

Université de la Méditerranée
Centre d'Océanologie de Marseille

Cécile VACQUIER

Novembre 2007

**INVENTAIRE DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE DU GOLFE DE BEAUDUC
EN VUE DE L'ELABORATION D'UN PROTOCOLE DE SUIVI BIOLOGIQUE DU
LITTORAL MARIN DU PARC NATUREL REGIONAL DE CAMARGUE**



Maître d'ouvrage :
Parc Naturel Régional de Camargue



Etude réalisée grâce aux financements de :
Conseil Régional PACA
Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse



Ce travail a été réalisé, pour partie, dans le cadre d'un stage de Master Professionnel en Océanographie, mention Economie et Environnement, ainsi que dans le cadre d'un partenariat entre le Parc Naturel Régional de Camargue et le CNRS.

La réalisation pratique du travail a été possible grâce à un accueil au sein du Centre d'Océanologie de Marseille, UMR CNRS 6540 « DIMAR », sous la tutelle d'Yves Letourneur

Université de la Méditerranée Centre d'Océanologie de Marseille

Cécile VACQUIER

Novembre 2007

INVENTAIRE DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE DU GOLFE DE BEAUDUC EN VUE DE L'ELABORATION D'UN PROTOCOLE DE SUIVI BIOLOGIQUE DU LITTORAL MARIN DU PARC NATUREL REGIONAL DE CAMARGUE

Maître d'ouvrage :
Parc naturel régional de Camargue

Laboratoire d'accueil :

Unité « DIMAR » (UMR CNRS 6540)
Responsable de stage : Yves LETOURNEUR



Etude réalisée grâce aux financements de :
Conseil Régional PACA
Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu le Parc Naturel Régional de Camargue qui m'a permis de réaliser ce stage.

Je tiens également à remercier le CNRS et en particulier le laboratoire DIMAR qui m'ont accueillie au sein de leurs locaux pendant la période de mon stage.

Je tiens à remercier l'équipe du PNRC qui a suivi le projet et en particulier Delphine Marobin-Louche (chargée de mission « Littoral et milieu marin ») et Gaël Hemery (chargé de mission « Espaces naturels »).

Je remercie tout particulièrement Yves Letourneur (UMR DIMAR) pour l'attention qu'il m'a témoignée tout au long de ce stage, et surtout pour ses bons conseils qui m'ont souvent permis d'y voir plus clair.

J'adresse également mes remerciements aux personnes qui m'ont aidée pour la détermination des espèces récoltées, Mesdames Mireille Harmelin-Vivien, Chantal Salen-Picard et Denise Bellan-Santini (UMR DIMAR) ; ainsi que Monsieur Jean-Michel Amouroux (Laboratoire ARAGO, Banyuls sur Mer) pour sa gentillesse et ses conseils tout au long de ce stage.

Il me faut également remercier toutes les personnes qui m'ont donné un peu de leur temps : Messieurs Claude Degiovanni, Georges Stora, Marc Verlaque, Bertrand Millet, et Alain Pibot.

J'en profite aussi pour saluer l'équipe de l'Antédon II : Pierre, Patrick et Arnaud avec qui les sorties sur le terrain ont été très agréables.

Un grand merci à tous ceux qui m'ont aidée pendant ce travail : Michèle Perret-Boudouresque, Sandrine Ruitton, Laurence Le Direach, Bastien Mérigot, mais aussi Nicolas Mayot , Fabien Morat et Judith Klein.

