

Effet de la complexification de l'architecture des récifs artificiels du Parc national de Port-Cros (Méditerranée, France) sur les peuplements ichthyologiques

Eric CHARBONNEL¹, Denis ODY², Laurence LE DIREAC'H³

Résumé : Deux récifs artificiels de 16 et 19 modules de 1 m³ ont été immergés en 1985 dans la baie de La Palud (Port-Cros, Var, France), à 15 m (RA15) et 35 m (RA35) de profondeur. En 1997, l'architecture des récifs a été complexifiée en ajoutant des cassons de briques et de parpaings sur le récif à 15 m, alors que la structure tridimensionnelle du récif à 35 m a été modifiée en ajoutant un réseau de filières et de cordages déployé au-dessus du récif, jusqu'à 15 m de profondeur. Six séries d'inventaires visuels des poissons ont été réalisées en plongée entre 1997 et 1999, sur les deux récifs et deux zones rocheuses témoins. La modification du design des récifs se traduit par l'augmentation de la diversité spécifique et des densités des espèces benthiques et cryptiques dont les Scorpaenidae sur RA15 et une augmentation des espèces de pleine eau (planctonophages ou carnivores erratiques) sur RA35. La comparaison avec les relevés de 1988/1989 montre une augmentation du nombre d'espèces, des fréquences et des densités sur les récifs artificiels, qui traduit un effet de maturation à long terme ainsi qu'une meilleure efficacité sur les récifs que sur la roche.

Abstract: Two artificial reefs of respectively 16 and 19 modules of 1 m³ were submerged in La Palud bay in 1985 at 15 m (RA15) and 35 m (RA35) depth. Despite their small volume, both reefs constitute a well adapted experimental device for determining attractive effect on fish populations. In 1997, reefs architecture has been modified in order to analyse the influence of reefs modifications in global performances (species richness, abundance and biomass) and specific composition of populations. RA15 has been complexified by addition of bricks and breeze-blocks fragments. The tridimensional structure of the deepest reef (35 m) has been modified by ropes and mooring network deployed between RA35 and 15 m depth. An increase of specific diversity and density of benthic and cryptic species including Scorpaenids in RA15 and an increase of planktivorous and carnivorous erratic species in RA35 are attributed to the modification of design. A long term evolution has been demonstrated to occur by increasing in species number and densities at reefs level ten years after. Consequently, the carrying capacity of the reefs seems to be reached according to a slow colonization process. A better efficiency of reefs as compared to rocks has been attributed to availability of habitats of different sizes.

¹ : GIS Posidonie, Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'étude de l'environnement marin, Parc scientifique & technologique de Luminy, Case 901, 13288 Marseille Cedex 9. Tél. : 04.91.82.91.35. Fax : 04.91.41.12.65. E.mail : gis@com.univ-mrs.fr

² : WWF France

³ : GIS Posidonie ET UMR 6540 DIMAR, Centre d'Océanologie de Marseille, Parc scientifique & technologique de Luminy, Case 901, 13288 Marseille Cedex 9. Tél. : 04 91 82 91 35. Fax : 04.91.41.12.65. E.mail : ledireach@com.univ-mrs.fr

AVANT PROPOS

Deux petits récifs artificiels ont été immergés en 1985 dans les eaux du Parc National de Port-Cros (baie de La Palud). Ces récifs sont constitués d'un empilement ordonné de 16 et 19 modules cubiques de 1 m³, respectivement situés à 15 et 35 m de profondeur sur des fonds sableux, proches de zones rocheuses. Ces deux récifs, d'un volume trop restreint pour avoir un impact halieutique significatif, constituent en revanche un dispositif expérimental bien adapté pour étudier certains aspects du fonctionnement des récifs artificiels, notamment les différents facteurs qui déterminent leur pouvoir attractif sur les peuplements de poissons.

Dans cette optique, l'architecture des récifs a été complexifiée en 1997 et les objectifs de ce programme d'étude sont : (i) le suivi de l'évolution à long terme des peuplements de poissons des deux récifs artificiels et des deux zones rocheuses témoins, débouchant sur une comparaison avec les derniers relevés effectués 8 ans auparavant entre 1988/89 ; (ii) l'analyse de l'influence des modifications des récifs sur leurs performances globales (richesse spécifique, abondance et biomasse) et sur la composition spécifique des peuplements (quelles espèces sont favorisées par l'un ou l'autre type d'aménagement).

Le Parc National de Port-Cros a confié au GIS Posidonie le suivi scientifique des peuplements de poissons de La Palud durant une période couvrant trois années (1997-1999). Un état initial a été réalisé en été et automne 1997, suivi d'une modification de l'architecture des récifs (ajout de matériaux de petite maille sur le récif à -15 m, avec un apport trophique attendu et mise en place d'un réseau de filières sur une hauteur de 16 m sur le récif situé à -35 m). Suite à cette modification, les deux récifs et les deux zones rocheuses ont à nouveau été suivis durant l'hiver 1997, le printemps et l'automne 1998, et enfin le printemps 1999.

Ce travail présente l'ensemble des principaux résultats des suivis réalisés avant et après modification du *design* des récifs et intègre une discussion générale sur l'évolution à long terme des peuplements de poissons associés aux récifs expérimentaux du Parc National de Port-Cros.

INTRODUCTION

Généralités sur les récifs artificiels

Le concept des récifs artificiels est très ancien et a certainement été découvert et élaboré par les pêcheurs, qui constataient que leur pêche était bien plus importante au voisinage d'épaves de navires ou de structures qu'ils immergeaient volontairement. Un récif artificiel peut se définir comme « une structure immergée, placée délibérément sur le

fond pour mimer des caractéristiques des zones naturelles¹ ». Le récif, en créant une discontinuité physique sur le fond, entraîne une série de modifications physiques et biologiques du milieu. Le nouveau substrat disponible est rapidement colonisé par une multitude d'invertébrés, permettant l'installation de réseaux trophiques complexes, créant un nouvel « écosystème ». Dans un premier temps, les poissons sont attirés par cette nouvelle structure (effet d'agrégation liée à l'existence d'abris et de nourriture). Dans un second temps une production de biomasse (croissance, reproduction) est attendue.

On distingue généralement deux grandes catégories de récifs artificiels :

Les récifs de « production », qui visent un accroissement des ressources, et présentent une vocation halieutique, en vue d'une exploitation rationnelle par la pêche ;

Les récifs de « protection », à vocation plus écologique dont l'objectif est la protection d'habitats (*ex.* herbier de Posidonies, fonds coralligènes), ou la gestion des conflits entre pêcheurs (*ex.* récifs anti-chalutage).

Toutefois, la différence entre ces deux types de récifs reste assez théorique car de nombreux aménagements présentent une vocation multiple et fonctionnent à la fois en système de protection et de production.

Les aménagements côtiers en récifs artificiels concernent plus de 35 pays, les pôles principaux d'immersion de récifs étant le Japon (les récifs y sont à la fois une tradition séculaire et une véritable industrie, avec près de 20 millions de m³ immergés et un budget de 160 milliards de yen (SIMARD, 1995) pour le plan 1994-2000) et les USA (récifs à vocation récréative pour la pêche de loisir et la plongée). En Europe, si la France a eu l'initiative des immersions à grande échelle dans les années 1985, les récifs les plus importants ont été aménagés en Italie et en Espagne, grâce au soutien financier de la communauté européenne (50% des coûts). A titre d'exemple, les 33 000 m³ de récifs français représentent un investissement global de l'ordre de 17 MF depuis 1985, tandis qu'en Espagne plus de 250 MF ont été dépensés durant la seule période 1992-96.

En France, si les premières immersions ont débuté dès 1968, elles ne furent que des tentatives organisées à l'échelon local, sans concertation préalable et réalisées avec des matériaux de rebuts, souvent mal adaptés (*ex.* épaves de voitures, pneus). Ce n'est qu'à partir de 1985 que les pouvoirs publics français ont décidé d'organiser une véritable action nationale concertée, s'intégrant dans un programme de gestion de l'espace littoral et dans une stratégie de développement

¹ : Définition proposée par le Réseau européen de recherche sur les récifs artificiels (EARRN, colloque de Palma, 1996).

de la bande côtière, et incluant un suivi scientifique. Ce programme, ne concernant que la façade méditerranéenne, a consisté en l'immersion de plus de 33 000 m³, répartis dans la région Languedoc-Roussillon (14 500 m³), les départements des Bouches-du-Rhône (3 600 m³) et des Alpes-Maritimes (15 000 m³).

Les récifs artificiels du Parc National de Port-Cros

Deux petits récifs artificiels ont été immergés dans les eaux du Parc National de Port-Cros (Méditerranée, France, Var, baie de La Palud) en juin 1985. Ils sont constitués d'un empilement ordonné de 16 et 19 modules cubiques de 1 m³, respectivement situés à 15 et 35 m de profondeur sur des fonds sableux, à proximité de zones rocheuses et de l'herbier de Posidonie. Ces deux récifs, d'un volume trop restreint pour avoir un impact halieutique significatif, constituent en revanche un dispositif expérimental bien adapté pour étudier certains aspects du fonctionnement des récifs artificiels, notamment les différents facteurs qui déterminent leur pouvoir attractif sur les peuplements de poissons.

Ainsi, le cloisonnement *in situ* des modules récifaux inférieurs, réalisé assez simplement en 1988 à l'aide de plaques et de hourdis en béton, a entraîné une augmentation de 40 à 60% de la richesse spécifique moyenne, de 50 à 80% de l'abondance globale, et favorisé l'installation d'espèces présentant un intérêt commercial comme les Sparidae (ODY et HARMELIN, 1994). Ainsi, cette modification de l'architecture des récifs a permis de démontrer l'existence d'une corrélation positive entre le nombre d'espèces et leur abondance et la complexité de la structure tridimensionnelle du récif.

Ces effets positifs sur les peuplements de poissons résultent le plus probablement d'une mise à disposition d'abris nouveaux imitant les habitats naturels (ragues, petites cavités des zones rocheuses) et d'une augmentation de la ressource trophique disponible, consécutive à l'augmentation des surfaces développées du récif, colonisables par la faune et la flore benthique. L'influence respective de ces deux processus n'a cependant pas été déterminée.

Objectifs de la présente étude

Deux suivis scientifiques sur la colonisation des récifs artificiels de Port-Cros par l'ichtyofaune ont été réalisés entre 1986 et 1987 (ODY, 1987) et entre 1988 et 1989 (ODY, 1990 ; ODY et HARMELIN, 1994). Ces suivis ont montré l'efficacité des récifs artificiels au niveau des possibilités d'enrichissement d'un milieu naturellement peu productif (fonds sableux). En effet, les peuplements ichtyologiques imitent assez bien ceux des zones rocheuses naturelles voisines et montrent même des densités et des biomasses plus élevées.

Au cours de l'année 1997, le Parc National de Port-Cros a demandé un nouveau suivi scientifique des peuplements de poissons des récifs artificiels et des zones rocheuses témoins de la baie de La Palud. Ce suivi, réalisé en plongée, est réparti sur une période couvrant trois

années (1997-1999), avec un état préliminaire des peuplements de poissons (été et automne 1997), suivi d'une modification de l'architecture des récifs (ajout de matériaux de petite maille sur le récif à -15 m et mise en place d'un réseau de filières sur une hauteur de 16 m sur le récif situé à -35 m). Suite à cette modification, les deux récifs et les deux zones rocheuses ont à nouveau été suivis durant l'hiver 1997, le printemps et l'automne 1998, enfin le printemps 1999.

Les objectifs de ce nouveau programme d'étude sont de préciser et de comparer les influences respectives sur les peuplements de poissons :

(i) d'une nouvelle complexification de la structure tridimensionnelle des récifs (« effet habitat »);

(ii) d'une augmentation de la ressource trophique disponible sur les récifs (« effet trophique »).

Incidemment, ce programme devrait permettre de tester des moyens simples et peu coûteux permettant d'améliorer l'efficacité biologique des récifs artificiels, pouvant être applicables aussi bien sur les récifs existants (33 000 m³ en Méditerranée française), mais également pour l'optimisation des futurs aménagements.

L'impact respectif des deux types de modifications des récifs a été évalué en comparant les peuplements de poissons de chaque récif, avant et après modification. Les inventaires réalisés sur les zones naturelles rocheuses voisines ont également fourni des éléments de comparaison. Les principaux résultats attendus de ce programme expérimental sont les suivants :

- Poursuite du suivi et de l'analyse des phénomènes de colonisation à long terme par l'ichtyofaune des deux récifs artificiels et des deux zones rocheuses, débouchant sur une comparaison avec les derniers relevés d'octobre 1989 (ODY, 1990 ; ODY et HARMELIN, 1994). Un processus de maturation des peuplements est attendu (*in* CHARBONNEL et FRANCOUR, 1994 ; CHARBONNEL *et al.*, 2000).

- Analyse de l'influence des modifications des récifs sur leurs performances globales (nombre d'espèces, abondance et biomasse) et sur la composition spécifique des peuplements de poissons (quelles espèces sont favorisées par l'un ou l'autre type d'aménagement).

- Amélioration des connaissances sur les facteurs déterminant le pouvoir attractif des récifs, en particulier la fonction d'abri ("effet refuge", *in* CHARBONNEL *et al.*, 2000) et la fonction trophique.

MATERIEL ET METHODES

Description du site et des stations d'étude

Comme il a été évoqué sommairement en introduction, deux petits récifs artificiels expérimentaux ont été immergés en 1985 dans les eaux du Parc National de Port-Cros (baie de la Palud, au Nord de l'îlot du

Rascas), à -15 et -35 m de profondeur (Fig. 1). Ces deux récifs, d'un volume réduit, sont constitués par un empilement de petits modules cubiques en béton de 1 m³ : 16 modules à -15 m et 19 modules à -35 m. Ces modules cubiques constituent un cube creux de 1 m de côté, matérialisé par des arêtes de 1 m de long et de 10 cm de section. Le poids de ces modules est de 260 kg pour une surface développée de 4 m² (Fig. 2).

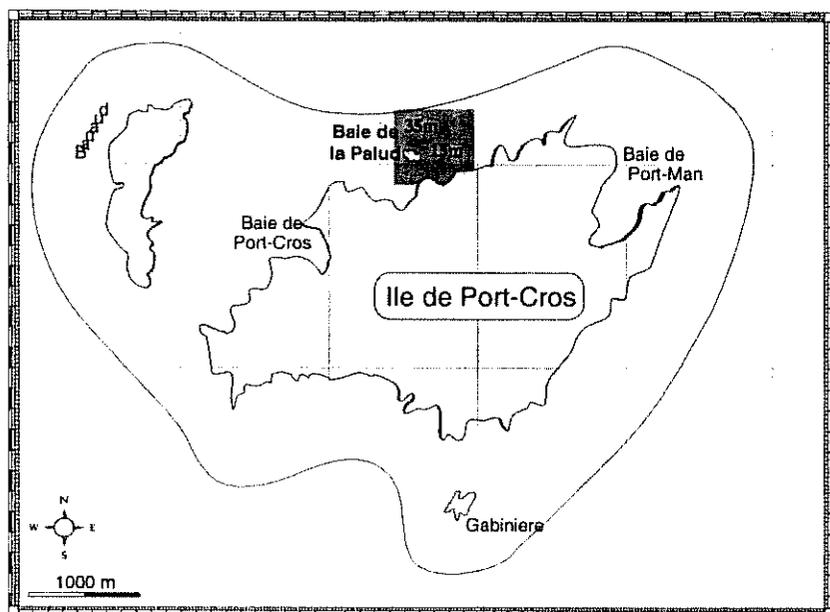


Fig. 1 : Localisation des stations étudiées (couple récif artificiel + zone rocheuse témoin à 35 m et couple récif artificiel + zone rocheuse témoin à 15 m de profondeur), au large de la Baie de La Palud (Parc National de Port-Cros).

Au voisinage de ces récifs, deux zones rocheuses ont été choisies pour les inventaires et servent de zones témoin, notamment pour la prise en compte des fluctuations saisonnières. Les stations sur roche sont échantillonnées sur 80 m² (transect de 20 m de long par 4 m de large) et sont balisées de manière permanente (petites bornes de géomètre et piquets métalliques surmontés d'un flotteur). A -15 m de profondeur, la dorsale rocheuse considérée est proche du récif artificiel (distance de moins de 10 m) et remonte progressivement de -15 m à -8 m. Cette zone présente de nombreuses petites failles sur une hauteur de 50 cm à 1 m. D'autres reliefs rocheux existent également à proximité de la roche étudiée, certains affleurant même la surface. A -35 m, la dorsale rocheuse est plus éloignée du récif (environ 30 à 40 m de sable) et elle remonte jusqu'à -24 m à l'extrémité du transect. L'herbier de Posidonie est présent et jouxte ces 2 zones de roches.

Déroulement du programme

Le peuplement ichthyologique de ces récifs et des deux roches avoisinantes a été étudié par ODY (1987) entre avril 1986 et février 1987 (**phase 1**). En mai 1988 près de 5 tonnes d'éléments ont été installés par des plongeurs (Denis ODY, Jean-Georges HARMELIN et Eric CHARBONNEL) à l'intérieur des récifs et de nouveaux comptages ont été effectués d'octobre 1988 à octobre 1989 (**phase 2**, ODY, 1990). Cette modification de l'architecture interne des récifs a accru sa complexité, augmentant significativement la richesse en espèces (40 à 60% pour la richesse moyenne) ainsi que la fréquence et l'abondance globale (50 à 80%). Cette modification s'est avérée particulièrement bénéfique aux Sars (*Diplodus spp.*), alors que le peuplement des roches voisines ne s'est pas modifié (ODY, 1990 ; ODY et HARMELIN, 1994).

La **troisième phase** engagée ici a pour but d'aménager différemment les deux structures récifales : le récif le moins profond a été complexifié en ajoutant *in situ* de la « maille fine » : des cagettes de cassons de briques et de parpaings et divers débris solides permettant un apport trophique ; le récif le plus profond, en ajoutant des filières et cordages au-dessus du récif. L'objectif général étant d'augmenter la complexité architecturale des récifs sans que leur volume global et leur surface au sol soient modifiés. Ce présent programme, réparti sur une durée de 3 années, comprend les étapes suivantes :

- Première étape :

Une série d'inventaires visuels a été réalisée en plongée durant une semaine en juillet et en septembre 1997 sur les deux récifs et les deux zones rocheuses voisines (secteurs témoins). Ce suivi permet d'une part, d'évaluer plus de huit ans après les derniers suivis (ODY, 1990 ; ODY et HARMELIN, 1994) l'évolution temporelle des peuplements de poissons, et d'autre part de définir un nouveau point de référence avant la modification de l'architecture des récifs.

- *Deuxième étape*: modification *in situ* de l'architecture des deux récifs en septembre 1997 :

(i) Pour le récif situé à -15 m : augmentation de la ressource trophique du récif par la mise en place de 32 cagettes remplies de cassons et de morceaux de briques et parpaings. Les travaux de DUVAL *et al.* (1982) et DUVAL (1983) sur des récifs expérimentaux dans le golfe de Marseille ont montré que la mise à disposition de ces micro-habitats entraîne une augmentation de la diversité et de l'abondance des proies (petite faune vagile en particulier) disponibles pour les poissons se nourrissant sur le récif. Les résultats de ces travaux nous fourniront une bonne estimation qualitative et quantitative de cet apport trophique.

(ii) Pour le récif situé à -35 m : complexification de sa structure tridimensionnelle par la création d'un réseau de filières de sub-surface déployées au dessus du récif. Ces cordages, dont la flottabilité est assurée par des bouées, s'étendent sur la totalité du récif (emprise au sol de 16 m?), depuis son sommet à -31 m jusqu'à une profondeur de -15 m au maximum. Ces filières ne constituent donc pas une gêne à la navigation.

- *Troisième étape* : une nouvelle série d'inventaires visuels a été réalisée les jours suivant l'aménagement des récifs, puis quatre autres séries de comptages ont été effectuées : novembre 1997 (hiver), mai 1998 (printemps), octobre 1998 (automne) et juin 1999 (printemps). L'échantillonnage durant les périodes chaudes et froides a permis de couvrir un cycle annuel complet.

Les 6 missions de terrain représentent chacune une durée de 3 à 5 jours environ, avec deux plongées par jour et par observateur. Au total, 187 comptages ont été effectués sur les 4 stations étudiées :

- Mission été 1997 : du 2 au 4 juillet (D. ODY & L. LE DIREAC'H), 24 comptages ;
- Mission automne 1997 : du 24 au 30 septembre (E. CHARBONNEL, D. ODY et L. Le DIREAC'H), 47 comptages ;
- Mission hiver 1997 : du 11 au 13 novembre (D. ODY et L. LE DIREAC'H), 18 comptages ;
- Mission printemps 1998 : du 28 au 30 mai (E. CHARBONNEL et L. Le DIREAC'H), 40 comptages ;
- Mission automne 1998 : du 8 au 10 octobre (E. CHARBONNEL, D. ODY et L. LE DIREAC'H), 54 comptages ;
- Mission printemps 1999 : 1^{er} juin (E. CHARBONNEL et L. Le DIREAC'H), 4 comptages⁵;

Modification de la structure des récifs

Récif à -15 m (RA15)

Des cagettes remplies de cassons de ciment, de céramiques, de tuiles et de parpaings ont été déposées en plongée sur les dalles en béton à l'intérieur du récif, au niveau 0 et au 1^{er} étage du récif, à raison d'1/3 de ciment-céramique, 1/3 de tuiles et 1/3 de parpaings, disposées en 3 secteurs différenciés. Au total, 32 cagettes ont été installées (Tabl. I) : 9 cagettes contenant des débris de tuiles (5 cagettes au niveau 0 du récif, 4 cagettes au 1^{er} étage du récif), 12 cagettes contenant des morceaux de briques (7 cagettes au niveau 0, 5 cagettes au 1^{er} étage), enfin 11 cagettes contenant des débris de parpaings (6 cagettes au niveau 0, 5 cagettes au 1^{er} étage).

