de Perpignan). Cette étude a pour but de comparer le peuplement de poissons exploités entre différents systèmes : lagunes, zone rocheuse du large, récifs artificiels (Le Barcarès, Canet, Saint Cyprien) et la côte rocheuse des Albères. Cette comparaison permettra de mieux comprendre les

interactions qui peuvent exister entre un système lagunaire et d'autres systèmes de la zone d'étude.

5.2.2 Influence de la Zone Témoin rocheuse du Cap Leucate

Ces deux campagnes ont permis de mettre en évidence la grande spécificité des zones 3 (Leucate) et 5 (Barcarès). Malgré leur promiscuité, chaque site est unique et évolue de façon bien particulière (Figure 42).

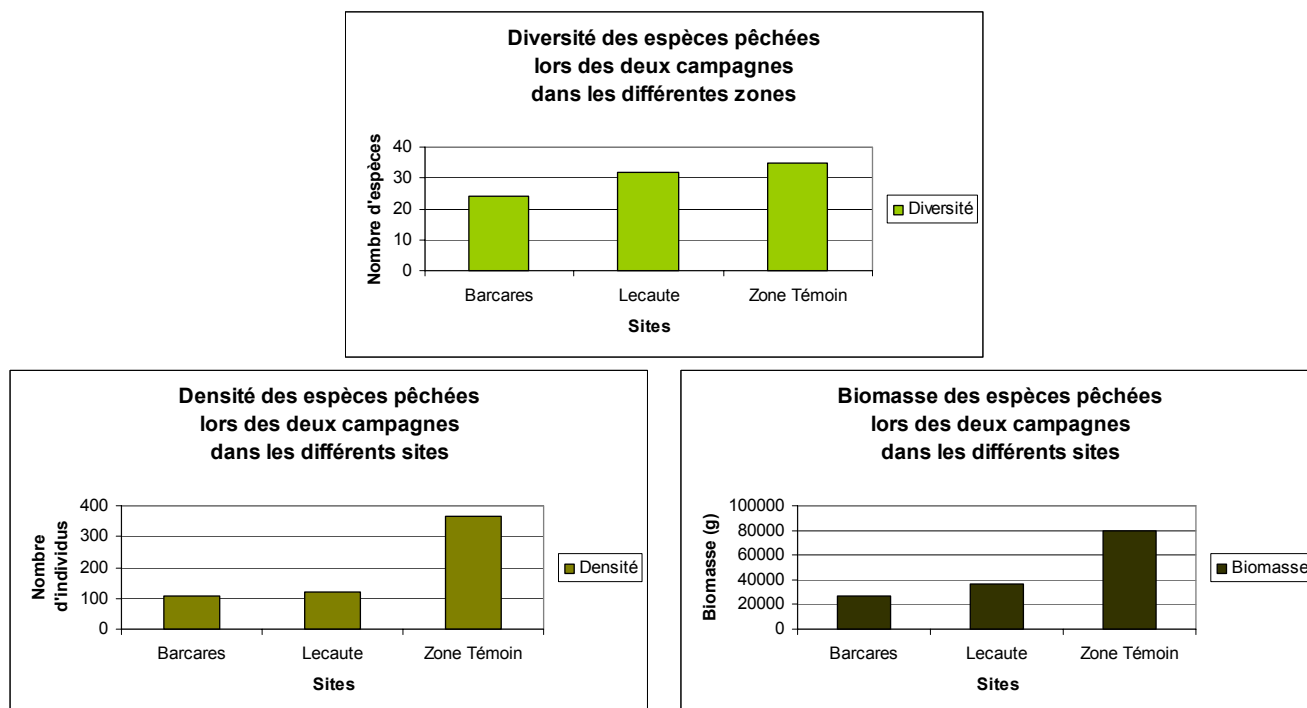


Figure 42 : Diversité, densité et biomasse des espèces pêchées lors deux campagnes dans les différents sites

La Zone Témoin rocheuse semble avoir une certaine influence sur la Zone 3 de Leucate, la plus proche (Figure 42). La diversité des espèces pêchées est assez similaire (32 espèces pour Leucate et 35 pour la Zone Témoin). De plus, la biomasse semble augmenter lorsque que l'on s'approche de cette zone rocheuse (27134 g pour Le Barcarès, 36562 g pour Leucate, 79609,1 g pour le Cap Leucate).