Enfin, je tiens à remercier tous mes proches qui m'ont souvent porté de bons conseils.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCTION	7
II. MATÉRIEL ET MÉTHODES	8
II.1. Zone d'étude	8
II.2. Méthodes d'échantillonnage	10
1. Stations et matériel utilisé	10
2. Analyses des relevés	13
II.3. Traitements des données	13
III. RÉSULTATS	14
III.1. Diversité des communautés macrobenthiques	14
III.2. Structure des communautés macrobenthiques	17
1. Analyse des captures réalisées au chalut (poissons et invertébrés)	17
1.1. Distribution spatiale et saisonnière	17
1.2. Variations spatiales de la densité des principales espèces récoltées au chalut	21
2. Analyse des assemblages de poissons	23
2.1. Distribution spatiale et saisonnière	23
2.2. Variations saisonnières de la densité des principales espèces de poissons	25
2.3. Variation saisonnière des structures de tailles des principales espèces de poissons	26
III.3. Station supplémentaire « Est 6 m »	29
IV. DISCUSSION	31
IV.1. Structure spatio-temporelle des communautés macrobenthiques	31
1. Distribution spatiale	31
2. Variations saisonnières des assemblages de poissons	36
IV.2. Analyses des méthodes d'échantillonnage utilisées sur le Golfe de Beauduc	38
IV.3. Propositions pour un protocole de suivi des communautés macrobenthiques	42
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	50
BIBLIOGRAPHIE	51
ANNEXES	54

RÉSUMÉ

Les travaux faisant l'objet de ce mémoire s'inscrivent dans la continuité des études engagées antérieurement par le Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC) pour connaître son patrimoine marin, et notamment l'inventaire qualitatif de la faune ichtyologique des premiers mètres d'eau (0-2 m) (Héloin, 2004).

La présente étude constitue un « point zéro » pour l'inventaire de la macrofaune benthique du Golfe de Beauduc aux profondeurs 10 et 20 mètres. Afin de caractériser la variabilité des communautés dans l'espace mais aussi dans le temps, deux séries de prélèvements ont été effectuées sur deux saisons au mois d'avril (Printemps) et de juin (Eté).

Un total de 130 espèces a été récolté sur la zone comprenant à la fois des poissons, et des invertébrés. De plus, une station supplémentaire effectuée seulement l'été à 6 m, à l'intérieur du golfe a permis de compléter cet inventaire. 10 espèces nouvelles ont été récoltées, dont 2 espèces de poisson protégées *Hippocampus hippocampus* et *Raja cf. asterias*.

Par ailleurs, les communautés macrobenthiques sont fortement structurées par une double composante spatiale, la profondeur (10m vs 20m) et l'orientation Est-Ouest. Les espèces *Ophiura ophiura*, *Aporrhais pespelecani*, *Liocarcinus spp.*, *Pisidia longicornis*, *Turritella communis* sont parmi les invertébrés les plus nettement dominants dans le golfe. Pour les assemblages de poissons, la variation saisonnière dominante sur les variations spatiales, est liée principalement au recrutement des juvéniles dans la zone d'étude, notamment l'été. Ceci démontre le rôle de nurseries important joué par le golfe. Les assemblages de poissons sont dominés notamment par *Arnoglossus laterna*, *Buglossidium luteum*, *Gobius niger*.

Dans la zone, deux processus physiques se superposent, l'enrichissement et le confinement, sous l'influence du courant Liguro Provençal et de l'action du vent. Les sources d'enrichissement sont principalement les apports rhodaniens et l'upwelling côtier. Ces facteurs influencent la répartition des communautés benthiques, structurent la qualité des substrats meubles et interviennent dans la répartition des ressources alimentaires.

Dans la perspective d'un suivi à long terme pertinent de la biodiversité du littoral marin du PNRC plusieurs protocoles peuvent être mis en place. Pour un suivi pluriannuel de l'ichtyofaune, les matériels les plus appropriés seraient la senne de plage et le chalut pour caractériser les variations des peuplements dans les zones de nurseries à la côte et plus en profondeur, respectivement. Pour un suivi plus complet de l'ensemble des communautés macrobenthiques, et dans la perspective d'évaluer les variations de la qualité du milieu, l'utilisation de la benne serait un complément nécessaire au chalut.

Enfin, des espèces remarquables ont été reconnues sur la zone et notamment *Hippocampus hippocampus* et la phanérogame *Zostera noltii*. Un suivi en plongée serait donc à envisager pour délimiter les zones d'herbiers de zostères et caractériser leur évolution.