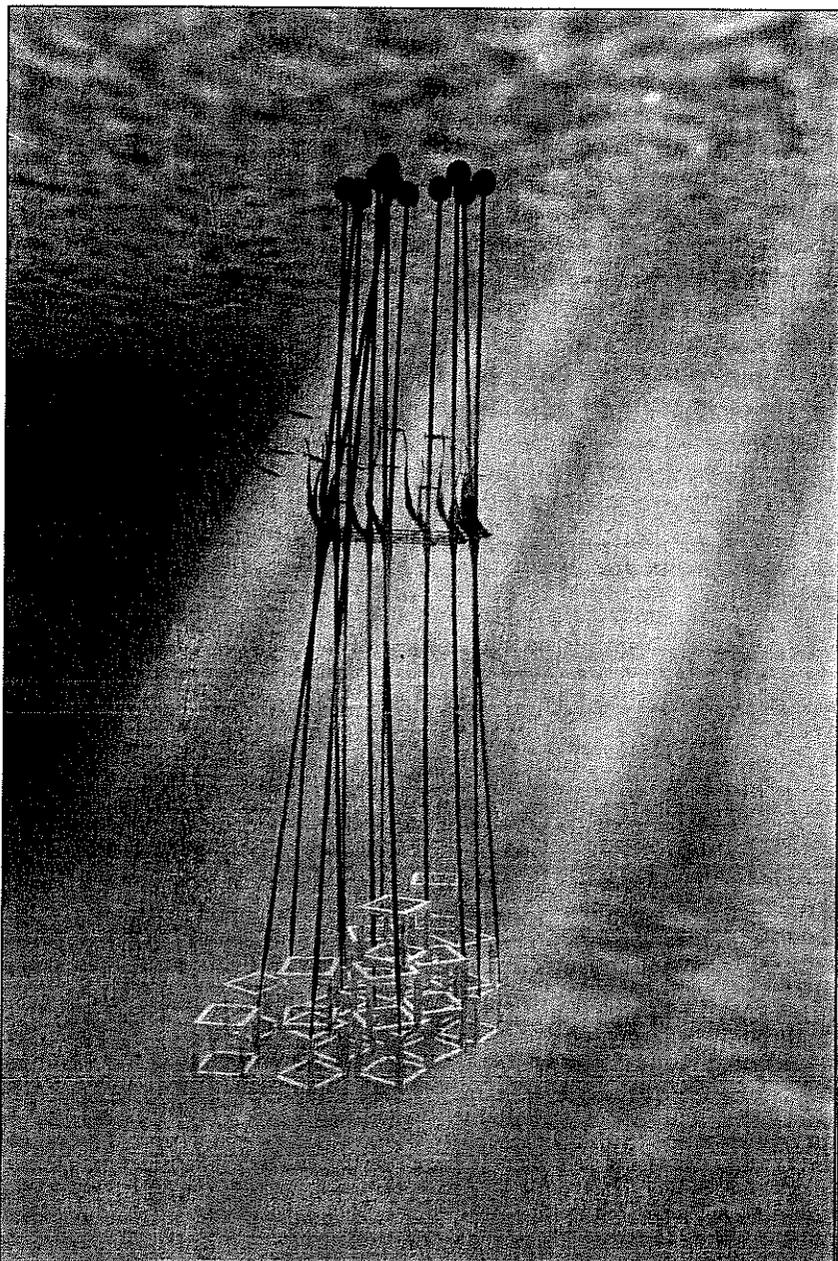


Fig. 2 : Représentation en 3 dimensions du récif artificiel expérimental de Port-Cros, situé à 35 m de profondeur et visualisation de l'aménagement des filières (© Y. Coquillard/GIS Posidonie).

La dimension des cagettes est de 50 cm x 30 cm ; elles ont été remplies de cassons sur une hauteur de 15 cm environ. Au total, le volume ajouté est d'environ 720 litres, soit moins de 5% du volume total du récif (16 m³).

Récif à -35 m (RA35)

La pose de filières et tubulures légères visant à créer un dispositif attractif pour les poissons de pleine eau a été réalisée, au-dessus du récif. Les filières sont en cordage marine nylon d'environ 8 mm de diamètre et sont accrochées à la partie supérieure des modules, soit à la base du récif (-35 m), soit au sommet du récif à environ -31 m. Au total, 24 filières ont été disposées (Tabl. 1), elles sont soutenues par 12 bouées de 3 litres, situées à une profondeur de -15 m (sommet de l'aménagement).

A la profondeur de 22 m, des entretoises (6 gaines en PVC de 3 m de longueur) ont été disposées horizontalement pour empêcher aux cordages de s'emmêler, créant un plan constitué de tubulures sur lesquelles sont fixés une cinquantaine de bouts d'environ 1.5 m de longueur, flottant librement dans l'eau. Le niveau des entretoises matérialise une séparation visuelle entre un compartiment supérieur où sont fixées les bouées et un compartiment inférieur situé au-dessus du récif (Fig. 2).

Tableau 1 : Description des aménagements successifs réalisés sur les récifs artificiels de Port-Cros, avec le type et le nombre des éléments ajoutés. La phase 3 correspond au présent travail. N = nombre. - = impossible à calculer.

	RA15			RA35		
	phase 1	phase 2	phase 3	phase 1	Phase 2	Phase 3
N cubes	16	16		19	19	
N plaques	0	24		0	26	
N hourdis	0	35		0	55	
Surface développée (m ²)	77	137	-	91	169	169
Volume développé (m ³)	16	16	16.72	19	19	144
Accroissement surface ou volume		77.9%	4.5%		85.7%	657%

Acquisition des données biologiques

Depuis la mise au point de la méthode par BROCK (1954) sur les récifs coralliens d'Hawaii, les comptages visuels² en plongée sous-

² : Les évaluations visuelles en plongée sous-marine comportent un certain nombre de biais, synthétisés par HARMELIN-VIVIEN *et al.* (1985) : les sources d'erreurs proviennent à la fois de l'observateur (le plongeur scientifique), de l'observé (le poisson) 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 par pêche, qui laissent croire à une plus grande précision (HARMELIN-VIVIEN *et al.* 1985). Les comptages en plongée permettent d'échantillonner aussi bien les espèces à domaine vital étendu (Sars, Denti, Daurade) ou à plus faible déplacement spatial, inféodées au récif (Labres, Serrans), que les espèces cryptiques du récif (Congre, Rascasses). Les relevés visuels constituent toutefois un compromis, car la totalité du peuplement ne peut être prise en compte

marine des peuplements ichthyologiques sont largement utilisés à travers le monde. En Méditerranée, la plupart des travaux réalisés concernent les zones naturelles : substrats rocheux et herbier de Posidonie (ex. HARMELIN-VIVIEN *et al.*, 1985 ; HARMELIN, 1987, 1990 ; FRANCOUR, 1994 ; GARCIA-RUBIES et Mac PHERSON, 1995). Récemment, plusieurs équipes de recherche en Méditerranée ont adapté ces techniques de comptages sur les récifs artificiels (*in* CHARBONNEL *et al.*, 1997).

Le protocole de comptage tient avant tout compte du comportement des différentes espèces rencontrées (mobilité, domaine vital, rapports avec le substrat), de leurs tailles et densités moyennes (individus isolés ou en groupes) et de l'architecture du récif (nombre de modules, dimensions). Les espèces à domaine vital étendu, très mobiles et difficiles d'approche (Sars, Daurades, Dentis) sont comptées en premier, dès l'arrivée des plongeurs sur le récif. Les espèces vivant à l'intérieur (Congres, Apogons) ou à proximité immédiate du récif (Labres, Serrans) sont ensuite dénombrées, face par face, en tournant autour du récif. Enfin, les espèces benthiques vivant en contact sur le récif (Rascasses, Blennies, Gobies) sont répertoriées en explorant méticuleusement les cavités et la zone interne du récif, par un tour complet et plusieurs déplacements en zigzags au dessus du récif. Les abondances des espèces grégaires de pleine eau peu craintives qui forment parfois un véritable nuage au dessus des récifs (ex. Bogues, Mendoles, Castagnoles) sont estimées en dernier. Toutefois, la forte abondance de ces espèces planctonophages peut masquer l'importance des autres espèces présentes et l'interprétation des résultats doit en tenir compte.

A Port-Cros, deux à trois observateurs différents ont réalisé les comptages, selon un protocole de déplacement répliqué strictement à chaque inventaire : tous les individus présents ont été comptabilisés sur l'intégralité du récif et le long du transect pour chaque zone rocheuse, durant une période de 15 à 35 minutes. Sur les récifs, chaque plongeur réalise une rotation dans le sens inverse de celle effectuée par le deuxième plongeur. Sur les roches, les transects sont parcourus par les deux plongeurs qui évoluent côte à côte. La gêne est ainsi minimale et la probabilité d'observer un poisson craintif ou peu visible (espèces cryptiques) est augmentée. Les stations étant dénombrées simultanément par deux ou trois observateurs au cours de la même plongée, les données sont considérées comme échantillons indépendants. Dans ce cas, une comparaison statistique lors du traitement des données validera l'homogénéité des résultats. Tous les inventaires pris en compte ont été réalisés avec une visibilité en plongée supérieure à 3 m, soit la distance minimale définie par De MARTINI *et al.* (1989) pour effectuer des comptages représentatifs.

Inventaires qualitatifs

Plusieurs paramètres sont pris en considération par l'étude de la composition spécifique du peuplement ichthyologique des récifs artificiels :

- Richesse spécifique totale (nombre total d'espèces rencontrées par station lors de l'ensemble des comptages) ;
- Richesse spécifique moyenne (nombre moyen d'espèces observées par station et par comptage) ;
- Fréquence de présence des espèces (pourcentage de relevé où l'espèce considérée est rencontrée).

Les fréquences de présence sont calculées par espèce ; elles représentent le pourcentage de relevés où l'espèce est rencontrée, pour chaque récif suivi. Quatre classes de fréquence sont considérées : classe I = 75% à 100% (espèces permanentes des récifs) ; classe II = 50% à 75% (espèces fréquentes) ; classe III = 25% à 50% (espèces occasionnelles) ; classe IV = 0% à 25% (espèces rares). L'importance relative de chacune de ces classes permet d'estimer la variabilité temporelle du peuplement ichthyologique et constitue un bon indicateur de stabilité de ce peuplement (ODY et HARMELIN, 1994, CHARBONNEL *et al.*, 1997), ou *a contrario* d'instabilité si la proportion en espèces rares est importante (*turn-over* important).

Inventaires quantitatifs

(i) *Densités*. Les densités (ou abondances) sont exprimées en nombre d'individus par m² sur les récifs (échantillons de 56 m²) et sur les roches (échantillons de 80 m²). Il faut préciser que la densité est généralement exprimée sur les récifs artificiels par unité de volume (m³) et non de surface. Toutefois, comme lors des suivis précédents, le m² a été utilisé, afin que les données soient comparables avec les zones rocheuses. Le nombre des individus présents est dénombré de façon directe jusqu'à 10 individus, puis pour les espèces groupées en bancs, est estimé selon une cotation d'abondance³ proche d'une progression géométrique de base 2 (HARMELIN-VIVIEN et HARMELIN, 1975) : 11-30 / 31-50 / 51-100 / 101-200 / 201-500 / plus de 500. Les densités sont calculées à partir de la moyenne arithmétique de chaque limite de classe (ex. 11-30 = 20). La cotation utilisée repose sur la connaissance préalable de l'éthologie des poissons étudiés ; les classes correspondent généralement à la taille des différents groupements de poissons les plus souvent rencontrés (HARMELIN-VIVIEN et HARMELIN, 1975).

(ii) *Taille*. Pour l'estimation de la taille du poisson, trois catégories sont généralement retenues : Petit, Moyen et Gros (BAYLE-SEMPERE

³ : 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 par comptage direct.

et al., 1994 ; CHARBONNEL et FRANCOUR, 1994). Ces catégories, adaptées à chaque espèce, sont déterminées par rapport à la taille maximale atteinte (L. MAX) citée dans la littérature (BAUCHOT et 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).

(iii) *Biomasse*. A partir des données de comptages *in situ*, fournies par les densités et tailles des poissons, 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 (P, M, G), un poids moyen est calculé ; ce poids correspond à la moyenne arithmétique des limites de classe de taille (DEVAUX et MILLERIOUX, 1976 ; HARMELIN-VIVIEN et al., 1985). La plupart des relations taille-poids disponibles proviennent des espèces de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Pour les décideurs en matière d'aménagement du littoral en récifs artificiels, les biomasses représentent la véritable "dimension économique" de l'ichtyofaune présente sur les récifs. Néanmoins, il convient d'interpréter les valeurs de biomasses avec prudence et de considérer qu'elles représentent plutôt un ordre de grandeur et ne sont données qu'à titre indicatif.

Traitement des données

Les données de bases (abondances pour chaque espèce présente) des différents comptages des assemblages de poissons ont été saisies sous le logiciel tableur © Excel et les différents tests statistiques ont été réalisés sous le logiciel © Statistica. L'ensemble des 48 espèces de poissons rencontrées entre 1997 et 1999 sur les récifs et zones rocheuses a été considéré, avec pour chaque espèce, l'abondance des 3 classes de tailles (petit, moyen et gros) et le nombre total d'individus.

Pour les calculs des densités et biomasses, des regroupements ont été réalisés pour les principaux compartiments du peuplement (**total des espèces, total sans les planctonophages, espèces d'intérêt commercial** pour la pêche), mais également par familles (**Sparidae** (Sars), **Labridae** (Labres), **Scorpaenidae** (Rascasses), ou par catégories et groupes d'espèces « cibles » : espèces **planctonophages** (Bogues, Mendoles et Castagnoles), espèces **erratiques** (Daurade, Denti, Pagre, Mulet, Sériole), espèces **benthiques** (Gobies, Blennies), espèces **cryptiques** utilisant le récif comme abri (Gobies, Blennies, Congre, Murène, Apogon et les Rascasses) et appartenant à la catégorie 6 définie par HARMELIN (1987).

Les comptages étant réalisés par deux ou trois observateurs différents, il était nécessaire de s'assurer de la validité des comptages et de la représentativité des données de chaque observateur. Aussi, le nombre moyen d'espèce par relevés et les données de densités et de biomasse pour les principales composantes de ce peuplement pour chaque station ont été comparées par paires pour toutes les stations, afin de tester la reproductibilité des comptages. Pour cela, un test

statistique de comparaison d'échantillons appariés a été réalisé (test non paramétrique de Wilcoxon, préféré au classique "test des signes" moins précis pour de petits échantillons, *in* ZAR, 1984). Les résultats montrent une différence significative pour le nombre moyen d'espèces par relevé entre les trois observateurs (différence sur les 3 paires, Tabl. II), essentiellement obtenue du fait des espèces cryptiques peu accessibles (Gobies, Blennies). Une différence existe également pour les densités des espèces planctonophages, ce qui est assez logique. En effet, les espèces de pleine eau (Castagnoles, Bogues et Mendoles) sont très difficiles à quantifier avec précision, du fait de leur nombre généralement élevé (plusieurs centaines d'individus) et leur répartition en nuage au dessus des récifs, parfois à une distance lointaine. De ce fait, des différences sont souvent observées entre observateurs, même très expérimentés. C'est la raison pour laquelle les espèces pélagiques sont souvent traitées à part dans les comptages. En revanche, il n'existe pas de différence pour les autres compartiments testés (densité totale, densité sans les planctivores, Sparidae, Labridae, Tab. II).

Tableau II : Résultats du test statistique de Wilcoxon sur les comparaisons des valeurs de densités et du nombre d'espèces entre les trois observateurs (E, D, L), sur l'ensemble des stations. Les valeurs de T observé et de Z sont données. P=risque de première espèce. NS=différence non significative, **=différence hautement significative au seuil de 1%.

Paramètre	Observateurs	Valeur de T	Valeur de Z	P	Résultat
Nombre espèces	E-D	130.5	3.33	0.00086	**
	E-L	23	4.51	0.000007	**
	D-L	43.5	3.04	0.0023	**
Densité totale	E-D	321	0.717	0.473	NS
	E-L	303	0.732	0.464	NS
	D-L	149	0.673	0.501	NS
D.tot – planctivore	E-D	365	0.605	0.545	NS
	E-L	162.5	2.85	0.0043	**
	D-L	140	1.177	0.239	NS
Sparidae	E-D	315	0.805	0.4209	NS
	E-L	149	1.940	0.0524	NS
	D-L	153	0.255	0.798	NS

Pour toutes les analyses effectuées (comparaisons des récifs et zones rocheuses naturelles; analyse de l'évolution des peuplements), les comparaisons des moyennes ont été effectuées à l'aide du test de test⁴ de Kruskal-Wallis, qui est l'analogue de l'analyse de la variance destinée aux données quantitatives normales. Il permet de déceler une hétérogénéité au sein du groupe d'échantillons (les stations).

⁴ : Ce test de comparaisons multiples de Kruskal - Wallis permet de dire s'il existe une différence significative entre les moyennes de plusieurs échantillons. Si l'hypothèse nulle (égalité des moyennes) est rejetée (hypothèse H1 acceptée avec un risque de première espèce p, supérieur à 1% (hautement significatif) ou 5% (significatif), le test non paramétrique de Newman-Keuls-Student, abrégé test NKS, permet de rechercher les moyennes des variables différant entre elles, en remplaçant les moyennes par la somme des rangs (ZAR, 1984).

En outre, une analyse en composantes principales a été réalisée. L'ACP avec éléments supplémentaires est une méthode d'analyse de données multifactorielles qui permet une projection simplifiée d'un problème multidimensionnel. Le chercheur qui observe un grand nombre de descripteurs pour chacun des objets étudiés (station, individus, etc.) cherche généralement à dégager les grandes tendances de la variabilité de son échantillon et à mettre à jour les facteurs principaux intervenant dans cette variabilité. La plupart du temps, une représentation graphique multidimensionnelle représentant tous les descripteurs par autant d'axes qu'il y a de descripteurs est impossible à illustrer. Ainsi, pour les besoins de l'analyse, on cherchera les projections de ces descripteurs dans des plans les plus intéressants possibles. Ces nouveaux axes permettent de représenter de façon optimale, dans un espace de dimension réduite, l'ensemble de la variabilité de la matrice multidimensionnelle des données. L'analyse en composantes principales peut comporter des éléments supplémentaires. Les éléments supplémentaires sont des variables ne rentrant pas en compte lors du calcul de l'ACP, mais étant représentés dans les graphiques de l'ACP. Cela permet de situer ces variables dans le plan factoriel. L'ACP avec éléments supplémentaires est utilisée pour classer les variables décrivant la profondeur, la saison, le type de substrat (récif artificiel ou zone rocheuse) et les modifications du substrat. Cette analyse est réalisée à l'aide du logiciel © ADE-4.

RESULTATS

Aspects qualitatifs des peuplements de poissons

Composition et richesse spécifique. Variations selon les stations

La composition spécifique (nombre total d'espèces présentes) et la richesse spécifique moyenne (nombre d'espèces par relevé) pour les 4 stations (récifs et zones rocheuses) échantillonnées durant trois ans à Port-Cros (1997-99) sont détaillées dans les tableaux III et IV. Au total, sur les 187 plongées-comptages prises en compte, 48 espèces de poissons appartenant à 16 familles ont été observées sur l'ensemble des stations (Tabl. III).

Sur ces 16 familles, seulement 7 d'entre-elles sont représentées par plus de deux espèces : Sars (Sparidae), Labres (Labridae), Rascasses (Scorpaenidae), Serrans (Serranidae), Blennies (Blenniidae), Gobies (Gobiidae) et Tryptéridion (Trypterigiidae). Pratiquement la moitié des espèces rencontrées (21 sur 48) présentent un intérêt commercial pour la pêche. Les Sparidae dominent le peuplement (12 espèces sur 48 soit 25% des espèces, photo), avec les Labridae (13 espèces, soit 27%). Au total, l'assemblage Sparidae/

Labridae regroupe 42% du stock spécifique global. Cette dominance est classique et caractéristique des peuplements de poissons littoraux méditerranéens, aussi bien au niveau des récifs artificiels (30 à 54% *in* ODY, 1987 ; CHARBONNEL, 1989 ; ODY et HARMELIN, 1994 ; CHARBONNEL et FRANCOUR, 1994 ; COLLART et CHARBONNEL, 1998 ; CHARBONNEL et SERRE, 1999) que sur les zones rocheuses naturelles. Ainsi à Port-Cros, l'assemblage Sparidae/Labridae constitue 45% du nombre d'espèces sur les roches coralligènes profondes (HARMELIN, 1990) et 47% sur les petits fonds rocheux (-10 à -15 m ; HARMELIN, 1987).