L'environnement naturel du récif est un facteur déterminant. Il va définir les espèces pouvant potentiellement être présentes sur le récif et l'éloignement de la source de nouvelles espèces (McArthur & Wilson, 1963 ; McArthur & Wilson, 1967 ; Nakamura 1985 ; Ody, 1987). Ainsi, la présence d'espèces sur un récif dépend de son environnement naturel, c'est le cas, par exemple des Sparidae abondants sur les récifs mais aussi dans les étangs, les zones rocheuses (Cap Leucate), les épis et digues rocheux.

D'autre part, le renouvellement en espèces (turn-over) est important sur les récifs artificiels. En effet, les récifs sont des systèmes ouverts où il existe de nombreux échanges et déplacements d'espèces avec les zones naturelles périphériques (Harmelin & Bellan-Santini, 1997b). Sur le site d'étude, les zones naturelles voisines des récifs sont représentées par les étangs, les zones rocheuses (Cap Leucate), les épis et digues rocheux. Les échanges entre les récifs artificiels et les zones naturelles sont très fréquents, notamment pour les espèces nectobenthiques à déplacements latéraux plus ou moins importants et à fidélité stationnelle marquée comme les Sparidae du genre *Diplodus*, mais aussi pour les espèces moins sédentaires comme les espèces erratiques et les microphages, dont les individus se déplacent la plupart du temps en bancs.

Le suivi par marquage (marques de type « spaghetti », T-bar anchor tag) des sars communs (*Diplodus sargus*) est réalisé dans le cadre d'une thèse au sein du Laboratoire Ecosystèmes Aquatiques Tropicaux et Méditerranéens (FRE EPHE-CNRS 2935, Université de Perpignan) permettra alors de mieux comprendre ces interactions qui peuvent exister entre les différents systèmes de la zone d'étude.

6 Conclusion

6.1 Des résultats encourageants

Sur le plan physique, la tenue à la mer des récifs artificiels (buses, dalots, amas chaotiques) est apparemment satisfaisante (absence de signes de dégradation extérieure) et les immersions réalisées ont été effectuées dans de très bonnes conditions, grâce à un positionnement géographique précis et une pose délicate sur le fond. Malgré tout, l'évolution dans le temps de ces structures est à surveiller lors des prochaines campagnes car certains modules présentent des caractéristiques particulières (présence d'une cuvette, envasement).

Sur le plan biologique, les récifs artificiels démontrent leur intérêt en créant un substrat dur permettant l'installation rapide de peuplements assez diversifiés (poissons et invertébrés). Les espèces recensées en plongée ou lors des pêches expérimentales sont pour la plupart des espèces d'intérêt commercial, présentant une forte affinité pour les substrats rocheux. Les biomasses de poissons peuvent atteindre des valeurs importantes en raison de l'abondance de certaines espèces (tacauds, congres) ou familles (Sparidae). L'apparition d'individus caractéristiques des substrats durs diversifie les possibilités de captures par les pêcheurs professionnels. Le rôle de production des récifs s'illustre principalement pour le moment par la protection de pontes (seiche, calmar) et d'individus de poissons de petite taille, et par une certaine production conchylicole (moules, huîtres). En ce qui concerne les poissons et les invertébrés de taille commercialisable, le rôle de production pour l'ensemble de la zone reste difficile à évaluer du fait de l'immersion récente de ces récifs et de l'influence de la pression de pêche.

Ce suivi a permis de mettre en évidence les mécanismes influençant la distribution des poissons sur les récifs artificiels. La richesse et l'abondance du peuplement de poissons dépend de facteurs tels que l'architecture et le design du récif (plus la structure d'un récif est complexe, avec une disponibilité en habitats de type cavitaire, plus le récif sera riche), l'environnement naturel du récif (la proximité d'habitats naturels comme les étangs, les roches favorise les échanges et les apports de nouvelles espèces sur le récif). Il ressort également que chaque récif est un cas particulier. Il existe, en effet, de fortes variations d'un récif à l'autre, même lorsqu'il s'agit d'un même type de module (buse, dalot, amas chaotique).

La colonisation des récifs artificiels poursuit son évolution et se complexifiera à long terme. Les prochaines campagnes de suivi pourront ainsi valider ou non les premières observations réalisées et tenter de mettre en évidence la succession des différentes espèces dans le temps.