Tout ceci pourrait permettre au PNRC d'intégrer le REseau BENThique méditerranéen (REBENT) en vue d'une collaboration avec IFREMER.

ABSTRACT

The work presented in this report is the continuity of the studies already engaged by the ‘Parc Naturel Régional de Camargue’ (PNRC), to know its marine inheritance, and in particular the qualitative inventory of the ichthyological fauna of the first meters of water (0-2 m) (Héloin, 2004).

The present study constitutes a basis for the inventory of the benthic macrofauna of the Gulf of Beauduc at 10 and 20 m depths. In order to characterize the spatio-temporal variability of benthic communities, two series of samples were carried out over two seasons, in April (Spring) and June (summer).

Overall, 130 species have been collected in the study area, including fishes and invertebrates. In order to complete the inventory, a supplementary station inside the Gulf has been sampled only in summer at 6 m depth. This allowed to add 10 species to the list of benthic macro-organisms, including 2 protected fish species *Hippocampus hippocampus* and *Raja cf. asterias*.

Macrobenthic communities are strongly structured by two spatial components, the depth (10m vs 20m) and East-West orientation. The species *Ophiura ophiura*, *Aporrhais pespelecani*, *Liocarcinus* spp., *Pisidia longicornis* and *Turritella communis* were among the most dominant invertebrates within the gulf. For the fish assemblages, the seasonal variations were clearly dominant over the spatial variations. This is mainly due to the recruitment of juveniles in the gulf, particularly during summer. This indicates the important nursery role played by the gulf. Fish assemblages were mostly dominated by *Arnoglossus laterna*, *Buglossidium luteum*, *Gobius niger*.

In the studied area, two main physical processes, i.e. enrichment and confinement, are superposed, mainly through the influence of the Liguro Provençal current and trade winds. The two main enrichment sources are the Rhône river inputs and the coastal upwelling. These factors influence the distribution of benthic communities by structuring the quality of soft-bottom substrates and the distribution of trophic resources.

From the point of view of a relevant follow-up of the biodiversity of the PNRC’ coastal areas, several protocols might be applied. For a pluriannual study of the fish assemblages in the Gulf of Beauduc, the most appropriate methods should be routines of samples with a beach-seine from the shore, and with a beam-trawl. This would help to characterize the settlements’ variations of the nursery grounds within the gulf in shallow and deeper waters. For a more complete follow-up of the whole macrobenthic communities, and to assess the variations of environmental quality, the use of grab would be a necessary complement of the beam-trawl.

Finally, protected species have been identified in the study area, in particular *Hippocampus hippocampus* and the seagrass *Zostera noltii*. A survey by SCUBA diving could be thus necessary to study the limits and evolution of the *Zostera* seagrass beds.

This protocol will allow the PNRC to integrate the monitoring network “REseau BENThique méditerranéen (REBENT)” and to undertake a collaboration with IFREMER.

I.INTRODUCTION

Le Golfe du Lion est soumis à un système de pêcheries intensives de par ses caractéristiques particulières. En effet, les zones marines côtières situées à proximité de l'embouchure des fleuves, comme le Golfe du Lion, sont parmi les écosystèmes les plus productifs du monde. Les fonds meubles qui constituent la plupart de ces substrats abritent de larges populations d'espèces d'intérêt commercial de poissons et représentent des sites appropriés aux arts traînants.

Bien que ces zones soient relativement bien étudiées dans une optique de gestion halieutique, le manque d'études sur les communautés macrobenthiques des fonds meubles a été noté (Darnaude, 2003; Gaertner *et al.*, 1999; Letourneur *et al.*, 2001). En effet, l'enrichissement de ces zones en sels nutritifs et éléments particulaires d'origine terrigène provoque un développement de la production primaire qui se répercute sur de nombreuses espèces d'invertébrés et de poissons via la chaîne trophique (Darnaude, 2003). Il est donc essentiel d'intégrer cette composante afin de concevoir une meilleure gestion patrimoniale et halieutique de ces zones.