Sur les 48 espèces observées, plus de la moitié (25) sont communes aux 4 stations (Tabl. III). A l'opposé, certaines espèces sont beaucoup plus sporadiques et exclusives et n'ont été rencontrées que dans une des 4 stations. Ainsi le Pagre (*Pagrus pagrus*), le Corb (*Sciaena umbra*) et la Rascasse brune (*Scorpaena porcus*) sont exclusivement présents sur le RA15. Le Denti (*Dentex dentex*) et la Blennie Cabot (*Parablennius gattorugine*) sont uniquement rencontrés sur RA35, tandis que le Labre de Roissal (*Symphodus roissali*) est seulement présent sur les roches à -15 m.

Tableau III : Composition spécifique de l'ichtyofaune (espèce, nom vernaculaire) et fréquence de présence (en pourcentage) de chaque espèce recensée sur les différentes stations (récifs artificiels : RA35, RA15 ; zones rocheuses : ROC35, ROC15) échantillonnées à Port-Cros entre 1997/1999. Les principales espèces d'intérêt commercial sont indiquées en gras (d'après VIETTI et al., 1985 et CAMPILLO, 1992). Tro. = catégorie trophique (d'après BELL et HARMELIN-VIVIEN, 1983) ; Ma = Macrophage, Mi = Microphage (planctonophage), M1 = Mésophage 1, M2 = Mésophage 2, He = Herbivore. Cat. = catégorie d'organisation spatiale, de 1 à 6 d'après HARMELIN, 1987 (cf. Tabl. IV).

Espèces	Tro	Cat	RA 35	RA 15	ROC 35	ROC 15
<i>Boops boops</i> (Bogue)	Mi	1	73	16	32	12
<i>Diplodus annularis</i> (Sparaillon)	M2	3	92	53	20	20
<i>Diplodus puntazzo</i> (Charax)	M2	3	33	31	25	10
<i>Diplodus sargus</i> (Sar commun)	M2	3	41	88	41	50
<i>Diplodus vulgaris</i> (Sar à tête noire)	M2	3	94	98	95	76
<i>Oblada melanura</i> (Oblade)	M2	1	10	47	0	32
<i>Sarpa salpa</i> (Saupe)	He	3	14	35	50	61
<i>Sparus aurata</i> (Daurade)	Ma	3	16	24	2	5
<i>Pagrus pagrus</i> (Pagre)	Ma	3	0	6	0	0
<i>Dentex dentex</i> (Denti)	Ma	3	2	0	0	0
<i>Pagellus acarne</i> (Pageot)	M2	3	0	8	0	2
<i>Spondyliosoma cantharus</i> (Canthare)	M2	3	12	63	14	50
<i>Mugil sp.</i> (Mulet)	Mi	1	0	0	2	7
<i>Chromis chromis</i> (Castagnole)	Mi	2	100	100	100	100
<i>Spicara maena</i> (Mendole)	Mi	1	86	37	61	17
<i>Spicara smaris</i> (Jarret)	Mi	1	16	10	14	5
<i>Mullus surmuletus</i> (Rouget)	M2	4	31	27	73	37
<i>Scorpaena notata</i> (Petite rascasse)	Ma	6a	27	39	0	0
<i>Scorpaena porcus</i> (Rascasse brune)	Ma	6a	0	6	0	0

<i>Scorpaena scrofa</i> (Chapon)	Ma	6a	18	82	0	0
<i>Anthias anthias</i> (Barbier)	Mi	2	98	8	73	0
<i>Serranus cabrilla</i> (Serran chèvre)	Ma	5	100	98	98	95
<i>Serranus scriba</i> (Serran écriture)	Ma	5	0	31	7	83
<i>Coris julis</i> (Girelle)	M1	5	100	100	100	100
<i>Thalassoma pavo</i> (Girelle royale)	M1	5	0	4	0	12
<i>Labrus bimaculatus</i> (Coquette)	M1	5	35	6	5	0
<i>Labrus merula</i> (Merle)	M1	5	0	22	0	17
<i>Labrus viridis</i> (Labre vert)	M1	5	6	24	0	10
<i>Symphodus cinereus</i> (Labre cendré)	M1	5	16	12	0	12
<i>Symphodus doderleini</i> (Labre de Doderlein)	M1	5	39	16	84	46
<i>Symphodus ocellatus</i> (Labre ocellé)	M1	5	29	55	36	78
<i>Symphodus mediterraneus</i> (Labre méditerranéen)	M1	5	100	94	95	90
<i>Symphodus melanocercus</i> (Labre nettoyeur)	M1	5	67	88	89	39
<i>Symphodus rostratus</i> (Sublet)	M1	5	2	14	23	17
<i>Symphodus tinca</i> (Rouquié)	M1	5	71	100	98	98
<i>Symphodus roissali</i> (Labre de roissal)	M1	5	0	0	0	10
<i>Conger conger</i> (Congre)	Ma	6b	16	18	9	0
<i>Muraena helena</i> (Murène)	Ma	6b	0	22	0	50
<i>Sciaena umbra</i> (Corb)	M2	5	0	59	0	0
<i>Seriola dumerilii</i> (Sériole)	Ma	1	0	4	0	15
<i>Apogon imberbis</i> (Apogon)	Mi	6b	25	94	7	10
<i>Parablennius gattorugine</i> (Cabot)	M2	6a	2	0	0	0
<i>Parablennius rouxi</i> (Blennie de Roux)	M2	6a	59	84	80	63
<i>Gobius luteus</i> (Gobie jaune)	M2	6a	8	39	75	2
<i>Gobius geniporus</i> (Gobie joue poreuse)	M2	6a	98	12	16	0
<i>Pseudaphya ferreri</i> (Gobie pélagique)	M2	6a	12	8	11	0
<i>Tripterygion delaisi</i> (Tripterygion)	M2	6a	10	80	5	32
<i>Tripterygion melanurus</i> (Tripterygion tacheté)	M2	6a	8	8	2	7
Nombre total d'espèces = 48			37	44	32	36

A noter également un effet de la profondeur sur la composition du peuplement pour 5 autres espèces qui ne sont présentes qu'à -15 m (ROC15 et RA15) : Sériole (*Seriola dumerilii*), Pageot (*Pagellus acarne*), Murène (*Muraena helena*), labre Merle (*Labrus merula*) et Girelle paon (*Thalassoma pavo*). Enfin, deux espèces n'ont été observées que sur les récifs (Chapon *Scorpaena scrofa* et Rascasse *S. notata*) ; à l'inverse, le Mulet (*Mugil sp.*) n'a été rencontré que sur les roches (Tabl. II)

Les espèces telles que Denti, Pagre, mais également Sériole, Daurade, Mulet, rencontrées sporadiquement sont considérées comme erratiques et rares sur les récifs artificiels. Certaines espèces cryptiques (Blennies, Gobies, Rascasses) utilisent le récif comme abri et sont donc moins accessibles aux observateurs et peuvent passer inaperçues.

A signaler également sur cette liste la présence sur le récif RA15 d'une espèce emblématique de Méditerranée : le Corb (*Sciaena umbra*, espèce inscrite dans le Décret du 7 juillet 1999 (J.O. du 18 juillet 1999) d'application de la Convention de Berne), qui présente un intérêt patrimonial et esthétique indéniable. Une petite famille de 5 individus (taille comprise entre 20 et 40 cm) a été observée régulièrement sur ces récifs (présence sur 59% des relevés).

En prenant en compte les différentes catégories d'occupation spatiale du domaine vital de chaque espèce, définies par HARMELIN (1987), ce sont les espèces appartenant à la catégorie 5 (Labridae, Serranidae, etc) qui dominent le peuplement (29.7 à 38.9%, Tabl. IV), suivies par la catégorie 6 (espèces cryptiques à forte sédentarité, 16.7 à 29.7%) et la catégorie 3 (Sparidae, 20.4 à 22.2%). On retrouve cette répartition aussi bien sur les récifs artificiels que sur les zones rocheuses. A signaler néanmoins que les espèces cryptiques sont mieux représentées sur les récifs artificiels (11 et 12 espèces) que sur les roches (6 et 8 espèces, Tabl. IV), vraisemblablement du fait de la disponibilité plus importante en habitats de type anfractueux sur les récifs.

Tableau IV : Nombre d'espèces (N) et contribution (%) des différentes catégories d'occupation spatiale pour chaque station (récifs artificiels RA35, RA15 ; zones rocheuses ROC35, ROC15). Les catégories de domaine vital, définies par HARMELIN (1987), sont les suivantes : 1 = poissons erratiques de pleine eau (*Spicara spp.*, *Boops boops*, *Oblada melanura*, *Seriola dumerilii*, *Mugil sp.*), 2 = poissons sédentaires de pleine eau (*Chromis chromis*, *Anthias anthias*), 3 = poissons nectobenthiques à déplacements moyens et fidélité stationnelle (Sparidae), 4 = poissons nectobenthiques à déplacements latéraux importants (*Mullus surmuletus*), 5 = poissons nectobenthique à forte sédentarité (Labridae, Serranidae), 6 = poissons nectobenthiques cryptiques à très forte sédentarité (6a = espèces diurnes (Blenniidae, Gobiidae, Scorpaenidae), 6b = espèces nocturnes, *Conger conger*, *Muraena helena*, *Apogon imberbis*, cf. Tabl. III).

Catégorie		1	2	3	4	5	6	Total
RA35	N	4	2	8	1	11	11	37
	%	10.8	5.4	21.6	2.8	29.7	29.7	100
RA15	N	5	2	9	1	15	12	44
	%	11.4	4.5	20.4	2.3	34.1	27.3	100
ROC35	N	4	2	7	1	10	8	32
	%	12.5	6.2	21.9	3.1	31.3	25.0	100
ROC15	N	6	1	8	1	14	6	36
	%	16.6	2.8	22.2	2.8	38.9	16.7	100
Total	N	6	2	10	1	16	13	48
	%	12.5	4.2	20.8	2.1	33.3	27.1	100

Effet de la modification du design

Le récif RA15 présente la plus **forte richesse spécifique**, avec au total 44 espèces sur les 48 rencontrées (soit 92% du pool total d'espèces, Tabl. III). Suite à l'ajout de maille fine, le nombre total d'espèces augmente, de 36 avant modification à 43 après modification du *design*, ainsi que le nombre moyen d'espèces par relevé qui passe

de 18.3 à 19.2 (Tabl. V). Vient ensuite l'autre récif RA35, avec 37 espèces au total (77% du pool d'espèces), nombre en augmentation après l'ajout des filières (passe de 32 à 36 espèces) et un nombre d'espèce par relevé compris entre 15.1 et 16.3. A noter que les deux récifs présentent toujours un stock spécifique plus important que les deux roches, à la fois pour le nombre total d'espèces que pour le nombre moyen et ce, aussi bien avant qu'après modification du *design* et quelque soit la saison considérée (Tabl. V et VI). Par exemple, la différence de richesse spécifique entre les récifs et les roches varie entre 5 pour les sites profonds (37 espèces sur RA35 vs. 32 espèces sur la roche) et 8 pour les sites peu profonds (44 espèces sur RA15 vs. 36 espèces sur la roche, Tabl. III). L'effet de la profondeur se traduit par une diminution du nombre d'espèces entre -15 m et -35 m, aussi bien sur les roches (observations similaires à celles d'HARMELIN (1990) sur le coralligène de Port-Cros) que sur les récifs.

Pour le récif RA15, la modification du *design* n'a pas entraîné de modification significative dans la richesse spécifique moyenne ($H = 1.007$, $p = 0.315$), malgré une augmentation moyenne de pratiquement une espèce par relevé (18.3 à 19.2, Tabl. V). En revanche, le nombre d'espèces par relevé varie entre les deux périodes de manière significative sur le récif RA35 (en diminution, $H = 4.109$, $p = 0.042$). Sur les zones rocheuses, on observe également deux tendances opposées : pas de différence pour ROC35 (14.9 à 14.1 espèces, $H = 2.055$, $p = 0.1517$), différence significative entre les deux périodes pour ROC15 ($H = 5.422$, $p = 0.0019$), avec une diminution de la richesse spécifique moyenne (passe de 15.1 à 12.9 espèces par relevé), comme pour le récif RA35 (Tabl. V).

Tableau V : Nombre total d'espèces (N total) et richesse spécifique moyenne (RSM = nombre d'espèce par relevé) selon les stations (récifs artificiels RA35, RA15 ; zones rocheuses ROC35, ROC15) et la période considérée Ap. = avant modification (Eté et Automne 1997). Ap. = après modification du design (Hiver 97, Printemps et Automne 1998). Les écart-types des RSM sont également indiqués.

Nbre d'espèces	RA 35		RA 15		ROC 35		ROC 15	
	Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.
N total	32	36	36	43	30	28	34	31
RSM. Moy	16,33	15,14	18,28	19,21	14,94	14,11	15,07	12,85
RSM. E-type	1,91	2,08	2,22	2,93	2,49	1,99	3,10	2,82

Concernant le nombre total d'espèces, celui-ci augmente pour les deux récifs après la modification du *design* et diminue pour les deux zones rocheuses (30 à 28 espèces pour ROC35, 34 à 31 espèces pour ROC15, Tabl. V).

La modification du stock spécifique global est importante sur les 4 stations, avec un renouvellement en espèces considérable entre les deux périodes (Tabl. VI). Sur le récif RA15, on constate l'apparition de 8 nouvelles espèces après modification (Pagre, Sériole, Congre,

Coquette, Jarret, petite Rascasse rouge et 2 gobies) contre la « disparition » d'une seule espèce (Girelle paon). L'influence de la modification du *design*, avec un apport trophique lié aux cassons semble donc positive sur l'ichtyofaune, avec l'apparition d'une majorité d'espèces cryptiques sédentaires liées à un habitat anfractueux (catégorie 6 définie par HARMELIN, 1987), directement inféodées au récif (4 espèces sur les 8 nouvelles, dont 3 à activité diurne et 1 (la Rascasse) à activité nocturne). Sur le récif RA35, 5 nouvelles espèces sont rencontrées (Congre, Jarret, 2 Labres (Labre cendré et Sublet) et la Blennie Cabot), contre une espèce qui n'a plus été observée (Denti). L'effet filière ne semble pas avoir favorisé l'apparition d'espèces erratiques de pleine eau (catégorie 1), hormis le Jarret.

A l'inverse de ce qui est observé sur les récifs, il existe plus d'espèces sur les zones rocheuses qui n'ont pas été revues durant la seconde période (5 espèces pour ROC15 : Daurade, Pageot, Mulet, Labre vert et Triptérygion tacheté ; 4 espèces ROC35 : Coquette et comme pour ROC15 Daurade, Mulet et Triptérygion tacheté). La plupart de ces espèces sont erratiques (*home-range* étendu), ce qui explique qu'elles ne soient pas systématiquement rencontrées. Deux espèces sont néanmoins « nouvelles » pour chaque roche : Jarret et Gobie jaune pour ROC15 et Apogon et *Trypterygion delaisi* pour ROC35.

Tableau VI : Evolution de la composition spécifique de l'ichtyofaune (espèce, nom vernaculaire, en gras pour les espèces d'intérêt commercial) et des fréquences de présence (en pourcentage) de chaque espèce avant (Av) et après (Ap) modification du *design* des récifs, pour chaque station (récifs artificiels : RA35, RA15 ; zones rocheuses : ROC35, ROC15).

Espèces	RA 15		RA 35		ROC 15		ROC 35	
	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap
<i>Boops boops</i> (Bogue)	11	15	56	82	7	15	25	36
<i>Diplodus annularis</i> (Sparaillon)	67	45	83	97	33	12	31	14
<i>Diplodus puntazzo</i> (Charax)	28	33	44	27	7	12	38	18
<i>Diplodus sargus</i> (Sar commun)	89	88	61	30	60	42	88	14
<i>Diplodus vulgaris</i> (Sar à tête noire)	100	97	100	91	80	73	94	96
<i>Oblada melanura</i> (Oblade)	72	33	22	3	60	15	0	0
<i>Sarpa salpa</i> (Saupe)	61	21	22	9	80	50	56	46
<i>Sparus aurata</i> (Daurade)	33	18	33	6	13	0	6	0
<i>Pagrus pagrus</i> (Pagre)	0	9	0	0	0	0	0	0
<i>Dentex dentex</i> (Denti)	0	0	6	0	0	0	0	0
<i>Pagellus acarne</i> (Pageot)	6	9	0	0	7	0	0	0
<i>Spondyllosoma cantharus</i> (Canthare)	72	58	11	12	33	58	13	14
<i>Mugil sp.</i> (Mulet)	0	0	0	0	20	0	6	0
<i>Chromis chromis</i> (Castagnole)	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Spicara maena</i> (Mendole)	22	45	83	88	20	15	38	75
<i>Spicara smaris</i> (Jarret)	0	15	0	24	0	8	19	11
<i>Mullus surmuletus</i> (Rouget)	17	33	28	33	40	35	69	75

<i>Scorpaena notata</i> (Petite rascasse)	0	61	6	39	0	0	0	0
<i>Scorpaena porcus</i> (Rascasse brune)	11	3	0	0	0	0	0	0
<i>Scorpaena scrofa</i> (Chapon)	78	85	11	21	0	0	0	0
<i>Anthias anthias</i> (Barbier)	17	3	94	100	0	0	69	75
<i>Serranus cabrilla</i> (Serran chèvre)	100	97	100	100	100	92	100	96
<i>Serranus scriba</i> (Serran écriture)	39	27	0	0	67	92	6	7
<i>Coris julis</i> (Girelle)	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Thalassoma pavo</i> (Girelle royale)	11	0	0	0	13	12	0	0
<i>Labrus bimaculatus</i> (Coquette)	0	9	78	12	0	0	13	0
<i>Labrus merula</i> (Merle)	17	24	0	0	20	15	0	0
<i>Labrus viridis</i> (Labre vert)	39	15	11	3	27	0	0	0
<i>Symphodus cinereus</i> (Labre cendré)	22	6	0	24	27	4	0	0
<i>Symphodus doderleini</i> (Labre de Doderlein)	39	3	50	33	60	38	81	86
<i>Symphodus ocellatus</i> (Labre ocellé)	39	64	33	27	80	77	44	32
<i>Symphodus mediterraneus</i> (Labre méditerranéen)	100	91	100	100	87	92	94	96
<i>Symphodus melanocercus</i> (Labre nettoyeur)	78	94	89	55	40	38	100	82
<i>Symphodus rostratus</i> (Sublet)	6	18	0	3	27	12	38	14
<i>Symphodus tinca</i> (Rouquié)	100	100	56	79	100	96	94	100
<i>Symphodus roissali</i> (Labre de roissal)	0	0	0	0	7	12	0	0
<i>Conger conger</i> (Congre)	0	27	0	24	0	0	6	11
<i>Muraena helena</i> (Murène)	11	27	0	0	27	62	0	0
<i>Sciaena umbra</i> (Corb)	61	58	0	0	0	0	0	0
<i>Seriola dumerilii</i> (Sérieole)	0	6	0	0	20	12	0	0
<i>Apogon imberbis</i> (Apogon)	83	100	11	33	13	8	0	11
<i>Parablennius gattorugine</i> (Cabot)	0	0	0	3	0	0	0	0
<i>Parablennius rouxi</i> (Blennie de Roux)	83	85	83	45	73	58	75	82
<i>Gobius luteus</i> (Gobie jaune)	33	42	11	6	0	4	56	86
<i>Gobius geniporus</i> (Gobie joue poreuse)	0	18	100	97	0	0	13	18
<i>Pseudaphya ferrerii</i> (Gobie pélagique)	0	12	28	3	0	0	19	7
<i>Tripterygion delaisi</i> (Tripterygion)	78	82	6	12	40	27	0	7
<i>Tripterygion melanurus</i> (Tripterygion tacheté)	6	9	17	3	20	0	6	0

Variations saisonnières

Les variations saisonnières sont assez marquées, avec un nombre d'espèces plus élevé en automne et en été (saisons chaudes), et une tendance générale à la baisse en hiver et au printemps (saisons froides, Tabl. VII et Fig. 3). Sur le RA35, il existe moins d'espèces au printemps qu'aux autres saisons (test NKS et Kruskal-Wallis, $H=9.830$, $p=0.043$) et sur les roches, le nombre d'espèces est plus important en automne 97 que sur l'ensemble des autres saisons (ROC35 $H=11.519$, $p=0.021$; ROC15 $H=14.837$, $p=0.005$). En revanche, aucune différence significative n'est enregistrée sur le récif RA15 ($H=2.588$, $p=0.629$), malgré une augmentation en valeur du nombre d'espèces/relevé après modification (passe de 17.5 à 19.8, Tabl. VII et Fig. 3).

Tableau VII : Nombre d'espèces et richesse spécifique moyenne (= nombre d'espèces par relevé) selon les stations (récifs artificiels RA35, RA15 ; zones rocheuses ROC35, ROC15) et la saison considérée (E=été, A=automne, H=hiver, P=printemps). Les écart-types sont également indiqués.