6.2 Les récifs artificiels, un outil de gestion des ressources

Dans le contexte actuel local, l'influence positive des récifs artificiels sur les stocks exploitables par les pêcheurs semble donc se traduire de plusieurs façons :

- par la protection des juvéniles ou des pontes,
- par la création d'un substrat dur.

Malgré tout, en plus de ces effets positifs plus ou moins déjà constatés, la présence de récifs artificiels peut être globalement favorable ou défavorable aux développements des stocks, selon la manière dont l'exploitation halieutique est gérée.

Les récifs artificiels attirent la faune et la flore et par conséquent les pêcheurs. Aussi il est souvent difficile de savoir si le récif fonctionne plutôt comme un engin de pêche ou comme un moyen de protection. Ce problème est particulièrement délicat en période de reproduction car la pêche des adultes venus sur les récifs artificiels pour se reproduire peut avoir des conséquences assez catastrophiques, surtout dans des zones où les substrats durs sont rares (côte sableuse).

En fait, le problème est assez complexe. Par exemple, dans une zone côtière de substrat meuble non aménagée en récifs et soumise uniquement à des pressions de pêche de la part des chalutiers et des petits métiers (cas simplifié), la ressource est dispersée et les mortalités par pêche (MP) sont dues à la pêche au chalut (MP1) et à la pêche aux petits métiers (MP2). Les mortalités par chalutage concernent de nombreux juvéniles. En aménageant une zone de récifs artificiels, un certain nombre d'espèces va avoir tendance à être attiré et se concentrer ainsi autour de ces structures (reproduction, alimentation, abri, etc.). En l'absence de l'activité de chalutage, la mortalité par pêche n'est le fait que de la pêche aux petits métiers (MP3). Par contre, comme la capturabilité des espèces augmente (MP1 = 0 et effet « concentration »), la pêche aux petits métiers peut ainsi prélever une plus grande partie de la ressource (MP3 devient supérieure à MP2). Ainsi, suivant ces éléments de mortalité par pêche, il apparaît que dans le cas où MP3 devient supérieur à MP1 + MP2, le récif devient un engin de pêche trop performant en raison de son effet concentrateur. Dans ce cas, le bilan final correspond à une baisse globale de la ressource. Ce raisonnement un peu simpliste ne tient pas compte d'autres paramètres pouvant influencer sur la dynamique des populations des espèces concernées (Collart & Charbonnel, 1998).

Ainsi, tous les modèles de mortalité testés tiennent rarement compte d'un facteur essentiel : l'intégrité du biotope. Sans stabilité à long terme du biotope et sans complexité structurale, le devenir de l'écosystème est fortement compromis. La mortalité apparente est alors élevée. En zone littorale, les techniques de pêche destructives (chalutage) sont très néfastes pour le maintien à long terme des stocks de poissons exploitables. Par conséquent, les récifs artificiels favorisant des techniques de pêche respectant l'intégrité physique du milieu (pêche aux petits métiers) sont des outils permettant d'espérer le maintien et le renouvellement à long terme des stocks exploitables. Toute ressource n'est pas inépuisable et un équilibre doit être trouvé entre la protection, la production, la concentration d'espèces et le maintien de certaines activités (pêche aux petits métiers).

D'une manière générale, différents types d'engins de pêche peuvent être utilisés au sein d'une zone aménagée en récifs artificiels afin de diversifier au maximum les captures et permettre ainsi l'exploitation de toutes les ressources accessibles. Les pêcheurs ont d'ailleurs l'habitude de faire évoluer leurs techniques de pêche en fonction des espèces visées et du type de fond sur lequel les engins de pêche sont calés.

Dans le cadre d'une gestion raisonnée et durable des récifs artificiels, la stratégie théorique pourrait être la suivante :

- des lignes et des palangres utilisées directement sur les modules afin de réguler les populations de congres,
- des filets maillants calés à 50-150 m des récifs au vu des résultats obtenus lors de la présente étude et des travaux de Nèves-Santos (1997),
- des filets trémails calés au-delà, sur les zones de fonds meubles, pour la capture des espèces benthiques (poissons plats).

L'effort de pêche doit être réparti sur l'ensemble du peuplement et non focalisé sur certaines espèces cibles (Nèves-Santos, 1997). L'équilibre et l'organisation des différents groupes fonctionnels des peuplements pourront alors être maintenu.