De par sa situation géographique particulière, le littoral Camarguais, au droit du delta du Rhône est soumis à l'influence des apports du fleuve qui viennent enrichir la zone marine en particulier le Golfe de Beauduc, zone de nurseries qui est supposée importante (Heloin, 2004). Aussi, le Golfe de Beauduc subit un chalutage infractionnel quotidien dans la zone des 3 milles nautiques.

Par ailleurs, le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC) est reconnu pour sa richesse biologique. Il présente un intérêt communautaire pour les oiseaux, classé Zone de Protection Spéciale (ZPS) dans le cadre de la directive « Oiseaux » (1979). Sa partie marine est reconnue également. Au niveau national, le Golfe de Beauduc est reconnu Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF marine) et au niveau communautaire, il est classé Site d'Importance Communautaire (SIC) dans le cadre de la directive « Habitats » (1992).

Ainsi, le PNRC, dont la limite d'action s'étend en mer jusqu'aux 3 milles nautiques des côtes, conscient de l'importance économique, biologique et écologique de son patrimoine marin, s'engage depuis plusieurs années dans des actions d'inventaires des communautés ichthyologiques dans les premiers mètres d'eau (Heloin, 2004), et de gestion halieutique (BRL,

2003) avec pour objectif de mettre en place une réserve marine à l'intérieur du Golfe de Beauduc.

Afin d'augmenter les connaissances sur le milieu et de mieux comprendre le fonctionnement de son écosystème marin, le PNRC a commandité une étude des communautés macrobenthiques⁽¹⁾ sur des fonds de 10 à 20 m. Cette étude fait l'objet de ce présent mémoire. Elle sera incorporée dans le document d'objectifs (DOCOB) « Natura 2000 » prévu pour fin 2008.

Malgré quelques travaux d'inventaires effectués antérieurement sur les communautés macrobenthiques à Faraman (Gautier, 1957; Massé, 1972; Harmelin-Vivien, données non publiées), et sur les hauts de plages et les étangs inférieurs par la Tour du Valat, l'écosystème du Golfe de Beauduc a peu été étudié. Les objectifs de cette étude sont donc (1) de caractériser les peuplements macrobenthiques et leur variabilité à petite échelle dans l'espace et dans le temps (Point « zéro »), et (2) de proposer des actions afin de poursuivre l'étude de ce secteur avec pour objectif de mieux le connaître pour mieux le gérer.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

II.1. Zone d'étude

Le Golfe de Beauduc est situé dans la partie Nord-Est du Golfe du Lion (Méditerranée Nord-Occidentale), à environ 70 km à l'Ouest de Marseille, à proximité immédiate du débouché du « Petit Rhône » (Figure 1). C'est une zone de hauts fonds essentiellement constitués de substrats meubles (sables et vases). Les rides de sables qui marquent le fond et le remaniement perpétuel du cordon littoral, avec des zones en érosion et zones en engrangissement, sont caractéristiques de l'action du vent et de la houle sur le golfe. De par sa morphologie, le régime des vents et la courantologie *in situ*, le Golfe de Beauduc constitue une zone de mode calme à fort temps de résidence des masses d'eau. En effet, protégé par le courant géostrophique Liguro-Provençal (orienté E-W) au sud, il constitue une « lagune secondaire », ce qui est confirmé par la progression de la pointe de Beauduc qui tend à refermer le golfe (Blanc, 1977, Héloin, 2004).

Par ailleurs, situé dans le panache de dilution du Rhône (Figure 2) et en contact avec les étangs inférieurs de Camargue, le golfe est soumis à l'influence des apports continentaux

⁽¹⁾ Le terme « macrobenthique » qualifie, ici, la faune de taille ≥ 2 mm qui vit sur le fond.