Nombre d'espèces	RA 35					RA 15				
	E 97	A 97	H 97	P 98	A 98	E 97	A 97	H 97	P 98	A 98
Moy	15,0	17,0	16,0	14,3	15,4	17,5	18,7	18,6	18,7	19,8
E-type	2,4	1,3	1,9	1,9	2,2	2,3	2,2	2,9	2,2	3,4

Nombre d'espèces	ROC 35					ROC 15				
	E 97	A 97	H 97	P 98	A 98	E 97	A 97	H 97	P 98	A 98
Moy	13,3	15,9	14,5	12,8	14,9	12,3	16,9	12,0	13,5	12,6
E-type	2,6	2,0	1,3	2,2	1,5	2,2	2,1	2,4	1,8	3,6

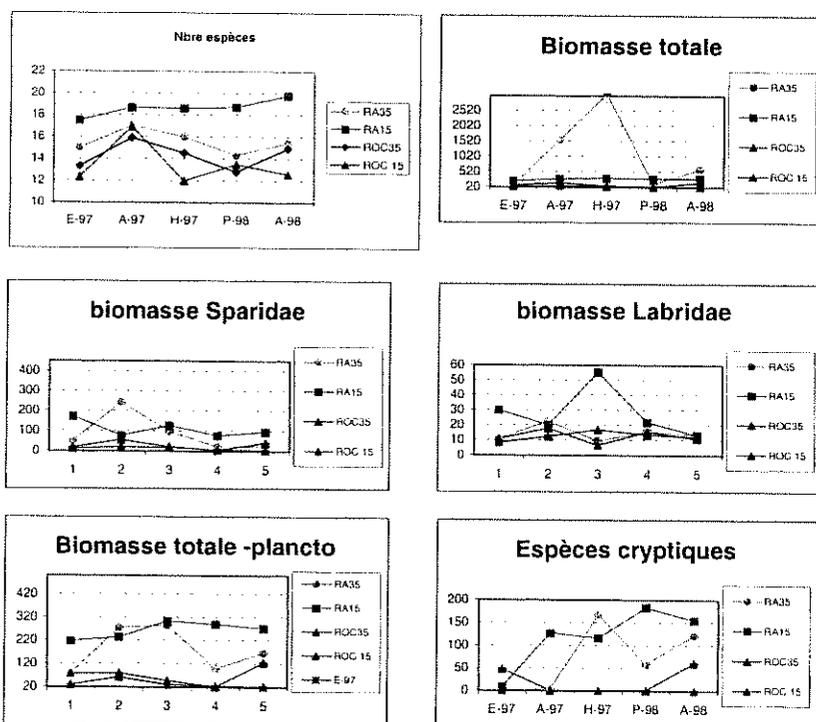


Fig. 3 : Représentation graphique des variations relatives de la richesse spécifique moyenne (nombre d'espèces par relevés) en fonction de la saison pour les 4 stations étudiées à Port-Cros durant le suivi 1997/98.

Fréquence des espèces

Les fréquences (pourcentage de présence) de chaque espèce et les proportions des quatre classes de fréquences (= probabilité de rencontre d'une espèce) pour chaque station sont représentées dans les

tableaux III (fréquences totales), VI (fréquence avant/après modification) et VIII (synthèse par catégorie).

Tableau VIII : Proportion des quatre classes de fréquences (pourcentage de présence des espèces sur l'ensemble des 4 stations de Port-Cros : récifs artificiels RA35, RA15 ; zones rocheuses ROC35, ROC15). Les espèces absentes des relevés (0% de présence) dans le tableau 3 n'ont pas été prises en compte dans les calculs.

Station	Espèces rares (0 à 25%)	Espèces occasionnelles (25 à 50%)	Espèces fréquentes (50 à 75%)	Espèces permanentes (75 à 100%)
RA 35	43.3	21.6	10.8	24.3
RA 15	45.4	18.2	9.1	27.3
ROC 35	43.7	12.5	12.5	31.3
ROC 15	50.0	13.9	13.9	22.2

Les **espèces permanentes** (probabilité de rencontre supérieure à 75%) sont moyennement représentées, avec un pourcentage variant selon les stations entre 22 et 31% (Tabl. VIII). Les nombreux suivis effectués sur les récifs artificiels ont montré que le pourcentage d'espèces permanentes pouvait être très variable, de 18 à 48% selon les récifs (CHARBONNEL, 1989 ; ODY et HARMELIN, 1994 ; CHARBONNEL et FRANCOUR, 1994). Il convient de signaler la rareté des espèces permanentes sur les 2 zones rocheuses, en particulier ROC15 avec seulement 22% d'espèces permanentes, contre 31% sur ROC35 (Tabl. VIII). Ces faibles pourcentages montrent un *turn-over* en espèces important. En outre, cette proportion en espèces permanentes est plus faible que sur d'autres petits fonds rocheux (-10 à -15 m) de Port-Cros étudiés par HARMELIN (1987) : La Galère (36%) et Malalougue (40.5%).

Les **espèces fréquentes** (50 à 75% de présence) et occasionnelles (25 à 50% de présence) sont encore moins bien représentées que les espèces permanentes avec une forte variabilité selon les stations (9% à 21% des espèces). Ce sont surtout les **espèces rares** (probabilité de rencontre inférieure à 25%) qui dominent, avec 43 à 50% des espèces selon les stations (Tabl. VIII). Cette catégorie regroupe principalement les espèces erratiques, n'ayant été observées qu'au cours de quelques comptages (Pagre, Denti, Sériole, Mulet, etc., (Tabl. III).

Cette forte proportion d'espèces rares est également classique sur les récifs artificiels et peut s'expliquer par une mauvaise accessibilité "naturelle" lors des comptages en plongée de certaines espèces, du fait de leur comportement : espèces à domaine vital étendu et espèces cryptiques (*ex.* Gobies, Blennies). Ces espèces pouvant induire un biais dans les estimations ont été évoquées par HARMELIN-VIVIEN *et al.* (1985) et pour les récifs artificiels, par CHARBONNEL *et al.* (1997).

En outre, il convient de rappeler que ce renouvellement en espèces occasionnelles (*turn-over*) est caractéristique des récifs artificiels. En effet, ces habitats ne constituent pas un système clos et il existe de

nombreux échanges et déplacements d'espèces avec les zones périphériques des récifs (roches, herbier, substrats meubles). Ainsi, plusieurs espèces n'utilisent le récif qu'une partie de la journée, de la saison, de l'année ou de leur cycle de vie (HARMELIN et BELLAN-SANTINI, 1997) et les déplacements sont également fonction des besoins spécifiques de chaque espèce (recherche de nourriture, d'abris) selon la période de leur vie (ex. période de croissance ou de reproduction).

A Port-Cros, les zones naturelles voisines des récifs sont représentées par l'herbier de Posidonie et les roches (séries de longues arêtes rocheuses). Ces zones naturelles sont très riches, les plus productives des petits fonds littoraux. De ce fait, les échanges sont très fréquents, notamment pour les Sparidae et les espèces erratiques et planctivores, dont les individus en bancs se déplacent d'une zone à l'autre.

Ces échanges sont bien visibles dans le tableau VI, avec des variations considérables des pourcentages de fréquence entre la période avant modification et celle après modification, aussi bien sur les récifs artificiels que sur les zones rocheuses. En considérant les écarts de fréquence supérieurs à 20% entre les deux périodes, on constate que certaines espèces sont plus fréquentes sur le RA15 : petite Rascasse rouge (+61%), Congre (+27%), Mendole (+23%), Labre ocellé (+25%) et dans une moindre mesure la Murène (+16%) et l'Apogon (+17%). A l'inverse d'autres espèces montrent une diminution de leur fréquence : Saupe (-40%), Oblade (-39%), Labre de Doderlein (-36%) et Labre vert (-24%, Tabl. VI).

Sur le RA35, les espèces planctonophages sont plus fréquentes après la mise en place des filières (Bogue +26%, Jarret +24%), ainsi que d'autres espèces : petite Rascasse rouge (+34%), Congre (+24%), Labre cendré (+24%), Rouquié (+23%) et Apogon (+22%). En revanche, les fréquence de rencontre diminuent pour les espèces suivantes : Coquette (-66%), Blennie de Roux (-38%), Labre nettoyeur (-34%), Sargue (-31%) et Daurade (-27%).

Sur les roches, les mouvements d'espèces existent également entre les deux périodes (Tabl. 6). Sur ROC15, certaines espèces sont plus fréquentes : Murène (+35%), Serran écriture (+26%) et Canthare (+24%). D'autres espèces sont à l'inverse moins fréquentes : Oblade (-45%), Saupe (-30%), Labre vert (-27%), Labre cendré (-23%), Labre de Doderlein (-22%) et Sparailon (-22%). Sur ROC35, l'augmentation importante des fréquences ne concerne que deux espèces : Mendole (+38%) et Gobie jaune (+29%). En revanche, les fréquences diminuent de manière importante pour 3 espèces : Sargue (-73%), Charax (-20%) et Sublet (-23%).

Résultats du traitement des données par ACP

L'analyse des données en « composantes principales avec éléments supplémentaires » permet de synthétiser les relations existant entre les variables décrivant l'habitat et les densités d'individus de certains grands groupes d'espèces de poissons. Les deux premiers facteurs de l'analyse permettent d'expliquer 69 % de la variance totale des densités de poissons (Tabl. IX).

Tableau IX : Analyse en composantes principales décrivant les relations entre les variables décrivant l'habitat et la densité de groupes d'espèces de poissons. Valeurs propres et pourcentages de variance totale expliquée par les facteurs.

Facteur	Valeurs propres	% de variance totale	Valeurs cumulées	propres % de variance totale cumulée
1	4.6831	42.57	4.6831	42.57
2	2.8794	26.18	7.5655	68.75
3	1.3406	12.19	8.9061	80.94
4	0.7887	7.17	9.6948	88.13

La représentation graphique (Fig. 4) montre que le facteur 1 (axe 1) est expliqué principalement par la **modification du substrat** (complexification du *design*) et par l'opposition du type de substrat : récifs vs. zones rocheuses. Le facteur 2 est expliqué par la **saison**. Ainsi, le facteur le plus influant sur la variabilité des densités de poissons des différents groupes d'espèces est lié à la modification du substrat ; facteur prépondérant sur les variations du peuplement provenant de l'effet saisonnier.

L'effet des modifications du substrat se reporte essentiellement sur les densités des espèces cryptiques et benthiques et par l'augmentation de la diversité spécifique (Fig. 4). Ces résultats étaient attendus, avec l'augmentation de la disponibilité en nourriture (faune vagile) et en micro-habitats pour ces espèces, fournis par les cassons de briques et de parpaings sur RA15. On note également un effet sur la densité de Sparidae. La densité des espèces de pleine eau (erratiques et planctonophages) est plus importante du côté positif de l'axe 1. Leur présence semble être favorisée sur les récif artificiels (opposition à la zone rocheuse). Il est toutefois difficile d'attribuer cette tendance à la modification sur RA35 car ce groupe d'espèces se trouve du côté négatif de l'axe 2 (Fig. 4).

Evolution de la colonisation des récifs par le fouling

Si la colonisation par le fouling des récifs n'était pas l'objet de ce programme, quelques éléments, de nature descriptive, sont toutefois présentés ci-après. La modification du *design* des récifs artificiels s'est traduite par une apparition progressive d'espèces pionnières.

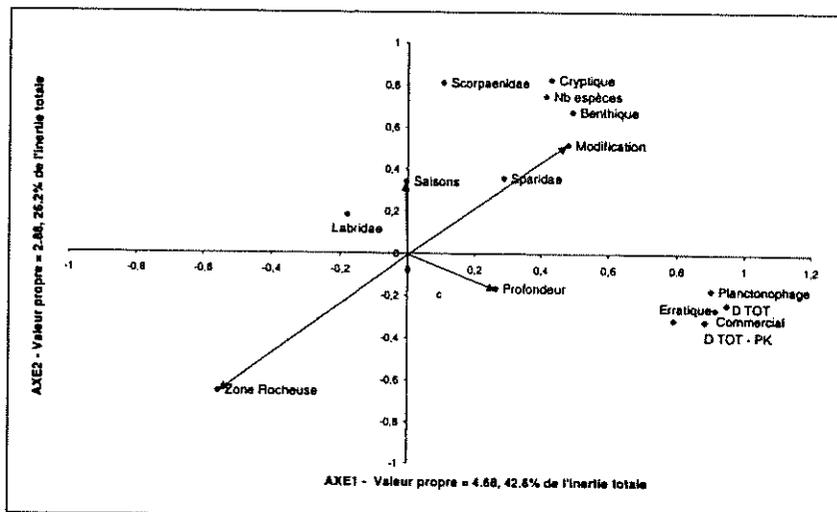


Fig. 4 : Analyse en composantes principales avec éléments supplémentaires. Représentation des facteurs 1 et 2. On analyse la variabilité des densités d'individus de plusieurs groupes d'espèces (Labridae, Sparidae, Scorpaenidae, espèces cryptiques, erratiques, benthiques, planctonophages, d'intérêt commercial), de la densité totale (D TOT), la densité totale moins les planctonophages (D TOT - PK) et du nombre d'espèces (Nb espèces). Les éléments supplémentaires, facteurs pouvant avoir une influence sur cette variabilité sont la **profondeur**, la **saison**, la **complexification du substrat** (modification) et le **type de substrat** (zone rocheuse).

Les filières du RA35 ont été rapidement colonisées par des algues filamenteuses, formant un mucilage important en mai 1998 (*Xanthophyceae Tribonema marinum*, détermination Marc VERLAQUE/ CNRS Marseille). En juin 1999, date des dernières observations sur les filières, on pouvait noter la présence d'organismes filtreurs et suspensivores : une vingtaine d'individus de Spirographes (*Spirographis spallanzanii*), une dizaine d'Ascidies blanches (*Phallusia mammillata*, hauteur 20 cm) et des jeunes Moules (*Mytilus galloprovincialis*, taille de 2 cm). A noter le développement des Salmacines (espèce pionnière *Filograna sp.*, au moins 5 colonies formant de grosses boules blanches extrêmement fragiles) et de quelques bryozoaires (*Pentapora fascialis*, colonies de petite taille, hauteur d'environ 2 cm). Des pontes de Calmar ont été observées sur les filières (octobre 1998).

Pour le récif RA15, de nombreuses Mysidacées sont rencontrées, pratiquement immédiatement après l'ajout des cagettes de cassons.

A noter la présence sporadique d'invertébrés d'intérêt commercial pour la pêche sur les deux récifs : Poulpe (*Octopus vulgaris*), Langouste (*Palinurus elephas*) et même grande Cigale de mer (*Scyllarides latus*). Quelques oursins sont également rencontrés de façon régulière sur les récifs : oursin comestible (*Paracentrotus lividus*), oursin noir (*Arbacia lixula*) et violet (*Sphaerechinus granularis*). A noter également la

présence de l'oursin diadème⁵ (*Centrostephanus longispinus*), un seul individu observé à plusieurs reprises sur le RA15.

Aspects quantitatifs des peuplements de poissons

Les densités

Les densités moyennes (nombre d'individus par m²) obtenues pour chaque composante du peuplement sont présentées dans le Tableau X.

Effet de la modification du design. Variations selon les stations

Les densités totales fluctuent de manière importante selon les stations, entre 2.9 et 15.4 ind./m² (Tabl. X). Les stations présentant la plus forte abondance sont les récifs RA35 (10.8 à 15.4 ind./m², avec toutefois une très forte variabilité, écart-types élevés) et les récifs RA15 (4.1 à 6.5 ind./m²). Les roches montrent une abondance plus faible que les récifs (2.9 à 4.4 ind./m²). Il n'y a pas d'effet lié à la modification du *design* des récifs sur les densités totales (RA35 H=0.075, p=0.784 ; RA15 H=0.522, p=0.470), compte tenu de la forte variabilité enregistrée, liée au facteur saison. On observe même en apparence une diminution des valeurs de densités sur les récifs (facteur 1.4 pour RA35, facteur 1.6 pour RA15). Les zones rocheuses montrent également des densités stables, sans différence significative entre la période avant modification et la période après modification (ROC35 H=0.029, p=0.864 ; ROC15 H=2.136, p=0.144).

Les densités totales sans les espèces planctivores reflètent mieux la réalité du peuplement (les espèces planctivores sont généralement abondantes et masquent souvent l'importance des autres espèces), ce qui permet de mieux différencier les stations. En soustrayant les Mendoles, les Bogues et les Castagnoles, les valeurs des densités sont divisées par un facteur de 3 à 10. Elles fluctuent également de manière importante, de 0.8 à 1.6 ind./m² selon les stations (Tabl. X). On retrouve les plus fortes densités sur les récifs. Pour les récifs, deux tendances opposées sont mises en évidence : sur le récif RA35, les densités diminuent d'un facteur 1.6 après modification du *design* (passe de 1.65 à 1.05 ind./m², Tabl. X, différence significative H=10.78, p=0.001), tandis que sur le RA15, elles sont globalement stables, malgré une légère augmentation perceptible du nombre d'individus (passe de 1.26 à 1.41/m²) non significative sur le plan statistique (H=2.28, p=0.131).

Concernant les zones rocheuses témoins, les tests statistiques ne montrent pas de différence entre les deux périodes sur les densités sans les planctivores, qui restent stables pour ROC15 (0.9 à 0.8 ind./m²,

⁵ : L'oursin diadème est protégé par l'Arrêté ministériel du 26 novembre 1992 (J.O. du 19 janvier 1993) et la convention de Berne (Annexe 2) adoptée par la France (décret du 7 juillet 1999, J.O. du 18 juillet 1999).

H=1.294, p=0.255) et pour ROC35, (passe de 0.96 à 1.26 ind./m², différence non significative (H=0.501, p=0.479) malgré cette augmentation d'un facteur 1.3).

Tableau X : Densités moyennes (nombre d'individus par m²), en fonction de la station considérée (récifs artificiels RA35, RA15 ; zones rocheuses ROC35, ROC15) des différentes composantes du peuplement (densité totale, totale moins planctivores, espèces d'intérêt commercial, espèces planctivores, erratiques, benthiques et cryptiques) et des principales familles (Sparidae, Labridae, Scorpaenidae). Av = avant modification (Été et Automne 1997). Ap. = après modification du *design* (Hiver 97, Printemps et Automne 1998). Les écart-types sont également indiqués.

DENSITE		RA 35		RA15		ROC35		ROC15	
		Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.
Totales	Moy	15,45	10,85	6,51	4,12	4,04	4,42	2,94	3,19
	E-type	16,26	17,19	7,51	3,91	3,39	4,76	3,06	2,01
Total -planct	Moy	1,65	1,05	1,26	1,41	0,96	1,26	0,89	0,81
	E-type	0,80	0,32	0,26	0,34	0,35	0,88	0,23	0,25
Commercial	Moy	10,20	6,98	0,69	1,66	2,11	1,75	0,44	0,40
	E-type	13,76	17,38	0,36	3,31	2,51	3,69	0,23	0,37
Sparidae	Moy	0,97	0,30	0,49	0,50	0,31	0,58	0,37	0,27
	E-type	0,78	0,32	0,13	0,23	0,25	0,93	0,20	0,20
Labridae	Moy	0,36	0,36	0,45	0,43	0,50	0,45	0,40	0,45
	E-type	0,07	0,10	0,16	0,18	0,12	0,10	0,13	0,15
Planctivores	Moy	13,80	9,80	5,25	2,70	3,08	3,15	2,05	2,38
	E-type	15,78	17,23	7,36	3,92	3,50	4,60	2,96	2,01
Scorpaenidae	Moy	0,00	0,01	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
	E-type	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Erratiques	Moy	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
	E-type	0,08	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,04	0,03
Benthiques	Moy	0,16	0,17	0,15	0,13	0,04	0,11	0,04	0,03
	E-type	0,05	0,09	0,10	0,10	0,04	0,08	0,04	0,03
Cryptiques	Moy	0,29	0,36	0,28	0,44	0,08	0,16	0,05	0,04
	E-type	0,06	0,12	0,17	0,21	0,11	0,11	0,05	0,04

Les densités en **espèces d'intérêt commercial** ne montrent pas de différences significatives sur les récifs et sur les roches, malgré une augmentation apparente entre les deux périodes d'un facteur 2.4 sur RA15 (0.7 à 1.7 ind./m², H=0.461, p=0.497) et une diminution d'un facteur 1.5 sur RA35 (10.2 à 7 ind./m², H=1.174, p=0.279) et d'un facteur 1.2 sur ROC 35 (2.1 à 1.7 ind./m², H=2.144, p=0.143).

Les densités en **Sparidae** restent stables sur le récif RA15 (0.5 ind./m²) et sur les deux roches (0.3 à 0.6 ind./m²), mais montrent en revanche une diminution significative sur le RA35 (H=9.117, p=0.0025) : 0.97 ind./m² avant modification à 0.3 ind./m² après modification, soit une diminution d'un facteur 3.2 (Tabl. X). Le nombre de Sars est deux fois plus élevé sur les RA15 et ROC35 que sur ROC15 (0.5 ind/m² vs. 0.27 ind/m²). Les densités en **Labridae** sont également stables entre les 2 périodes, aussi bien sur les récifs (0.36 ind./m² pour RA35, 0.45 ind./m² pour RA15) que sur les roches (0.4 à 0.5 ind/m²).

Les **espèces planctivores** sont les plus abondantes au niveau des récifs RA35, mais il ne semble pas y avoir un « effet filière » spectaculaire sur les densités, car le nombre de planctivores ne montre pas de différence avant et après modification (test Kruskal & Wallis, $H=0.027$, $p=0.869$), voire même diminue en apparence (9.8 contre 13.8 ind./m², soit un facteur de 1.4). Néanmoins, l'abondance des planctivores sur le récif RA15 et sur les deux roches est trois fois plus faible que sur RA35 (environ 3 ind./m², Tabl. X). Ainsi, l'effet filière reste perceptible car les planctivores se maintiennent à une densité élevée par rapport aux autres stations et ce, quelle que soit la saison considérée (*voir plus loin*).