De plus, des mesures temporaires d'interdiction de la pêche pendant les périodes de reproduction peuvent être envisagées. De même, la mise en place d'un système de jachère pourrait être mise en place puisque le présent site comporte 6 zones aménagées bien distinctes.

Enfin, le récif ne doit pas devenir un engin de pêche trop performant. La ressource naturelle ne devant pas être concentrée, les aménagements de récifs pourront se faire sur des zones assez étendues. Malgré tout, le volume d'une zone de récifs ne doit pas être négligé. En effet, les japonais ont démontré que pour avoir un impact halieutique suffisant et des retombées durables sur la pêche, une zone aménagée en récifs devrait être constituée par 50000 à 150000 m³ de modules. Mais en France, 33000 m³ ont été dispersé sur l'ensemble du littoral.

Tous les acteurs socio-économiques fréquentant le site doivent être consultés afin de mettre en place une gestion raisonnée et durable de la zone du Barcarès à Leucate.

7 Références bibliographiques

BAUCHOT M.L., PRAS A., 1980. Guide des poissons marins d'Europe. Delachaux & Niestlé, éd., Lausanne : 1-427.

BAYLE-SEMPERE J.T., RAMOS-ESPLA A.A., GARCIA-CHARTON J.A., 1994. Intra-annual variability of an artificial reef fish assemblage in the marine reserve of Tabarca (Alicante, Spain, SW Mediterranean). *Bull. Mar. Sci.*, 55 (2-3) : 824-835.

BEVAN W., MAIER R.A., HELSON H., 1963. The influence of context upon the estimation of number. *Am. J. Psychol.*, 76 : 464-469.

BOMBACE G., FABI G., FIORENTINI L., SPERENZA S., 1994. Analysis of the efficacy of artificial reefs located in five different areas of the Adriatic sea. *Bull. Mar. Sci.*, 55 (2-3) : 559-580.

BROCK V.E., 1954. A preliminary report on a method of estimating reef fish populations. *J. Wildl. Mgmt.*, 18 (3) : 297-308.

CHARBONNEL E., 1989. Evaluation des peuplements ichtyologiques des récifs artificiels dans les établissements de pêche des Alpes-Maritimes. Rapport Final. Conseil Général des Alpes-Maritimes. Contrat Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, CEE-FEOGA et Parc National de Port-Cros : 1-96.

CHARBONNEL E. & FRANCOUR P., 1994. Etude de l'ichtyofaune des récifs artificiels du Parc Régional Marin de la Côte Bleue en 1993. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-66.

CHARBONNEL E., FRANCOUR P., HARMELIN J.G., ODY D., 1995. Les problèmes d'échantillonnage et de recensement du peuplement ichtyologique dans les récifs artificiels. *Biol. Mar. Med.*, 2 (1) : 85-90.

CHARBONNEL E., FRANCOUR P., HARMELIN J.G., 1997. Finfish population assessment techniques on artificial reefs : a review in the European Union. *European Artificial Reef Research*, A.C. Jensen edit. Proceedings of the first EARRN conference, Ancona, Italy : 261-275.

COLLART D. & CHARBONNEL E., 1998. Impact des récifs artificiels de Marseillan et d'Agde sur le milieu marin et la pêche professionnelle. Bilan du suivi 1996 / 1997. Contrat Conseil Régional Languedoc-Roussillon & Conseil Général de l'Hérault. CEGEL & GIS Posidonie publ., Fr. : 1-168.

DE MARTINI E.E., BARNET A.M., JOHNSON T.D., AMBROSE R.F., 1994. Growth and production estimates for biomass-dominant fishes on a Southern California artificial reef. *Bull. Mar. Sci.*, 55 (2-3) : 484-500.

DEVAUX J. & MILLERIOUX G., 1976. Méthode d'estimation de la biomasse totale du phytoplancton à partir du nombre de cellules, issues d'une cotation d'abondance. C.R. Acad. Sci., 283 D : 927-930.

DUCLERC J. & BERTRAND J., 1993. Variabilité spatiale et temporelle d'une pêcherie au filet dans le Golfe du Lion. Essai d'évaluation de l'impact d'un récif artificiel. Rapport interne de la DRV de l'IFREMER, 93.003/RH-SETE : 1-42.

DUVAL-MELLON C., 1987. Impact halieutique des récifs artificiels du Languedoc-Roussillon. Rapp. IFREMER, DRV, 87.016/RH/Sète : 1-96.