L'effet de la modification du *design* est également perceptible sur le RA15 pour les **espèces cryptiques**, avec une augmentation du nombre d'individu d'un facteur 1.6 (0.28 ind/m² avant modification contre 0.44 ind/m² après modification, $H=6.127$, $p=0.013$), en particulier les Apogons et les **Scorpaenidae** (passe de 0.03 à 0.05 ind/m², avec la présence de 2 gros chapons, $H=6.459$, $p=0.011$). Cette tendance s'observe également pour le RA35 (différences significatives), alors que dans le même temps, ce nombre est resté stable sur les zones rocheuses témoins ($H= 2.622$, $p=0.105$).

Il est intéressant de considérer également les **contributions relatives** de chaque composante du peuplement par rapport aux densités totales. En effet, les pourcentages de contribution (Tabl. XI) donnent une meilleure idée de la composition du peuplement et permettent de comparer les stations sans tenir compte de leurs différences liées aux valeurs propres de densités.

On remarque que les **espèces planctivores** contribuent de manière importante aux densités totales, entre 70 et 90% selon les stations (Tabl. XI). Cette dominance numérique a été signalée par HARMELIN (1990) sur les roches coralligènes de Port-Cros (80 à 85% de planctonophages). La modification du *design* n'a pas entraîné d'évolution particulière de la proportion de planctivores sur le RA35 (89 à 90%), alors que cette proportion diminue sur le RA15 (passe de 81% avant modification à 66% après modification). Sur les roches, la contribution des planctivores reste globalement stable, malgré une légère augmentation entre les deux périodes pour ROC15 (70 à 75%) et une légère diminution pour ROC35 (76 à 71%).

La proportion d'**espèces d'intérêt commercial** est nettement plus élevée sur le RA15 après modification (40%) qu'avant modification (10.5%). En revanche, la contribution ne varie pas pour le RA35 entre les deux périodes (64 à 66%), de même que sur ROC15, avec seulement 13 à 15% d'espèces d'intérêt commercial. Toutefois, sur ROC35, une diminution est enregistrée (passe de 52 à 40%).

Les **Sparidae** sont assez peu représentés, puisqu'ils contribuent à moins de 13% des densités sur les quatre stations (Tabl. XI). En outre, la modification du *design* ne semble pas avoir entraîné d'évolution particulière dans ces contributions, malgré une légère augmentation des

Sparidae sur le RA15 (de 7.5 à 12% après modification) et une diminution sur le RA35 (passe de 6 à 3%). Les **Labridae** sont également peu représentés, avec une contribution variant entre 2% pour RA35 à 14% pour ROC15. On peut néanmoins noter une très légère augmentation sur les deux récifs entre les deux périodes (passe de 7 à 10% sur RA15 et de 2 à 3% sur RA35), alors que la proportion reste identique sur ROC15 (14% de Labres), voire même diminue sur ROC35 (de 12 à 10%). On peut souligner que la proportion de Labres varie directement selon le gradient d'éloignement des stations par rapport à l'herbier de Posidonie, principale source d'apport de ces espèces.

Tableau XI : Contribution (en pourcentage) de chaque composante du peuplement de poissons par rapport à la densité totale pour les 4 stations (récifs artificiels, RA35, RA15 ; zones rocheuses ROC35, ROC15). Av. = avant modification (Eté et Automne 1997). Ap. = après modification du *design* (Hiver 97, Printemps et Automne 1998).

Pourcentage de contribution	RA 35		RA 15		ROC35		ROC15	
	Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.
Planctivores	89,3	90,3	80,7	65,7	76,2	71,4	69,7	74,5
Commercial	66,0	64,3	10,5	40,3	52,3	39,6	14,8	12,6
Sparidae	6,3	2,8	7,5	12,2	7,8	13,2	12,5	8,3
Labridae	2,3	3,3	6,9	10,4	12,4	10,1	13,7	14,0
Scorpaenidae	0,0	0,1	0,5	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Erratiques	0,3	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,6	0,3
Benthiques	1,1	1,6	2,3	3,3	1,0	2,6	1,5	0,8
Cryptiques	1,8	3,3	4,4	10,7	2,0	3,7	1,6	1,1

Pour les autres compartiments considérés, leur contribution aux densités totales est très faible et il n'existe que très peu ou pas d'évolution particulière (Tabl. XI). A signaler toutefois que la contribution des **Scorpaenidae** augmente sur le récif RA15 après modification du *design* (passe de 0.5 à 1.3%), de même que la proportion en **espèces cryptiques** (passe de 4 à 11%). Cet accroissement pourrait être lié à une augmentation de la disponibilité en proies sur le récif (faune vagile), mais également à un apport d'abris supplémentaires (micro-habitats constitués par les petites cavités entre les cassons), favorable notamment aux espèces de petite taille (Gobies).

Variations selon la saison

L'effet de la saison sur les densités est très important, avec selon le schéma classique moins d'individus en hiver et au printemps qu'en automne et en été (Tabl. XII, Figure 5). Sur les récifs, tous les compartiments du peuplement considérés (densité totale, totale moins planctivores, Sparidae, Labridae, espèces commerciales, benthiques, cryptiques, etc.) montrent des différences significatives sur le plan statistique (test Kruskal-Wallis $p < 0.05$, Tabl. XIII). Sur les roches, les

résultats sont plus nuancés et certaines densités restent similaires d'une saison à l'autre (ex. Sparidae sur ROC15, Labridae sur ROC35, Tabl. XIII).

Les **densités totales** sont très élevées sur RA35, en particulier en automne 97 (22.6 ind./m² avant modification du *design*) et en hiver 97 (22.6 ind./m² après modification), du fait de l'abondance des planctonophages. En effet, en soustrayant ces espèces, les densités sont divisées par un facteur 16 à 20. Malgré tout, la tendance saisonnière reste marquée car les densités sans les planctivores sont deux fois plus élevées en automne 97 (1.99 ind./m²) qu'aux 4 autres saisons (0.92 à 1.18 ind./m²). Sur RA15, les densités totales fluctuent entre 1.1 et 9.2 ind./m² selon les saisons (maximum en automne). En soustrayant les planctonophages, les densités varient entre 1 et 1.5 ind./m² (Tabl. XII).

Il existe un effet de la profondeur sur les densités en **Sparidae**, qui varient de manière importante sur RA35 (0.2 à 1.3 Sars/m², maximum en automne) et de façon plus modérée sur RA15 (0.3 à 0.6 Sar/m², minimum au printemps, différence significative). De la même manière, sur les roches témoins seule ROC35 présente des fluctuations significatives (0.1 à 1.1 ind./m², maximum en automne 98, Tabl. XII). Sur ROC15, les densités en Sars restent stables sur le plan statistique (varient entre 0.2 et 0.4 Sar/m²). Les densités en **Labridae** ne varient pas sur ROC35 (0.44 à 0.51 Labre/m²), mais fluctuent de manière significative pour les 3 autres stations (0.26 à 0.59 ind./m²).

Les variations des densités en fonction des saisons permettent également de mettre en évidence l'effet filière sur RA35, avec une attraction très importante des **espèces planctivores** immédiatement après la mise en place des filières⁶ et une fidélisation au cours de l'hiver 97, soit 2 mois après la modification. Ces densités atteignaient en moyenne 18 ind./m² sur RA35 en hiver, alors qu'il n'y avait pratiquement pas de planctivores sur les deux roches et le récif RA15 (densités inférieures à 0.1 ind./m²).

En outre, les planctonophages se maintiennent ensuite à un niveau très élevé, puisque leurs densités (6.5 à 9.3 ind./m²) sont trois fois plus élevées que sur RA15 (2.2 à 4 ind./m²) et deux fois plus que sur la zone témoin voisine ROC35 (2.9 à 4.2 ind./m²) et ce pour le printemps et l'automne 1998 (Tabl. XII).

Les Scorpaenidae sont surtout représentés sur le récif RA15, avec une densité maximale en automne 98 (0.07 ind./m²). La même tendance est observée pour les espèces cryptiques (0.56 ind./m² sur RA15, 0.42 ind./m² sur RA35 en automne 98).

⁶ : Une plongée a été réalisée un jour après la mise en place des filières et montrait la présence d'un banc d'environ 2000 Bogues et Mendoles, avec également un groupe d'une dizaine de Daurades (espèce erratique) patrouillant à proximité des filières. N.B. Données non prises en compte dans les calculs, un seul comptage réalisé.

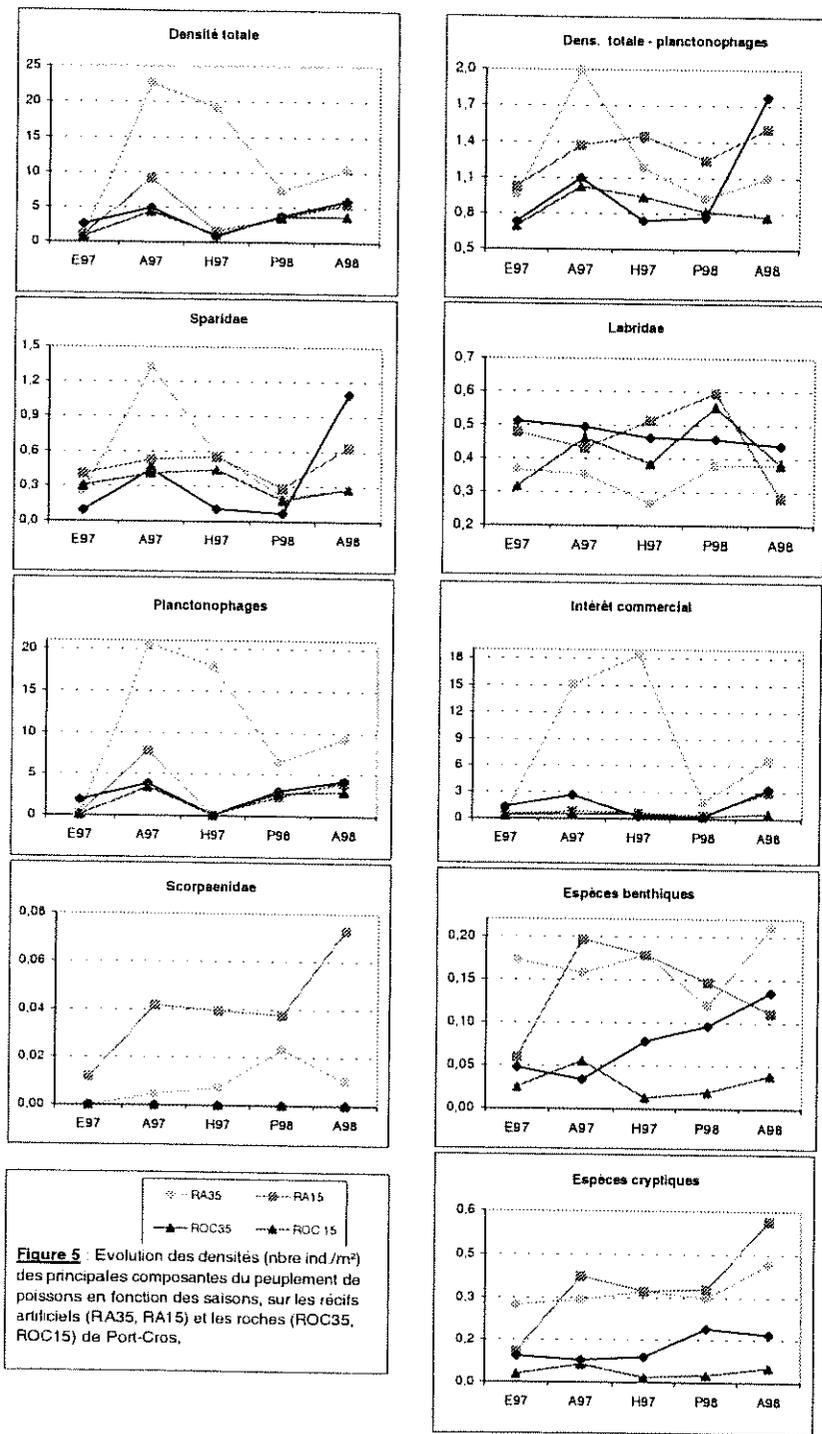


Tableau XII : Densités moyennes (nombre d'individus par m²), en fonction de la saison considérée (été, automne, hiver, printemps), pour les deux récifs artificiels (RA35, RA15, tableau du haut) et les deux roches témoins (tableau du bas) des différentes composantes du peuplement (densité totale, totale moins planctives, espèces d'intérêt commercial, espèces planctives, erratiques, benthiques et cryptiques) et des principales familles (Sparidae, Labridae, Scorpaenidae). Les écart-types sont également indiqués.

		RA 35					RA 15				
DENSITE		E 97	A 97	H 97	P 98	A 98	E 97	A 97	H 97	P 98	A 98
Totales	Moy	1,10	22,63	19,13	7,41	10,36	1,09	9,22	1,52	3,47	5,50
	E-type	0,16	15,50	39,66	3,01	10,54	0,22	7,94	0,29	1,07	5,20
Total -planct	Moy	0,96	1,99	1,19	0,92	1,10	1,03	1,37	1,45	1,25	1,51
	E-type	0,14	0,77	0,27	0,22	0,38	0,22	0,20	0,29	0,30	0,37
Commercial	Moy	0,39	15,10	18,39	1,83	6,59	0,45	0,80	0,64	0,36	2,96
	E-type	0,18	14,63	39,69	1,80	9,65	0,08	0,38	0,18	0,12	4,47
Sparidae	Moy	0,26	1,32	0,56	0,21	0,27	0,41	0,53	0,55	0,29	0,63
	E-type	0,08	0,72	0,27	0,08	0,40	0,06	0,13	0,17	0,12	0,20
Labridae	Moy	0,37	0,35	0,26	0,38	0,38	0,48	0,43	0,51	0,59	0,28
	E-type	0,08	0,07	0,06	0,14	0,03	0,22	0,13	0,08	0,10	0,10
Planctivores	Moy	0,14	20,64	17,94	6,49	9,27	0,06	7,85	0,07	2,22	3,99
	E-type	0,09	15,23	39,91	2,98	10,43	0,01	7,85	0,02	1,15	5,25
Scorpaenidae	Moy	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04	0,07
	E-type	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
Erratiques	Moy	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,00	0,01
	E-type	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,01	0,01
Benthiques	Moy	0,17	0,16	0,18	0,12	0,21	0,06	0,20	0,18	0,15	0,11
	E-type	0,07	0,04	0,05	0,05	0,10	0,04	0,10	0,13	0,12	0,08
Cryptiques	Moy	0,27	0,29	0,32	0,30	0,42	0,11	0,37	0,32	0,33	0,56
	E-type	0,07	0,06	0,06	0,09	0,14	0,04	0,13	0,17	0,19	0,17

		ROCHE 35					ROCHE 15				
DENSITE		E 97	A 97	H 97	P 98	A 98	E 97	A 97	H 97	P 98	A 98
Totales	Moy	2,55	4,94	0,79	3,72	5,95	0,73	4,42	0,99	3,52	3,65
	E-type	2,76	3,55	0,17	2,37	6,02	0,15	3,21	0,14	1,49	2,31
Total -planct	Moy	0,73	1,10	0,74	0,76	1,77	0,69	1,03	0,94	0,81	0,77
	E-type	0,14	0,37	0,18	0,16	1,02	0,15	0,17	0,14	0,26	0,27
Commercial	Moy	1,30	2,60	0,20	0,20	3,30	0,34	0,50	0,48	0,22	0,53
	E-type	1,89	2,79	0,04	0,14	4,81	0,21	0,23	0,17	0,16	0,48
Sparidae	Moy	0,09	0,45	0,10	0,07	1,09	0,30	0,41	0,44	0,18	0,28
	E-type	0,08	0,23	0,03	0,06	1,11	0,22	0,20	0,18	0,15	0,21
Labridae	Moy	0,51	0,49	0,46	0,46	0,44	0,32	0,46	0,38	0,55	0,38
	E-type	0,14	0,11	0,08	0,11	0,10	0,16	0,07	0,16	0,14	0,12
Planctivores	Moy	1,82	3,84	0,06	2,95	4,18	0,04	3,39	0,05	2,71	2,88
	E-type	2,82	3,77	0,01	2,35	6,00	0,01	3,20	0,01	1,45	2,26
Scorpaenidae	Moy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	E-type	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erratiques	Moy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00
	E-type	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,00	0,01
Benthiques	Moy	0,05	0,03	0,08	0,10	0,13	0,03	0,06	0,01	0,02	0,04
	E-type	0,03	0,05	0,08	0,07	0,08	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03
Cryptiques	Moy	0,09	0,08	0,09	0,19	0,17	0,03	0,06	0,02	0,03	0,05
	E-type	0,06	0,13	0,09	0,13	0,08	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04

Tableau XIII : Résultats des comparaisons des densités moyennes en fonction de la saison considérée. Les valeurs de H (résultats du test Kruskal-Wallis) et de p (risque de première espèce) sont indiquées. NS = différence non significative. * = différence significative au seuil de 5%. ** = différence hautement significative au seuil de 1%.

DENSITE	RA 35		RA 15		ROC35		ROC15	
	H	p	H	p	H	p	H	p
Totales	23.129	0.0001(**)	29.986	0.0001(**)	13.067	0.0011(*)	22.061	0.0002(**)
Top-planctivores	23.537	0.0001(**)	10.984	0.0268(*)	21.011	0.0003(**)	11.178	0.0246(*)
Commercial	23.114	0.0001(**)	30.407	0.0001(**)	24.067	0.0001(**)	7.936	0.094(NS)
Sparidae	26.94	0.0001(**)	21.150	0.0003(**)	32.438	0.0001(**)	7.483	0.1125(NS)
Labridae	11.407	0.0224(**)	26.450	0.0001(**)	2.634	0.6207(NS)	12.181	0.016(*)
Planctivores	20.465	0.0004(**)	30.037	0.0001(**)	11.326	0.0231(*)	22.396	0.0002(**)
Scorpaenidae	13.480	0.0092(**)	19.960	0.0005(**)	0.000	1.000(NS)	0.000	1.000(NS)
Erratiques	19.519	0.0006(**)	3.893	0.4207(NS)	6.962	0.1379(NS)	10.089	0.039(*)
Benthiques	9.973	0.0409(*)	9.939	0.0415(*)	13.029	0.011(*)	5.915	0.2056(NS)
Cryptiques	9.124	0.0581(NS)	22.713	0.0001(**)	11.103	0.0254(*)	6.772	0.1485(NS)

Les biomasses

Comme pour les densités, plusieurs composantes du peuplement pour les calculs des biomasses de chaque station ont été distinguées, avant et après modification du *design* des récifs (Tabl. XIV). Les biomasses moyennes sont données en grammes de poids humide par m².

Effet de la modification du design. Variations selon les stations

On retrouve les mêmes tendances évolutives sur les biomasses que pour les densités (cf. Chap. 3.2.2.). Les **biomasses totales** les plus élevées sont obtenues sur les récifs (853 à 1063 g/m² pour RA35, 262 à 294 g/m² pour RA15), valeurs toujours supérieures aux zones rocheuses (26 à 126 g/m², Tabl. XIV). Il existe un **effet profondeur** marqué, avec des biomasses plus faibles à -15 m qu'à -35 m. Aucune différence significative sur le plan statistique n'a été mise en évidence entre les deux périodes (absence « d'effet design ») aussi bien sur les récifs (RA35, H=2.149, p=0.143; malgré une diminution d'un facteur 1.2 ; RA15 H=0.587, p=0.444) que sur les roches (ROC35, H=1.672, p=0.196 ; ROC15, H=2.297, p=0.129)

Les **biomasses totales sans les planctivores** sont divisées par un facteur de 5 sur RA35 et 1.2 à 1.6 sur ROC35. En revanche, sur les stations à -15 m, les planctonophages ne contribuent que très faiblement aux biomasses totales, puisqu'elles ne représentent que 1.5 g/m² sur ROC15 et de 10 à 34.5 g/m² sur RA15 (Tabl. XIV). L'**effet de la profondeur** est également marqué pour ces espèces, avec une biomasse plus importante à -35 m qu'à -15 m. En soustrayant les planctivores, c'est désormais le récif RA15 qui montre la plus forte biomasse (228 à 284 g/m²), suivi du récif RA35 (163 à 209 g/m²) et des roches profondes (77 g/m²).

Tableau XIV : Biomasses moyennes (en gramme de poids humide par m³), en fonction de la saison considérée, pour les 4 stations (récifs artificiels RA35, RA15 ; zones rocheuses ROC35, ROC15) des différentes composantes du peuplement (biomasses totale, totale moins planctivores, espèces d'intérêt commercial, espèces planctivores, erratiques, benthiques et cryptiques) et des principales familles (Sparidae, Labridae, Scorpaenidae). Av. = avant modification (Eté et Automne 1997). Ap. = après modification du design (Hiver 97, Printemps et Automne 1998). Les écart-types sont également indiqués.

BIOMASSE		RA 35		RA 15		ROC35		ROC15	
		Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.
Totales	Moy	1063,2	853,5	262,5	293,9	125,6	94,1	49,7	26,2
	E-type	1423,6	2645,8	113,9	140,9	131,8	132,9	48,1	14,8
Total -planct	Moy	208,9	163,1	228,0	283,6	78,6	76,8	48,1	24,7
	E-type	220,4	183,6	76,1	138,6	73,7	127,2	46,5	14,1
Commercial	Moy	1000,0	823,2	206,6	260,1	110,0	66,5	33,7	11,7
	E-type	1431,7	2648,6	78,4	137,2	131,2	126,8	46,3	13,2
Sparidae	Moy	176,9	35,5	107,5	93,7	40,9	25,3	15,9	6,5
	E-type	216,4	45,3	77,0	46,0	34,2	49,4	21,0	10,3
Labridae	Moy	18,5	13,4	23,2	23,5	10,7	13,2	14,8	11,9
	E-type	9,8	5,7	15,5	17,7	4,2	5,0	9,6	6,5
Planctivores	Moy	854,2	690,4	34,5	10,3	47,0	17,3	1,6	1,5
	E-type	1305,6	2581,9	78,4	23,3	112,8	29,2	3,6	5,1
Scorpaenidae	Moy	0,0	5,7	23,4	29,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	E-type	0,0	10,6	16,0	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Erratiques	Moy	87,9	0,0	20,3	12,6	2,7	0,0	13,8	0,0
	E-type	192,6	0,0	46,7	25,1	10,7	0,0	30,6	0,0
Benthiques	Moy	2,9	3,5	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0
	E-type	1,0	1,7	0,1	0,4	0,1	0,2	0,0	0,1
Cryptiques	Moy	3,7	107,8	87,3	158,2	18,0	30,9	0,1	0,1
	E-type	0,9	173,1	66,1	131,9	70,7	117,7	0,1	0,1

L'effet des filières apparaît toutefois négatif, avec une diminution significative d'un facteur 1.3 des biomasses entre les deux périodes (H=3.966, p=0.046). Pour le récif RA15 et les deux zones rocheuses, les biomasses sont restées stables, avec des différences non significatives : RA15 H=1.448, p=0.229 ; ROC15 H=2.55, p=0.11 ; ROC35 H=2.143, p=0.143).

Les biomasses en **espèces d'intérêt commercial** varient d'un facteur 100 selon les stations (entre 12 et 1000 g/m²), mais ne montrent pas d'évolution significative, sauf pour ROC35 où une diminution est enregistrée (passe de 110 à 66 g/m², H=3.626, p=0.056, en limite du seuil de 5%). Les **espèces erratiques** diminuent entre les deux périodes, aussi bien sur les récifs que sur les roches.

Les biomasses en **Sparidae** montrent des différences très nettes sur le RA35 (passe de 177 à 35 g/m², soit une diminution d'un facteur 5, H=14.511, p=0.0001) et sont en limite de significativité sur les roches. En revanche, les biomasses restent stables sur RA15 (passe de 107 à 94 g/m²). A signaler que la quantité de Sars est 2.6 fois plus importante sur RA15 que sur RA35. Comme pour les densités, les biomasses des

Labridae sont stables entre les deux périodes pour les 4 stations. Les valeurs restent toutefois faibles (maximum de 23 g/m² sur le RA15 qui présente des valeurs 2 fois plus élevées que sur les trois autres stations, Tabl. XIV).

Les biomasses en espèces **planctivores** sont beaucoup plus importantes (25 à 70 fois plus) sur RA35 que sur RA15. Après la modification du *design*, les biomasses diminuent d'un facteur de 3 sur RA15 (passe de 34 à 10 g/m²), de 2.7 sur ROC35 (47 à 17 g/m²) et de 1.2 pour RA35 (854 à 690 g/m²). Toutefois, aucune de ces différences n'est significative, compte tenu de la variabilité élevée liée à l'effet saisonnier.

Comme pour les densités, les biomasses en **Scorpaenidae** sont plus élevées sur les récifs artificiels après la modification de leur *design*. Les Rascasses et Chapons passent de 23 à 30 g/m² sur RA15 (augmentation d'un facteur 1.3) et atteignent 6 g/m² sur RA35. La même tendance est observée pour les **espèces cryptiques**, qui passent de 87 à 158 g/m² sur RA15 ($H=4.983$, $p=0.025$, soit un accroissement d'un facteur 1.8) et de 4 à 108 g/m² sur RA35 ($H=13.764$, $p=0.0002$, multiplication par 29 des biomasses). A l'opposé, les fluctuations enregistrées entre les deux périodes sur les roches témoins ne sont pas significatives.

En considérant les **pourcentages de contribution** de chaque composantes du peuplement (Tabl. XV), on constate que les **espèces planctivores** sont surtout bien représentées sur les stations profondes, surtout pour RA35 où elles contribuent à 81% des biomasses et dans une moindre mesure sur ROC35, avec 18 à 37% de planctonophages. En revanche, ces espèces sont peu représentées sur les stations peu profondes (3 à 13%). La modification du *design* n'a pas entraîné de modification dans la proportion des planctonophages, qui reste stable sur RA35 et sur ROC15 entre les deux périodes. En revanche cette proportion diminue sur RA15 (passe de 13 à 3%) et ROC35 (passe de 37 à 18%).

Les **espèces d'intérêt commercial** contribuent pour 45 à 96% des biomasses selon les stations. Elles sont les mieux représentées sur RA35 (94 à 96% des biomasses totales) où elles restent stables entre deux périodes.

Des fluctuations sont en revanche observées sur les autres stations : augmentation des proportions sur RA15 (passe de 79 à 88%) après modification du *design*, diminution sur les deux roches (Tabl. XV)

Les **espèces erratiques**, assez bien représentées avant modification (en particulier sur ROC15, avec une contribution de 28%), sont en revanche quasiment absentes après modification.

Les **Sparidae** sont les mieux représentés sur RA15, où ils contribuent entre 32 et 41% des biomasses et sur les deux roches (25 à 32%), mais sont très faiblement représentés sur le récif RA35 (4 à

Tableau XV : Contribution (en pourcentage) de chaque composante du peuplement de poissons par rapport à la biomasse totale pour les 4 stations (récifs artificiels, RA35, RA15 ; zones rocheuses ROC35, ROC15). Av = avant modification (Eté et Automne 1997). Ap. = après modification du design (Hiver 97, Printemps et Automne 1998).

Pourcentage de contribution	RA 35		RA 15		ROC35		ROC15	
	Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.	Av.	Ap.
Planctivores	80,3	80,9	13,1	3,5	37,4	18,4	3,3	5,6
Commercial	94,1	96,5	78,7	88,5	87,6	70,7	67,8	44,6
Sparidae	16,6	4,2	41,0	31,9	32,6	26,9	31,9	25,0
Labridae	1,7	1,6	8,9	8,0	8,5	14,0	29,7	45,5
Scorpaenidae	0,0	0,7	8,9	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Erratiques	8,3	0,0	7,7	4,3	2,1	0,0	27,8	0,0
Benthiques	0,3	0,4	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
Cryptiques	0,3	12,6	33,2	53,8	14,4	32,8	0,1	0,2

16%). A signaler que les proportions de Sparidae diminuent sur l'ensemble des stations après modification du *design*. Les **Labridae** sont mieux représentés sur les roches que sur les récifs artificiels, en particulier sur ROC15 où les proportions atteignent 30 à 45% des biomasses, vraisemblablement du fait de la proximité de l'herbier de Posidonie. A l'opposé, sur RA35, les Labres ne contribuent qu'à moins de 2% à la biomasse totale. La contribution des **Scorpaenidae** est quasiment nulle, sauf au niveau du RA15, avec 9 à 10% de la biomasse constituée par les Rascasses et Chapons. Sur ce récif, les contributions des **espèces cryptiques** sont importantes et augmentent nettement après la modification du *design* : elles passent de 33 à 54% (Tabl. XV). Toutefois, la même tendance à l'augmentation est également mise en évidence sur les autres stations : RA35 (0.3 à 12.6%), ROC35 (14.4 à 32.8%), ROC15 (0.1 à 0.2%, espèces cryptiques quasiment pas représentées, liées à la pauvreté en cavités le long de l'arête rocheuse). L'effet *design* apparaît néanmoins assez clairement, car plus de la moitié de la biomasse du récif est constituée par des espèces cryptiques, en particulier les Congres, Murènes, mais également les Apogons et Gobies, bénéficiant de l'apport en proies et en cavités, et dans le cas des Congres et Murène, de l'espace entre les cagettes utilisé comme abri.

Variations selon la saison

Comme pour les densités, on retrouve un effet de la saison très marqué sur plusieurs des composantes des peuplements (Tabl. XVI). Toutefois, deux tendances opposées sont observées, selon la profondeur : sur les stations profondes (35 m), les fluctuations sont significatives pour les biomasses totales (varient entre 77 et 3062 g/m² pour RA35 et entre 23 et 157 g/m² pour ROC35), les biomasses sans les planctivores (RA35 : 77 à 284 g/m², ROC35 : 21 à 125 g/m²), les

espèces d'intérêt commercial (RA35 : 62 à 3043 g/m², ROC35 : 7 à 135 g/m²), les Sparidae (RA35 : 21 à 241 g/m², ROC35 : 4 à 54 g/m²) et les Labridae (RA35 : 9 à 22 g/m², ROC35 : 13 à 55 g/m²). Si les autres compartiments montrent des différences significatives sur le RA35 (biomasses en planctonophages très importantes en automne et hiver 97 (1281 à 2779 g/m²) avec une forte attraction liée à l'effet filière, différences sur les Scorpaenidae, les espèces erratiques, benthiques et cryptiques), ces biomasses ne sont pas différentes selon les saisons sur ROC35 (Tabl. XVI).

A l'inverse, l'autre tendance générale montre que sur les stations située à 15 m de profondeur, plusieurs biomasses restent stables (pas de différence sur le plan statistique), avec des fluctuations saisonnières beaucoup moins marquées qu'en profondeur : biomasses totales (varient entre 218 et 307 g/m² pour RA15 et entre 23 et 63 g/m² pour ROC15), biomasses sans les planctivores (RA15 : 77 à 284 g/m², ROC15 : 23 à 61 g/m²), espèces d'intérêt commercial (RA15 : 186 à 264 g/m², ROC15 : 8 à 44 g/m²), espèces benthiques (RA15 : 0.1 à 0.4 g/m², ROC15 : <0.1g/m²). En revanche, d'autres biomasses varient de manière significative selon les saisons. Ainsi sur le récif RA15, les Sparidae fluctuent entre 76 et 171 g/m², les Labridae entre 13 et 55 g/m², les Scorpaenidae entre 7 et 37 g/m² et les cryptiques entre 8 et 183 g/m² (Tabl. XVI).

Tableau XVI : Biomasses moyennes (en gramme de poids humide par m²), en fonction de la saison considérée (été, automne, hiver, printemps), pour les deux récifs artificiels (RA35, RA15, tableau du haut) et les deux zones rocheuses témoins (tableau du bas) des différentes composantes du peuplement (biomasses totale, totale moins planctivores, espèces d'intérêt commercial, espèces planctivores, erratiques, benthiques et cryptiques) et des principales familles (Sparidae, Labridae, Scorpaenidae). Les écart-types sont également indiqués.

BIOMASSE		RA 35					RA 15				
		E 97	A 97	H 97	P 98	A 98	E 97	A 97	H 97	P 98	A 98
Totale	Moy	77,3	1556,1	3062,8	114,4	592,4	217,9	284,9	307,6	291,5	290,8
	E-type	42,8	1528,5	6296,0	122,6	706,5	102,6	116,7	104,5	215,6	84,4
Total – planct	Moy	76,6	275,0	284,0	99,5	165,4	217,3	233,4	303,8	289,3	272,3
	E-type	42,8	244,8	213,0	118,7	200,3	102,6	63,7	103,9	212,9	79,9
Commercial	moy	62,5	1468,8	3043,2	79,5	561,6	186,3	216,8	248,8	264,3	261,1
	E-type	43,3	1564,5	6297,1	119,1	709,6	85,9	76,2	91,9	207,5	90,0
Sparidae	moy	48,8	240,9	96,8	21,1	23,8	171,1	75,7	125,9	76,5	94,5
	E-type	35,7	241,7	70,3	12,4	32,1	81,3	53,5	70,3	30,7	41,9
Labridae	moy	10,7	22,4	9,3	15,5	13,3	29,7	20,0	55,2	21,7	13,3
	E-type	3,5	9,6	5,1	7,4	3,9	22,9	9,9	18,3	4,2	7,5
Planctivores	moy	0,6	1281,0	2778,8	14,9	427,0	0,6	51,4	3,8	2,2	18,4
	E-type	0,0	1427,7	6198,8	23,8	656,7	0,0	92,5	3,0	6,1	31,7
Scorpaenidae	moy	0,0	0,0	0,0	14,7	1,2	7,0	31,6	29,5	20,2	37,1
	E-type	0,0	0,0	0,0	14,2	2,0	10,9	11,0	24,0	13,3	12,8

Erratiques	moy	0,0	131,8	0,0	0,0	0,0	20,3	20,3	24,4	0,0	17,4
	E-type	0,0	225,8	0,0	0,0	0,0	31,5	54,1	33,4	0,0	28,6
Benthiques	moy	2,0	3,3	4,1	3,0	3,7	0,0	0,2	0,1	0,4	0,1
	E-type	0,4	0,9	1,9	1,3	1,9	0,1	0,2	0,1	0,6	0,1
Cryptiques	moy	2,9	4,1	166,9	58,7	121,7	7,7	127,0	115,9	183,4	155,2
	E-type	0,8	0,7	222,5	123,3	188,1	10,5	39,2	66,8	217,5	46,4

		ROCHE 35					ROCHE 15				
BIOMASSE		E 97	A 97	H 97	P 98	A 98	E 97	A 97	H 97	P 98	A 98
Totale	Moy	77,6	154,3	51,4	22,9	157,0	29,4	63,3	33,0	27,5	22,8
	E-type	111,8	139,8	19,5	11,1	166,8	21,2	57,0	24,3	15,0	11,0
Total – planct	Moy	77,3	79,4	47,5	21,1	124,9	28,9	60,9	29,8	25,0	22,8
	E-type	111,7	46,2	19,4	11,2	168,2	21,2	55,2	23,7	14,2	11,0
Commercial	Moy	68,7	134,8	32,5	7,0	118,8	17,9	44,2	25,1	8,2	10,1
	E-type	111,8	141,2	20,1	11,5	164,8	18,8	56,7	26,2	10,3	6,4
Sparidae	Moy	18,0	54,6	21,5	4,3	41,3	11,6	18,7	18,1	5,8	3,3
	E-type	8,7	36,7	18,6	8,4	65,8	14,9	24,6	17,3	9,3	5,3
Labridae	Moy	8,3	12,2	16,8	13,5	11,9	10,6	17,6	6,4	15,5	10,8
	E-type	2,2	4,4	1,1	4,5	5,6	8,5	9,7	6,9	5,8	5,8
Planctivores	Moy	0,3	74,9	3,9	1,8	32,1	0,4	2,4	3,2	2,5	0,0
	E-type	0,2	137,4	0,8	3,4	35,8	0,0	4,6	3,2	8,0	0,0
Scorpaenidae	Moy	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	E-type	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erratiques	Moy	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	23,1	0,0	0,0	0,0
	E-type	0,0	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	37,4	0,0	0,0	0,0
Benthiques	Moy	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	E-type	0,2	0,0	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Cryptiques	Moy	47,5	0,4	0,1	0,8	61,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
	E-type	115,4	0,4	0,1	0,6	163,7	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1

Evolution à long terme des peuplements des récifs et zones naturelles

Evolution des espèces

L'évolution des espèces de poissons (présence/absence) depuis le début des suivis à Port-Cros (1986) est présenté dans le tableau XVII. Sur les 57 espèces rencontrées au total, un pool de 12 espèces est commun aux 4 stations et à l'ensemble des suivis : 4 Sparidae (Sparailon, Sar à tête noire, Canthare, Bogue), Rouget, Serran chèvre, Mendole, Castagnole et 4 Labres (Girelle, Labre méditerranéen, Labre nettoyeur et Rouqué). Toutes phases confondues, les récifs artificiels montrent toujours la plus forte diversité spécifique (50 espèces sur 57 pour RA15 soit 88% du pool d'espèces, 47 espèces pour RA35 soit 82%) par rapport aux roches (respectivement 43 et 41 espèces pour ROC35 et ROC15).

Dans cette évolution qualitative à long terme, il faut signaler l'apparition de certaines espèces comme l'Apogon⁷ et l'Anthias. Une population d'une quinzaine d'individus d'Apogon est présente sur RA15, ainsi qu'une dizaine d'Anthias sur RA35. Ces deux espèces pourraient servir d'**indices de maturité** des récifs, car elles étaient absentes des relevés réalisés entre 1986/89, les récifs étant à l'époque certainement encore en cours de colonisation et de maturation. L'apparition à long terme (10 ans) de ces 2 espèces s'observe sur d'autres récifs, comme dans les Alpes-Maritimes (CHARBONNEL et SERRE, 1999). En revanche, sur les récifs du Cap Couronne (Parc Marin de la Côte Bleue), les Anthias sont apparus seulement 18 mois après l'immersion (JOUVENEL et BACHET, 1998). Cette rapidité d'apparition semblerait être liée à la turbidité, assez élevée sur ce site (proximité du golfe de Fos). En effet, les Anthias sont des planctonophages et bénéficient de l'apport en particules.

A noter également l'apparition de la Girelle paon (*Thalassoma pavo*) entre 1989 et 1997, présente sur les deux stations à -15 m. Cette espèce thermophile présente depuis quelques années une extension de son aire de répartition géographique vers la Méditerranée Nord-occidentale, probablement du fait du réchauffement général des eaux (« *global change* », FRANCOUR *et al.*, 1994).

La Murène fait également son apparition en 1997/98 sur les deux stations à -15 m. A l'inverse, les 3 espèces de Scorpaenidae (Rascasses et Chapon) n'ont pas été retrouvées sur les deux zones rocheuses, alors qu'elles étaient présentes entre 1986 et 89 (Tabl. XVII).

Evolution des fréquences des espèces

L'évolution à long terme des fréquences des espèces (Tabl. XVIII) montre une augmentation de la catégorie espèces permanentes (passe de 24% en 1989 à 33% en 1997 sur RA15 et de 25 à 37% sur RA35), ce qui traduit une **fidélisation du peuplement sur les récifs**, systèmes sans doute plus matures sur le plan écologique en 1997 qu'en 1989.

La proportion des espèces fréquentes (probabilité de rencontre dans 50 à 75% des relevés) est également en augmentation sur RA15 (de 9 à 14%), mais reste stable sur RA35 (de 11 à 13%). A l'inverse, le pourcentage des espèces occasionnelles et rares montre une diminution depuis 1989 (Tabl. XVIII).

Un examen plus détaillé au niveau des espèces montre une tendance à la fidélisation de nombreuses espèces sur les récifs. Ainsi, quelques espèces erratiques à domaine vital étendu sont plus fréquemment observées sur les récifs en 1997 qu'en 1989. Ceci est

⁷ : L'Apogon est probablement la seule espèce de poisson qui soit strictement inféodée au récif artificiel, car ce poisson accomplit la totalité de son cycle vital sur place (HARMELIN et BELLAN-SANTINI, 1997). Un comportement de parade nuptiale précédant la reproduction a en outre été observé au printemps 1999.

particulièrement visible pour les Sparidae, notamment la Daurade (passe de 15 à 33% sur RA15 et de 0 à 33% sur RA35), le Charax (de 19 à 28% sur RA15 et de 19 à 44% sur RA35), l'Oblade (de 27 à 72% sur RA15 et de 0 à 22% sur RA35) et la Saupe (de 42 à 61% sur RA15 et de 5 à 22% sur RA35). Ce phénomène de fidélisation concerne également d'autres Sparidae : Sparailon (la fréquence passe de 27 à 67% sur RA15 et de 38 à 83% sur RA35), Sar commun (81 à 89% sur RA15, 19 à 61% sur RA35) et Canthare sur le RA15 (passe de 35 à 72%).

Tableau XVII : Evolution de la composition spécifique de l'ichtyofaune (espèce, nom vernaculaire) recensée sur les différentes stations (récifs, zones rocheuses) aux cours des suivis successifs. 1 = phase 1 (1986/87), 2 = phase 2 (1988/89), 2' = phase 2 + 8 ans (1997), 3 = phase 3, après modification du *design* (1997/98). Les principales espèces d'intérêt commercial sont indiquées en gras. Tr. = catégorie trophique (cf. Tabl. III).