FABI G. & FIORENTINI L., 1994. Comparison between an artificial reef and a control site in the Adriatic sea : analysis of four years of monitoring. Bull. Mar. Sci., 55 (2-3) : 538-558.

FISCHER W., SCHNEIDER M., BAUCHOT M.L., 1987. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et Mer Noire, zone de pêche 37, Vol. I et II. FAO / CEE / ONUAA, Projet CGP / INT / 422 / EEC : 1-1527.

FRANCOUR P., 1990. Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments mat, litière, faune vagile, échinodermes et poissons. Doct. Univ., P.M. Curie, Paris : 1-373.

FRONTIER S. & VIALE D., 1977. Utilisation d'une cotation d'abondance mise au point en Planctologie pour l'évaluation des Cétacés en mer. J. Rech. Océanogr., 2 (4) : 15-22.

GARCIA-RUBIES A. & MAC PHERSON E., 1995. Substrate use and temporal pattern of recruitment in juvenile fishes of the Mediterranean littoral. Mar. Biol., 124 : 35-42

HARMELIN J.G., 1987. Structure et variabilité de l'ichtyofaune d'une zone rocheuse protégée en Méditerranée (Parc National de Port-Cros, France). P.S.Z.N.I Mar. Ecol., 8 (3) : 263-284.

HARMELIN J.G., BELLAN-SANTINI D., 1997a. Assessment of biomass and production of artificial reef communities. European Artificial Reef Research, A.C. Jensen edit. Proceedings of the first EARRN Conference, Ancona, Italy : 305-322.

HARMELIN J.G. & BELLAN-SANTINI D. 1997b. Assessment of biomass and production of artificial reef communities. European Artificial Reef Research, A.C. Jensen edit. Proceeding of the first EARRN conference, Ancona, Italy : 261-275.

HARMELIN-VIVIEN M. & HARMELIN J.G., 1975. Présentation d'une méthode d'évaluation *in situ* de la faune ichthyologique. Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros, 1 : 47-52.

HARMELIN-VIVIEN M., HARMELIN J.G., CHAUVET C., DUVAL C., GALZIN R., LEJEUNE P., BARNABE G., BLANC F., CHAVALIER R., DUCLERC J., LASSERE G., 1985. Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : problèmes et méthodes. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 40 : 467-539.

HARMELIN-VIVIEN M. & FRANCOUR P., 1992. Trawling or visual censuses ? Methodological bias in the assessment of fish populations in seagrass beds. *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol.*, 13 (1) : 41-51.

JENSEN A. & COLLINS K., 1995. Artificial reef research in the European Union : a review. *Proc. ECOSET'95 Conference, Japan* (2) : 824-829.

JOHNSON T.D., BARNETT A.M., DE MARTINI E.E., CRAFT L.L., AMBROSE R.F., PURCELL L.J., 1994. Fish production and habitat utilization on a Southern California artificial reef. *Bull. Mar. Sci.*, 55 (2-3) : 709-723.

MARINARO J.Y., 1995. Artificial reefs in the French Mediterranean : a critical assessment of previous experiments and a proposition in favour of a new reef-planning policy. *Biol. Mar. Med.*, 2 (1) : 65-76.

MCARTHUR R.H. & WILSON E.O. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17 : 373-387.

MCARTHUR R.H. & WILSON E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, N.J.

NAKAMURA M. 1985. Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan. *Bull. Mar. Sci.* 37 : 271-278.

NEVES-SANTOS M., 1997. Ichthyofauna of the artificial reefs of the Algarve coast (Portugal). Exploitation strategies and management of local fisheries. Thèse Doctorat sciences de la mer, Université de l'Algarve, Portugal : 1-268.

ODY D., 1987. Les peuplements ichthyologiques des récifs artificiels de Provence (France, Méditerranée Nord-Occidentale). Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Aix-Marseille II : 1-183.

ODY D., 1990. Les récifs artificiels en France. Bilan ;analyse ;perspectives. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 114 (4) : 49-55.

ODY D. & HARMELIN J.G., 1994. Influence de l'architecture et de la localisation de récifs artificiels sur leurs peuplements de poissons en Méditerranée. *Cybium*, 18 (1) : 57-70.

WHITEHEAD P.J.P., BAUCHOT M.L., HUREAU J.C., NIELSEN J., TORTONESE E. eds., 1986. Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean. UNESCO, Paris. Vols. I, II and III : 1-173.