Stations	Espèces	RA15				RA35				ROC15				ROC35				
		Tr	1	2	2'	3	1	2	2'	3	1	2	2'	3	1	2	2'	3
	<i>Boops boops</i> (Bogue)	Mi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Diplodus annularis</i> (Sparailon)	M2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Diplodus puntazzo</i> (Charax)	M2	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Diplodus sargus</i> (Sar commun)	M2	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Diplodus vulgaris</i> (Sar à tête noire)	M2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Oblada melanura</i> (Oblade)	M2	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	<i>Lihognathus mormyrus</i> (Marbré)	M2	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Sarpa salpa</i> (Saupe)	He	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Sparus aurata</i> (Daurade)	M2	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-
	<i>Pagrus pagrus</i> (Pagre)	Ma	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
	<i>Dentex dentex</i> (Dent)	Ma	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	<i>Pagellus erythrinus</i> (Pageot)	M2	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-
	<i>Spondyliosoma cantharus</i> (Canthare)	M2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Mugil sp.</i> (Mulet)	Mi	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Chromis chromis</i> (Castagnole)	Mi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Spicara maena</i> (Mendole)	Mi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Spicara smaris</i> (Jarret)	Mi	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+
	<i>Mullus surmuletus</i> (Rouget)	M2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Scorpaena notata</i> (Petite rascasse)	Ma	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-
	<i>Scorpaena porcus</i> (Rascasse brune)	Ma	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-
	<i>Scorpaena scrofa</i> (Chapon)	Ma	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-
	<i>Anthias anthias</i> (Barbier)	Mi	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	<i>Serranus cabrilla</i> (Serran chèvre)	Ma	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Serranus scriba</i> (Serran écriture)	Ma	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+
	<i>Serranus hepatus</i> (Serran hépate)	Ma	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Coris julis</i> (Girelle)	M1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Thalassoma pavo</i> (Girelle royale)	M1	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
	<i>Labrus bimaculatus</i> (Coquette)	M1	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-
	<i>Labrus merula</i> (Merle)	M1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	<i>Labrus viridis</i> (Labre vert)	M1	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-
	<i>Symphodus cinereus</i> (Labre cendré)	M1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
	<i>Symphodus dodetleini</i> (Labre de Doderlein)	M1	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

<i>Symphodus ocellatus</i> (Labre ocellé)	M1	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Symphodus mediterraneus</i> (Labre méditerranéen)	M1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Symphodus melanocercus</i> (Labre nettoyeur)	M1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Symphodus rostratus</i> (Sublet)	M1		+	+	+			+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Symphodus tinca</i> (Rouquié)	M1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Symphodus roissali</i> (Labre de Roissal)	M1	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Ctenolabrus rupestris</i> (labre rupestre)	M1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Conger conger</i> (Congre)	Ma	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+
<i>Muraena helena</i> (Murène)	Ma	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Sciaena umbra</i> (Corb)	M2	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Seriola dumerilii</i> (Sérlote)	Ma	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
<i>Torpedo marmorata</i> (Torpille)	M2	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Zeus faber</i> (Saint Pierre)	M2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phrynothombus regius</i> (Turbot de grotte)	M2	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Apogon imberbis</i> (Apogon)	Mi	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+
<i>Parablennius gattorugine</i> (Cabot)	M2	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-
<i>Parablennius rouxi</i> (Blennie de Roux)	M2	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gobius luteus</i> (Gobie jaune)	M2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Gobius geniporus</i> (Gobie joue poreuse)	M2	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
<i>Gobius cruentatus</i> (Gobie ensanglanté)	M2	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gobius sp.</i> (Gobie)	M2	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thorogobius ephippiatus</i> (Gobie léopard)	M2	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Pseudaphya ferreni</i> (Gobie pélagique)	M2	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>Tripterygion melanurus</i> (Triptérygion tacheté)	M2	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+
<i>Tripterygion delaisi</i> (Triptérygion)	M2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
Nombre total d'espèces		32	38	36	43	26	32	32	36	33	30	34	31	35	27	30	28	

Certaines espèces ayant un contact plus étroit avec les récifs ont une fréquence de présence qui augmente également, surtout sur RA15 : Chapon (27% de présence en 1989 contre 78% en 1997), Murène (0 à 11%) Serran écriture (4 à 39%) et Gobie jaune (4 à 33%, Tabl. XVIII). Pour le Corb, espèce emblématique présente uniquement sur RA15, on peut également noter une fidélisation marquée, sa fréquence passant de 8% en 1989 à 61% en 1997.

Evolution de la richesse spécifique et des densités

Concernant la richesse spécifique, deux tendances contradictoires sont mises en évidence entre le nombre total d'espèces et le nombre moyen d'espèces par relevé (Tabl. XIV). Le nombre total d'espèces rencontrées est resté stable en l'espace de 8 ans sur RA35 (32 espèces), alors que ce nombre diminue sur RA15 (38 espèces en 1989

Tableau XVIII : Evolution des fréquences (% de présence des principales espèces et par catégories) sur les deux récifs artificiels de Port-Cros (RA15, RA35). 1 = phase 1 (1986/87), 2 = phase 2 (1988/89), 2' = phase 2 + 8 ans (1997). NB. Certaines espèces, pourtant présentes, ne sont pas mentionnées dans ce tableau (faible fréquence).

Espèces	RA 15			RA 35		
	1	2	2'	1	2	2'
<i>Diplodus annularis</i> (Sparaillon)	56	27	67	5	38	83
<i>Diplodus puntazzo</i> (Charax)	6	19	28	0	19	44
<i>Diplodus sargus</i> (Sar commun)	17	81	89	0	19	61
<i>Diplodus vulgaris</i> (Sar à tête noire)	61	100	100	55	100	100
<i>Oblada melanura</i> (Oblade)	6	27	72	0	0	22
<i>Sarpa salpa</i> (Saupe)	11	42	61	0	5	22
<i>Sparus aurata</i> (Daurade)	0	15	33	0	0	33
<i>Pagrus pagrus</i> (Pagre)	17	27	0	5	24	0
<i>Spondylisoma cantharus</i> (Canthare)	39	35	72	45	38	11
<i>Mullus surmuletus</i> (Rouget)	33	27	17	25	33	28
<i>Scorpaena notata</i> (Petite rascasse)	6	58	0	0	10	6
<i>Scorpaena porcus</i> (Rascasse brune)	33	35	11	0	0	0
<i>Scorpaena scrofa</i> (Chapon)	28	27	78	15	0	11
<i>Anthias anthias</i> (Barbier)	0	0	17	0	29	94
<i>Serranus cabrilla</i> (Serran chèvre)	100	100	100	100	100	100
<i>Serranus scriba</i> (Serran écriture)	0	4	39	0	0	0
<i>Coris julis</i> (Girelle)	100	96	100	100	100	100
<i>Thalassoma pavo</i> (Girelle royale)	0	0	11	0	0	0
<i>Labrus bimaculatus</i> (Coquette)	0	0	0	50	0	78
<i>Labrus merula</i> (Merle)	11	23	17	0	5	0
<i>Labrus viridis</i> (Labre vert)	11	27	39	0	0	11
<i>Symphodus cinereus</i> (Labre cendré)	17	0	22	30	10	0
<i>Symphodus doderleini</i> (Labre de Doderlein)	0	85	39	10	19	50
<i>Symphodus ocellatus</i> (Labre ocellé)	28	46	39	0	0	33
<i>Symphodus mediterraneus</i> (Labre méditerranéen)	89	92	100	100	100	100
<i>Symphodus melanocercus</i> (Labre nettoyeur)	50	69	78	80	95	89
<i>Symphodus rostratus</i> (Sublet)	0	4	6	0	0	0
<i>Symphodus tinca</i> (Rouquié)	78	85	100	70	90	56
<i>Symphodus roissali</i> (labre de Roissal)	33	0	0	0	0	0
<i>Muraena helena</i> (Murène)	0	0	11	0	0	0
<i>Sciaena umbra</i> (Corb)	0	8	61	0	0	0
<i>Apogon imberbis</i> (Apogon)	0	0	83	0	0	11
<i>Parablennius rouxi</i> (Blennie de Roux)	39	62	83	0	71	83
<i>Gobius luteus</i> (Gobie jaune)	6	4	33	5	52	11
<i>Gobius geniporus</i> (Gobie joue poreuse)	0	0	0	5	67	100
<i>Tripterygion xanthosoma</i> (Tryptérygion)	78	77	78	10	19	6
Sp. Permanentes (75 à 100 %)	18	24	33	18	25	37
Sp. fréquentes (50 à 75%)	11	9	14	14	11	13
Sp. occasionnelles (25 à 50%)	25	29	20	14	18	16
Sp. rares (0 à 25%)	46	38	33	55	46	34

vs. 36 espèces en 1997). Il faut néanmoins préciser qu'en 1989, certaines espèces n'ont été rencontrées qu'exceptionnellement et pouvaient être considérées comme accidentelles (ex. Marbré, Mulet).

Sur les roches, on note une augmentation du nombre d'espèces (passe de 30 à 34 sur ROC15 et de 27 à 30 sur ROC35). Toutefois, la richesse spécifique sur les roches fluctue d'une phase à l'autre, puisque lors de la phase 3 (comptages entre l'hiver 97 et l'automne 98, après modification du *design* des récifs), elle diminue à nouveau, comme entre la phase 1 et 2 (Tabl. XVII et XIX).

En revanche, la richesse spécifique moyenne (nombre d'espèces par relevé) montre une augmentation importante en l'espace de 8 ans, aussi bien sur les récifs que pour les zones rocheuses (Tabl. XIX). Sur les récifs, cette augmentation atteint 5 espèces en moyenne (passe de 13.5 à 18.3 espèces/relevé sur RA15 et de 11.5 à 16.3 sur RA35). Sur les roches, l'augmentation est plus faible (passe de 12.1 à 15.1 espèces/relevé sur ROC15 et de 12.2 à 14.9 sur ROC35), soit en moyenne 3 espèces de plus en 1997 qu'en 1989.

Les densités totales sans les espèces planctonophages (Bogues, Mendoles et Castagnoles) sont restées globalement stables sur les zones rocheuses entre 1989 (phase 2) et 1997 (phase 2+8 ans) : 0.86 ind./m² vs. 0.89 ind./m² sur ROC15 et 1.04 ind./m² vs. 0.96 ind./m² sur ROC35 (Tabl. XIX). Sur les récifs artificiels, la densité augmente fortement sur RA35 (passe de 0.87 ind./m² en 1989 à 1.65 ind./m² en 1997), et très faiblement sur RA15 (passe de 1.06 ind./m² à 1.26 ind./m²).

Tableau XIX : Evolution des richesses spécifiques totale (RST) et moyenne (RSM) et de la densité (nombre d'individus/m² sans les planctivores) sur les différentes stations (récifs artificiels RA15, RA35 ; zones rocheuses ROC15, ROC35) entre les 3 phases successives. Phase 1 (Ph.1)=1986/87, Phase 2 (Ph.2)=1988/89, Phase 2+8ans (Ph.2+8)=1997, Phase 3 (Ph.3)=1997/98.

	RA15				RA35			
	Ph.1	Ph.2	Ph.2+8	Ph.3	Ph.1	Ph.2	Ph.2+8	Ph.3
RST	32	38	36	43	26	32	32	36
RSM	9.9	13.5	18.3	19.2	7.4	11.5	16.3	15.1
Densité	0.58	1.06	1.26	1.41	0.57	0.87	1.65	1.05
	ROC15				ROC35			
	Ph.1	Ph.2	Ph.2+8	Ph.3	Ph.1	Ph.2	Ph.2+8	Ph.3
RST	33	30	34	31	35	27	30	28
RSM	12.3	12.1	15.1	12.9	13.4	12.2	14.9	14.1
Densité	0.98	0.86	0.89	0.81	1.21	1.04	0.96	1.26

SYNTHESE DES OBSERVATIONS ET DISCUSSION

Les récifs artificiels sont plus efficaces que les roches

Ce suivi confirme le fait, si besoin était, que les récifs artificiels sont plus performants sur le plan biologique que les roches naturelles. Les récifs présentent un nombre d'espèces, des densités et biomasses plus élevées que les roches témoins. Cette meilleure efficacité biologique est directement liée à la mise à disposition d'abris de taille variée. Les récifs montrent en effet un caractère plus attractif s'ils offrent un réseau cavitaire complexe, avec des anfractuosités.

Sur le plan qualitatif, en prenant en compte les différentes catégories d'occupation spatiale du domaine vital de chaque espèce (HARMELIN, 1987), ce sont les espèces appartenant à la catégorie 5 (Labridae, Serranidae, etc) qui dominent le peuplement (30 à 40%), suivies par la catégorie 6 (espèces cryptiques à forte sédentarité, 17 à 30%) et la catégorie 3 (Sparidae, 20 à 22%). On retrouve cette répartition aussi bien sur les récifs artificiels que sur les zones rocheuses. A signaler néanmoins que les espèces cryptiques sont mieux représentées sur les récifs (11 et 12 espèces) que sur les roches (6 et 8 espèces), vraisemblablement du fait de la disponibilité plus importante en habitats de type anfractueux sur les récifs. Les deux récifs présentent toujours un stock spécifique plus important que les deux roches, à la fois pour le nombre total d'espèces que pour le nombre moyen et ce, aussi bien avant qu'après modification du *design* et quelle que soit la saison considérée (classiquement, on observe un nombre d'espèces plus élevé en automne et en été (saisons chaudes), et une tendance générale à la baisse en hiver et au printemps (saisons froides). Le récif RA15 présente la plus forte richesse spécifique (44 espèces, soit 92% du pool total d'espèces), suivi par RA35 (37 espèces) et les roches (36 et 32 espèces). A noter l'effet prépondérant de la profondeur, qui se traduit par une diminution du nombre d'espèces entre -15 m et -35 m, aussi bien sur les roches (observations similaires à celles d'HARMELIN (1990) sur le coralligène de Port-Cros) que sur les récifs.

Les espèces permanentes (probabilité de rencontre >75%) sont moyennement représentées (22 à 31% des espèces) et ce sont les espèces rares qui dominent (43 à 50%), aussi bien sur les récifs que sur les roches. Il convient de rappeler que ce renouvellement important en espèces (*turn-over*) est caractéristique des récifs artificiels. En effet, ces habitats ne constituent pas un système clos et il existe de nombreux échanges et déplacements d'espèces avec les zones périphériques des récifs (roches, herbier, substrats meubles). Ainsi, plusieurs espèces n'utilisent le récif qu'une partie de la journée, de la saison, de l'année ou de leur cycle de vie et les déplacements sont également fonction des besoins spécifiques de chaque espèce (recherche de nourriture, d'abris) selon la période de leur vie (ex. période de croissance ou de reproduction, HARMELIN et BELLAN-SANTINI, 1997).

L'effet de la saison **sur le plan quantitatif** est très important, avec selon le schéma classique moins d'individus en hiver et au printemps qu'en automne et en été. Les densités et les biomasses sont plus élevées sur les récifs que sur les roches. On peut remarquer que les espèces planctivores contribuent de manière importante aux densités totales, entre 70 et 90% selon les stations. Cette dominance numérique a été signalée par HARMELIN (1990) sur les roches coralligènes de Port-Cros (80 à 85%). En soustrayant les Mendoles, les Bogues et les Castagnoles, les valeurs des densités sont divisées par un facteur de

3 à 10. Les récifs présentent une densité sans les planctivores de 1 à 1.6 ind./m², contre 0.8 à 1.3 ind./m² pour les roches. Le récif RA15 montre la plus forte biomasse (228 à 284 g/m²), suivi du récif RA35 (163 à 209 g/m²) et des roches profondes (77 g/m²). Il existe un **effet profondeur** marqué, pour de nombreuses composantes du peuplement. Les espèces planctivores sont surtout bien représentées sur les stations profondes (elles contribuent à 81% des biomasses sur RA35) mais sont très faiblement représentées sur les stations peu profondes (3 à 13%). Les Sparidae sont les mieux représentés sur RA15, où ils contribuent entre 32 et 41% des biomasses et sur les deux roches (25 à 32%), mais ne le sont que très faiblement sur le récif RA35 (4 à 16%, quantité de Sars 2.6 fois plus faible que sur RA35). Les Labridae sont mieux représentés sur les roches que sur les récifs artificiels, en particulier sur ROC15 où les proportions atteignent 30 à 45% des biomasses, vraisemblablement du fait de la proximité de l'herbier de Posidonie.

Evolution à long terme de l'ichtyofaune

Un effet de maturation à long terme des peuplements de poissons est observé sur les récifs artificiels (phénomène de « colonisation lente »), puisque 8 ans après la première modification du *design* (ajout de plaque et parpaings en 1988), la plupart des paramètres biologiques sont en augmentation en 1997 (richesse spécifique moyenne, fréquence des espèces et densités). Cette notion de « colonisation lente » avait déjà été évoquée par ODY (1990) et a été mise en évidence dans la présente étude sur une échelle temporelle plus importante (8 années). Ainsi, le récif semble atteindre sa capacité de charge ou d'accueil (« *carrying capacity* ») à long terme avec la poursuite des phénomènes de colonisation sur une longue période, doublé d'une fidélisation de nombreuses espèces, rencontrées plus fréquemment. En l'absence d'autre modification de l'architecture des récifs, il semble désormais probable que leurs peuplements aient désormais atteint un équilibre (niveau maximal de colonisation, fonction des ressources disponibles, ressources trophiques et en habitat, exploitées par chaque espèce).

Cet effet de maturation des peuplements à long terme a également été observé sur les récifs du Parc Marin de la Côte Bleue (CHARBONNEL et FRANCOUR, 1994 ; CHARBONNEL *et al.*, 2000), sur des récifs ouverts à la pêche, donc n'ayant pas atteint à *priori* leur capacité d'accueil maximale. En effet, si la protection n'est pas intégrale, ce qui est le cas pour la quasi-totalité des zones littorales, celles-ci semblent donc assez loin d'avoir atteint leur « *carrying capacity* » maximale, du fait de la pression de pêche importante exercée (Mireille HARMELIN-VIVIEN, *comm. pers.*). Les récifs de Port-Cros sont dans un contexte différent car ils bénéficient d'une protection intégrale. En l'absence de prédation humaine, on peut souligner un effet de « vieillissement » marqué de certaines populations de prédateurs,

ceux-ci étant de très grande taille, alors que sur les récifs ouverts à la pêche, ces classes de tailles sont rarement ou pas rencontrées. Ce phénomène est particulièrement visible sur RA15, avec un groupe de 5 gros individus de Sar commun (*Diplodus sargus*), dont un de taille exceptionnelle, qui a toujours été observé avec une territorialité très marquée vis à vis du récif (localisation des Sars à l'intérieur même du récif ou à proximité immédiate). Un à deux très gros Chapons et un Congre et Murène sont également présents sur RA15. Ces espèces piscivores conditionnent et régulent probablement les autres populations inféodées au récif (relation proie/prédateur). Cet effet attractif des récifs pour de grands individus se retrouve également sur les épaves de bateaux, ou un « gigantisme » des individus de certaines espèces est observé (ex. cas de la Barge aux Congres à Port-Cros, CHARBONNEL et Le DIREAC'H, *en prep.*).

Ainsi, la maturation des récifs se traduit par une augmentation du stock de reproducteurs potentiels, avec des individus de grande taille, ce qui traduit un « effet réserve » et un « effet refuge » des récifs (CHARBONNEL *et al.*, 2000). La présence accrue de reproducteurs de grande taille est plus accentuée sur les récifs que sur les roches à Port-Cros et est également amplifiée par rapport à d'autres récifs ouverts à la pêche. C'est comme si on obtenait un « effet réserve » supplémentaire à l'intérieur même d'une réserve, bénéficiant déjà d'un « effet réserve » !

En outre, le rendement reproductif des grands individus étant très largement supérieur à celui des reproducteurs de petite taille, un effet bénéfique des réserves pour les zones périphériques est attendu (ROBERTS et POLUNIN, 1991 ; BONHSACK, 1993 ; FRANCOUR, 1994). Ce phénomène s'observe également sur les récifs, à une plus petite échelle spatiale.

Effet de la modification de l'architecture

On peut noter en préambule que l'effet de la saison est prépondérant et masque souvent les différences⁸ qui apparaissent entre les valeurs. Malgré ce facteur saisonnier, plusieurs tendances apparaissent néanmoins clairement. **Sur le plan qualitatif**, la complexification de l'architecture a entraîné une augmentation du nombre total d'espèces (passe de 36 avant modification à 43 après modification du *design* sur RA15 et de 32 à 36 espèces sur RA35). La modification du stock spécifique global est importante, avec un *turn-over* considérable en espèces entre les deux périodes.

Augmentation de la ressource trophique sur le récif RA15. Sur le récif RA15, on constate une apparition de 8 nouvelles espèces après l'ajout des cassons de briques et parpaings (4 espèces cryptiques :

⁸ : Du fait de la variabilité importante, les tests statistiques ne mettent pas forcément en évidence les effets de la modification du design, qu'ils soient positifs (augmentation des abondances) ou négatifs (diminution des abondances).

Congre, petite Rascasse rouge et 2 gobies ; 2 espèces erratiques piscivores : Pagre et Sériole, ainsi que le labre Coquette et le Jarret, espèce planctonophage) contre la « disparition » d'une seule espèce (Girelle paon). En outre on observe une fidélisation de la Rascasse rouge (+61% de présence) et du Congre (+27%). **Sur le plan quantitatif**, l'effet des apports en cassons apparaît nettement sur le récif RA15 pour les **espèces cryptiques**, avec une augmentation des densités d'un facteur 1.6 (plus de 0.4 ind/m² après modification, soit une contribution à la densité totale qui passe de 4 à 11%) et des biomasses d'un facteur 1.8 (passe de 87 à 158 g/m²). Ces espèces cryptiques représentent plus de la moitié de la biomasse du récif. A noter également que 10% de la biomasse totale est constituée par les Rascasses et Chapons. Cet accroissement pourrait être lié à une augmentation de la disponibilité en proies sur le récif (faune vagile), mais également à un apport de micro-habitats supplémentaires constitués par les petites cavités entre les cassons. Ce réseau cavitaire est favorable notamment aux espèces de petite taille (Gobies, Apogon) et permet également au Congre et à la Murène de bénéficier d'habitats, ces espèces utilisant l'espace entre les cagettes comme abri.

Concernant les autres espèces, l'effet de la modification est beaucoup moins évident. Les évolutions des densités et biomasses de nombreuses composantes du peuplement ne sont pas significatives, malgré quelques tendances à l'augmentation (ex. densités des espèces commerciales multipliées par un facteur 2.4). ODY (1990) et CHARBONNEL et SERRE (1999) ont souligné le fait que la présence d'un réseau cavitaire complexe a un effet positif sur les espèces à grande amplitude de déplacement, notamment les Sparidae. Cette tendance n'a pas été vérifiée dans notre travail, avec des densités et biomasses des Sars globalement stables entre les deux périodes, malgré une augmentation théorique des ressources trophiques du récif et de sa micro-rugosité. Néanmoins, lors des comptages, un groupe de 5 *Diplodus sargus* de grande taille semble directement exploiter les ressources trophiques du récif et les Sars commun se nourrissent dans les cagettes (souvent observés en train de brouter les cassons, bénéficiant de l'apport potentiel en proies) et sur les arêtes des modules cubiques. Ces Sars utilisent également le récif comme abri (fidélité stationnelle et territorialité marquée). A signaler que la biomasse des Sparidae est 2.6 fois plus importante sur RA15 (94 g/m²) que sur RA35 (35 g/m²) et que leur contribution aux biomasses totales est élevée (32 à 41%).

Hormis pour les espèces cryptiques, les résultats sont relativement décevants et s'expliquent vraisemblablement par la faiblesse des apports en cassons de briques et parpaings, qui ne représentent qu'un accroissement de 4.5% du volume initial du récif ; mais également par la dispersion de plusieurs cagettes de cassons lors des tempêtes hivernales. Une expérience similaire conduite dans les Alpes-Maritimes

sur un module grand volume (Bonna 158 m³) rempli sur une hauteur de 4 m de 40 m³ de parpaings et hourdis montre une augmentation spectaculaire du nombre d'espèces (multiplié par 2), des densités (x10) et des biomasses (x50), en particulier pour les Sparidae (densité x48 et biomasse x15, *in* CHARBONNEL et SERRE, 1999). Dans ce cas, l'apport très important en matériaux n'a pas été un facteur limitant comme à Port-Cros. Il faut également ajouter que l'apport de parpaings, hourdis et dalles, tel qu'il avait été expérimenté en 1988 (ODY, 1990), crée une diversité tridimensionnelle utilisable par des espèces de taille moyenne (Sars, Labres), ce qui n'est pas le cas des cassons dont l'objectif, rappelons le, était d'apporter de nouvelles ressources trophiques. Cependant, ces cassons créent des abris supplémentaires utilisables pour les petites espèces cryptiques. Au total, soit « l'effet abri » est prépondérant sur « l'effet trophique » dans l'attractivité des récifs artificiels, soit les quantités de cassons ajoutées sont insuffisantes pour créer une augmentation significative de la ressource trophique.

Influence des filières sur le récif RA35. Sur le RA35, les **espèces planctonophages** deviennent plus fréquentes après la mise en place du dispositif de filières (Bogue +26%, Jarret +24%). L'effet filière est manifeste sur ces espèces de pleine eau, dont les effectifs augmentent immédiatement après la mise en place des filières en automne 97. Ce phénomène d'attraction des planctonophages est doublé d'une fidélisation au cours de l'hiver 97, soit 2 mois après la modification (densités moyennes de 18 ind./m²). En outre, les planctonophages se maintiennent au cours des saisons suivantes à un niveau très élevé, puisque leurs densités (6.5 à 9.3 ind./m²) sont trois fois plus élevées que sur RA15 (2.2 à 4 ind./m²) et deux fois plus que sur la zone témoin voisine ROC35 (2.9 à 4.2 ind./m²). Leurs biomasses sont 20 à 70 fois plus élevées sur RA35 (690 à 854 g/m²) que sur RA15 (10 à 35 g/m²). Les Mendoles, Castagnoles et Bagues forment des bancs importants (2 à 3000 individus) autour des filières, principalement au niveau des entretoises en PVC reliant horizontalement les filières. L'attraction et l'agrégation de ces espèces résulte probablement du fait de la forme élevée du dispositif (thigmotactisme, *in* LEFEVRE *et al.*, 1984), créant un repère et une discontinuité verticale dans la colonne d'eau.

Hormis cet « effet filière » sur les espèces planctonophages, le couplage DCP⁹/Récif tel que nous l'avons conçu et expérimenté à Port-Cros s'est révélé assez décevant, en particulier pour les espèces erratiques ichtyophages (*Ex. Sériole, Denti, Pagre*) qui n'ont jamais été

⁹ : DCP= Dispositif Concentrateur de Poissons (FAD en anglais). Les DCP sont largement utilisés dans le monde, en particulier dans les régions où les fonds atteignent rapidement des grandes profondeurs. Ainsi, à Hawaï, on estime que 25% des captures de la pêche professionnelle et récréative provient des DCP (HIGASHI, 1994). En Méditerranée les DCP flottants en Italie, conçus simplement avec des feuilles de palmier (« Cannizzi ») connaissent un vif succès, puisque près de 9000 dispositifs sont employés par les pêcheurs, principalement pour la capture de Coryphènes (*Coriphaena hippurus*). Onze espèces sont recensées régulièrement autour des DCP, parmi lesquelles Carangue, Coryphène, Thon, 2 espèces de Sériole et mérou Polyprion (ANDALORO *et al.*, 1999).

observées autour des filières au cours du suivi, sauf un groupe d'une dizaine de Daurades patrouillant en pleine eau à proximité des filières, immédiatement le jour suivant la mise en place du dispositif. On peut néanmoins espérer que si la présence de grands bancs de « poissons fourrage » se pérennise sur les filières, les grands prédateurs finiront par être attirés par ces proies. Hormis pour les espèces planctonophages, l'impact des filières s'est même révélé être négatif sur plusieurs composantes du peuplement, avec des densités et biomasses (sans les planctivores) plus faibles après la modification du *design* (passe de 1.65 à 1.05 ind/m² et de 209 à 163 g/m²), en particulier pour les Sparidae (la densité passe de 0.97 à 0.3 ind/m², la biomasse diminue d'un facteur 5, de 177 à 35 g/m²). En revanche, malgré une apparente diminution, les densités et biomasses totales sont stables, de même pour les espèces d'intérêt commercial, les Labridae et les espèces benthiques. A signaler que l'impact des filières semble toutefois positif, mais sur les espèces cryptiques, ce qui est assez paradoxal. Cette augmentation peut s'expliquer par la variabilité naturelle, car la même tendance évolutive est observée sur les roches témoins (ROC35).

Pour obtenir un effet filière plus significatif, le dispositif créé par le réseau de filières mériterait sans doute d'être amélioré, notamment au niveau des entretoises, en augmentant par exemple les zones d'ombre, comme ce qui a été réalisé en Ligurie par RELINI *et al.* (1995). Ces auteurs ont réalisé un DCP expérimental, en créant une petite plate forme flottante au dessus des récifs de Loano (golfe de Gènes), en assemblant 30 casiers en plastique sur une longueur de 2.5 m pour une largeur de 1.8 m. Complété par une vieille voile de 3 m², ce dispositif très simple a permis de multiplier par un facteur 3 les densités, en particulier pour les espèces de pleine eau (Oblades) et planctonophages (Castagnoles, Jarrets et surtout Mendoles, densité 17 fois plus élevée). En outre, ce système semble également attirer le Sar commun (densité de *Diplodus sargus* 3.5 fois plus élevée), qui utilise les nouvelles ressources trophiques créées par le fouling sur le DCP (RELINI *et al.*, 1995). Ainsi, le couplage de DCP de type filières avec des récifs artificiels sur le fond représente un moyen simple et peu onéreux pour augmenter l'efficacité biologique d'un récif artificiel. En effet, le DCP utilisé seul présente un intérêt limité car on observe uniquement un phénomène de concentration de biomasse, par agrégation de poissons autour des filières. A l'inverse, la présence simultanée de filières et d'un récif sous-jacent permet de fournir des habitats / abris et de la nourriture aux populations de poissons attirées par le dispositif flottant (ex. à Port-Cros, les Mendoles et Castagnoles sont en pleine eau autour des filières la journée et dorment dans le récif et sur le fond la nuit). En outre, le couplage récif/filière présente un intérêt paysager pour la plongée, grâce au réseau de filière créant une perspective sous-marine esthétique et très originale (dispositif tridimensionnel).

Au total, l'effet du *design* des récifs (son architecture, sa complexité, sa structure tridimensionnelle) est clairement démontré à Port-Cros, aussi bien au cours de la première modification en 1988 (ajout de dalles en béton et parpaings, ODY, 1990) que lors de la présente modification en 1997.

Sur le récif à -35 m, la complexification du *design* par la mise en place des filières se traduit par une attraction et une fidélisation des espèces planctonophages, dont les densités sont 2 fois plus élevées que sur la zone rocheuse témoin et 3 fois plus élevées que sur l'autre récif. La modification de la structure tridimensionnelle du récif n'a cependant pas eu l'effet escompté sur les grands prédateurs. Néanmoins, la présence de bancs de poissons « fourrage » au dessus du récif doit permettre en théorie une augmentation de fréquentation d'espèces erratiques ichtyophages telles que Sériole, Denti, Pagre, etc.

Sur le récif à -15 m, à l'origine, l'apport de cassons de briques était destiné à augmenter la ressource trophique, sans modifier (ou très peu) la structure tridimensionnelle du récif (opération déjà testée dans la phase précédente). En réalité, l'apparition d'une majorité d'espèces cryptiques sédentaires inféodées à un habitat anfractueux (Rascasses, Chapons, petites espèces, mais également Congre et Murène), est surtout liée au fait que ces cagettes ont aussi représenté une source d'abris, et c'est surtout sur ces espèces que les changements sont sensibles, puisqu'elles contribuent à plus de la moitié des biomasses du récif. Pour les plus grosses espèces (Sparidae, Labridae, etc), il n'y a pas eu d'apport supplémentaire en abris, mais seulement un apport trophique, vérifié par le comportement de certains poissons, les gros Sars et Corbs se nourrissent sur les cassons). Or sur ces espèces, aucun changement n'a été observé entre les périodes avant et après modification du *design*. **Il semble donc que l'effet habitat soit prépondérant sur les récifs artificiels par rapport à l'effet trophique.**

La structure de l'habitat dépend de facteurs multiples, tels que le pendage, les zones d'ombre, le relief vertical, la surface, la présence de trous et interstices (BOHNSACK, 1991). La relation entre la complexité structurale de l'habitat (rugosité *sensu* LUCKHURST et LUCKHURST, 1978) et la richesse en espèces de poissons est en général corrélée positivement. Mais pour l'abondance, le paramètre structural correspondant aux espaces cavitaires, c'est à dire le nombre et la diversité de trous, semble déterminant (BOHNSACK, 1991). En effet, les récifs présentant à la fois des petits et des grands trous montrent une bonne efficacité biologique, car ils fournissent des abris aussi bien aux proies qu'aux prédateurs (HIXON et BEETS, 1989). Un bon récif doit donc être le plus hétérogène possible et l'utilisation de plusieurs types de modules et d'éléments fins et de petite taille permet la création d'un réseau cavitaire complexe.

Plusieurs auteurs ont ainsi montré que la structure de l'habitat et la rugosité est un facteur limitant pour l'abondance des poissons, qui ne

sont en revanche pas limités par le facteur nourriture sur les récifs à forte rugosité (PATTON *et al.*, 1985 ; BOHNSACK, 1991). En outre, les poissons colonisent généralement très rapidement un récif, avant même que les ressources trophiques soient suffisamment développées. Ceci indique que la disponibilité en nourriture semble moins importante pour les poissons que la disponibilité en abris (Sale, 1980).

CONCLUSIONS

L'apport de maille fine (cassons de briques et parpaings) dans le récif le moins profond n'a eu d'influence positive que sur les espèces cryptiques, pour lesquelles ils constituent autant un apport en abris qu'une nouvelle ressource trophique pour les espèces de petite taille (Gobiidae, Blennidae, Scorpaenidae). Pour les espèces cryptiques de grande taille (Congre, Murène, Chapon), l'effet abri semble prépondérant (utilisation des espaces étroits entre les cagettes). Pour les autres espèces de grande taille (Sparidae), ne pouvant pas utiliser ces cassons comme abris, l'influence de cet apport de nourriture n'a pas pu être mesuré, même si des comportements évidents ont démontré l'utilisation de cette ressource (par exemple, les gros Sars et les Corbs se nourrissent dans les cassons).

L'ajout d'un réseau de filières au récif le plus profond, par lequel nous espérons compenser en partie sont relatif isolement et attirer des espèces ichtyophages à grande envergure de déplacement telles que Sérieole, Denti, Pagre, voire certaines espèces pélagiques n'a pas eu non plus l'effet escompté. Seules les espèces planctonophages ont répondu positivement à cette complexification du *design*. Cependant, si la présence de ces grands bancs se pérennise, on peut espérer qu'ils finiront par attirer les prédateurs visés.

Si les effets bénéfiques d'une complexification de la structure tridimensionnelle des récifs sur leurs peuplements de poissons ont été confirmés, il ne nous a pas été possible de comprendre totalement le mécanisme, ainsi que nous l'avions espéré. La question initialement posée : « *est-ce l'apport de nourriture ou l'apport d'habitats qui détermine principalement l'efficacité biologique d'un récif ?* », qui en terme d'aménagement se traduit par « *quelle est la taille de la maille la plus pertinente à apporter aux récifs, fine (cassons, débris) ou moyenne (hourdis, plaques)?* », n'a pu que partiellement être répondue. Lors de cette expérimentation, il semble néanmoins que l'effet habitat soit prépondérant sur l'efficacité des récifs artificiels par rapport à l'effet trophique.

Pour conclure, il nous semble que cette étude ouvre la voie à une nouvelle conception des récifs artificiels. Des récifs plus complets et plus aboutis en terme de *design*, combinant les différents facteurs contribuant à les rendre plus attractifs à différentes échelles de taille :

Des modules standards (1 à 2 m³) agencés en assemblage irrégulier ;

Des éléments de taille moyenne (parpaings, hourdis, plaques, enrochements) pour complexifier la structure récifale et créer des habitats diversifiés ;

Des éléments fins (cassons de briques, cailloutis) pour abriter les proies des espèces cibles et favoriser la création d'une ressource trophique renouvelable ;

Enfin, des structures flottantes élevées sur le modèle des DCP pour créer un repère dans la masse d'eau, une discontinuité tridimensionnelle permettant d'attirer les grands prédateurs ou les espèces pélagiques. En effet, le DCP utilisé seul présente un intérêt limité car on observe uniquement un phénomène de concentration de biomasse, par agrégation de poissons autour des filières. A l'inverse, la présence simultanée de filières et d'un récif sous-jacent permet de fournir des habitats/abris et de la nourriture aux populations de poissons préalablement attirées par le dispositif flottant.

Selon notre expérience, basée sur des observations en plongée de la plupart des types de récifs utilisés en Méditerranée, un bon récif artificiel doit être le plus hétérogène possible et combiner l'utilisation de plusieurs types de modules et d'éléments fins et de petite taille, ce qui permet la création d'un réseau cavitaire complexe. Les abris de type anfractueux sont favorables à la plupart des espèces de poissons (prédateurs et proies), trouvant dans les diverses cavités un habitat adapté à leurs besoins.

Le test de ces structures «idéales» pour les poissons pourrait constituer la phase ultime des multiples transformations qu'ont connus les récifs expérimentaux de Port-Cros depuis leur immersion : ajout de filières sur le récif le moins profond et amélioration du dispositif en place sur le récif le plus profond (création de zones d'ombre), ainsi qu'un apport de maille fine en grande quantité sur les deux récifs. Si les résultats étaient concluants, ils pourraient s'appliquer tant à la conception de nouveaux récifs qu'à l'amélioration de ceux qui sont déjà en place.

REMERCIEMENTS

Remerciements à l'équipe du parc National, en particulier Michel TILLMANN, Alain FAURE et Philippe ROBERT pour leur accueil toujours chaleureux et leur soutien logistique et matériel apporté à cette étude. Les auteurs remercient également Joëlle MASSEI (Centre d'Océanologie de Marseille) pour son aide dans la mise en forme de cette publication.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDALORO F., SINOPOLI M., COEN B., POTOSCHI A., 1999. Fish community associated with FAD's in Southern Tyrrhenian sea and in Northern ionian sea. *Proceedings 7th CARAH International Conference on Artificial Reefs*, San Remo, It : 517.
- 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.
- BELL J.D., HARMELIN-VIVIEN M.L. 1983. Fish fauna of french mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. 1. Feeding habits. *Tethys*, 11(1) : 1-14.
- BOHNSACK J.A., 1991. Habitat structure and the design of artificial reefs. In «*Habitat structure. The physical arrangement of objects in space* ». S.S. Bell et al., edits. Chapman & Hall publ., UK. : 413-426.
- BOHNSACK J.A., 1993. Marine Reserves : They enhance fisheries, reduce conflicts, and protect resources. *Oceanus*, 36 (3) : 63-71.
- BROCK V.E., 1954. A preliminary report on a method of estimating reef fish populations. *J. Wildl. Mgmt.*, 18 (3): 297-308.
- CAMPILLO A., 1992. Les pêcheries françaises de Méditerranée : synthèse des connaissances. *IFREMER, RIDRV-92/0196 Sète* : 1-205.
- 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., 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.
- CHARBONNEL E., FRANCOUR P., HARMELIN J.G., ODY D., BACHET F., 2000. - Effects of Artificial Reef Design on associated fish assemblages in the Côte Bleue Marine Park (Mediterranean sea, France). In *Artificial Reefs in European Seas. A.C. Jensen et al., edits. Kluwer academic publ., NL* : 365-377.
- CHARBONNEL E., SERRE C., 1999. Suivi des peuplements ichtyologiques des récifs artificiels de la zone marine protégée de Vallauris-Golfe-Juan (Alpes-Maritimes). Comparaison entre les période 1987/1989 et 1997/1998. *Contrat Conseil Général des Alpes-Maritimes et GIS Posidonie publ., Fr*:1-97.
- 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., ROBERTS D.A., ANDERSONT.W., 1989. Contrasting patterns of fish density and abundance at an artificial rock reef and a cobble-bottom kelp forest. *Bull. Mar. Sci.* : 283 D : 927-930.
- 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.
- DUVAL C., 1983. Etude du zoobenthos mobile de petits récifs artificiels immergés près de Marseille (France). Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Aix-Marseille II: 1-123.
- DUVAL C., BELLAN-SANTINI D., HARMELIN J.G., 1982. Habitats artificiels benthiques immergés en Méditerranée nord-occidentale : mise au point d'un module cavitaire expérimental. *Téthys*, 10 (3) : 274-279.
- 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., 1994. Pluriannual analysis of the reserve effect on ichtyofauna in the Scandola natural reserve (Corsica, northern-occidental Mediterranean). *Oceanol. Acta, Fr.*, 17 (3): 309-317.
- FRANCOUR P., BOUDOURESQUE C.F., HARMELIN J.G., HARMELIN-VIVIEN M., QUIGNARD J.P., 1994. - Are the Mediterranean waters becoming warmer ? Information from biological indicators. *Mar. Poll. Bull.*, 28 (9) : 523-526.

- 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., 1990. Ichtyofaune des fonds rocheux de Méditerranée : structure du peuplement du coralligène de l'île de Port-Cros (Parc National, France). *Mésogée*, 50 : 23-30.
- HARMELIN J.G., BELLAN-SANTINI D., 1997. – 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-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.
- HIGASHI G.R., 1994. Ten years of Fish Aggregating Device (FAD) design development in Hawaii. *Bull. Mar Sci.*, 55 (2-3) : 651-666.
- HIXON M.A., BEETS J., 1989. Shelter characteristics and Virgin island fish assemblages: Experiments with artificial reefs. *Bull. Mar. Sci.*, 44 : 666-680.
- JOUVENEL J.Y., BACHET F., 1998. - Aménagement de la bande côtière de la Côte Bleue - Programme de suivi des peuplements ichthyologiques de la réserve du Cap Couronne. *Parc Régional Marin de la Côte Bleue* : 1-50.
- LUCKHURST B.E., LUCKHURST K., 1978. Analysis of the influence of the substrate variables on coral reef fish communities. *Mar. Biol.*, 49 : 317-323.
- 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. Suivi scientifique des récifs artificiels du Parc National de Port-Cros. Seconde phase : après complexification. Rapport final. *Contrat Parc National de Port-Cros, Fr.* : 1-33.
- ODY D., HARMELIN J.G., 1994. Influence de l'architecture et de la localisation de récifs artificiels sur leurs peuplements de poissons en Méditerranée. *Cybiurn*, 18 (1) : 57-70.
- PATTON M.L., GROVE R.S., HARMAN R.F., 1985. Why do natural reefs tell us about designing artificial reefs in southern California ? *Bull. Mar. Sci.*, 37 : 279-298.
- RELINI M., TORCHIA G., RELINI G., 1995. The role of FAD in the variation of fish assemblages on the Loano artificial reef (Ligurian sea, Northwestern Mediterranean). *Proceedings 6th ECOSET'95 International Conference on Artificial Reefs, Japan* (1) : 1-5.
- ROBERTS C.M., POLUNIN N.V.C., 1991. Are marine reserves effective in management of reef fisheries ? *Rev. Fish Biol. Fisher.*, 1 : 65-91.
- SALE P.F., 1980. The ecology of fishes on coral reefs. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 18 : 367.
- SHERMAN R.L., GILLIAM D.S., SPIELER R.E., 1999. Artificial reef design : void space, complexity and attractants. *Proceedings 7th CARAH International Conference on Artificial Reefs, San Remo, It.* : 280-291.
- SIMARD F., 1995. Reflexions sur les récifs artificiels au Japon. *Biol. Mar. Med.*, 2 (1) : 99-109.
- VIETTI R.C., ORSI-RELINI L., WURTZ M., 1985. La pesca in Liguria. *Centro Studi unioncamere Liguri, publ.*: 1-195.
- 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*: 1173 pp.
- ZAR 1984. Biostatistical analysis. 2^o édition, *Prentice-Hall International publ.*, U.K. : 1-718.