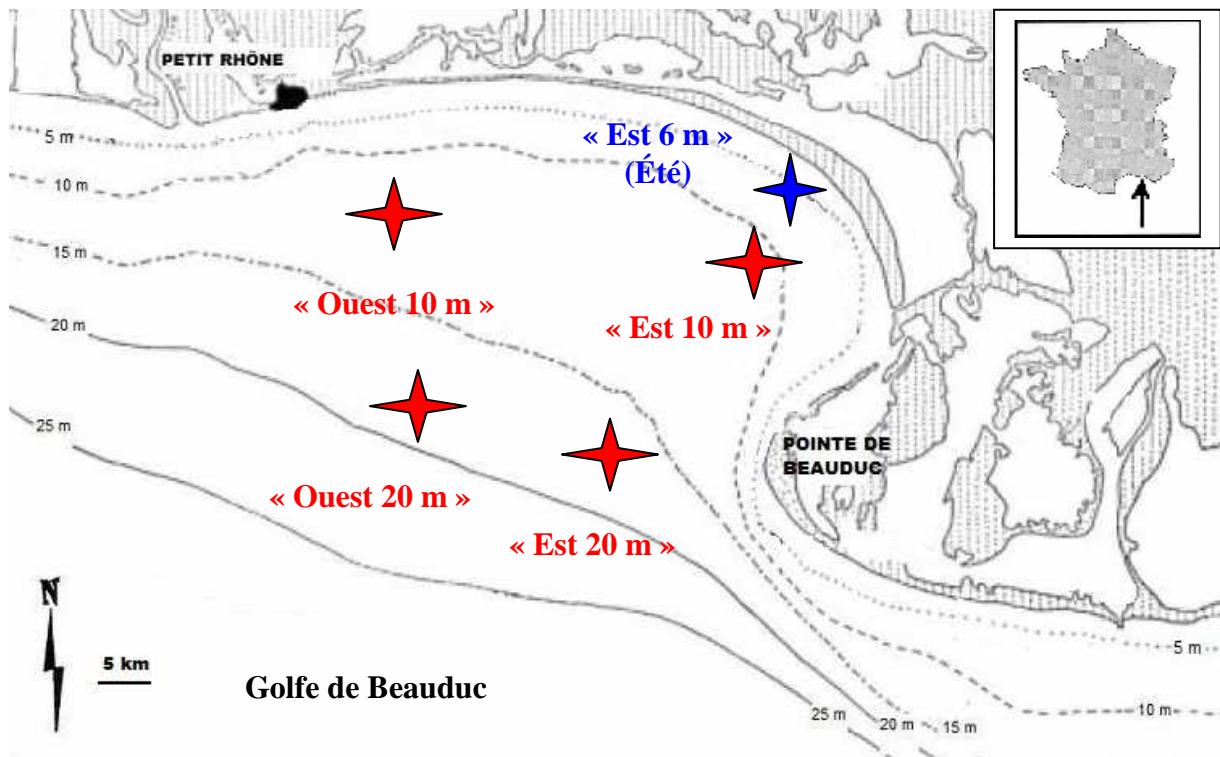


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude et localisation des prélèvements de macrofaune benthique réalisés au mois d'avril et de juin 2007 (d'après BRL, 2003). = traits de chalut et de drague. = traits de chalut à la station supplémentaire. Les coordonnées exactes des prélèvements sont en annexe (Annexe 1).

d'eau douce, de matière organique (particulaire et dissoute) et de sédiments. Il constitue aussi une zone de front, soumis à un enrichissement permanent renforcé par un « upwelling » (remontée d'eaux profondes) localisé au cœur du golfe. La zone est caractérisée par des concentrations en nutriments, des biomasses et une production élevées qui favorisent l'enrichissement de l'écosystème via la chaîne trophique.

De plus, les petits fonds du golfe jouent un rôle de nurseries qui a été démontré par Héloin en 2004 pour la proche frange littorale (0 – 2 m).



Figure 2. Panache de dilution du Rhône. Le Golfe de Beauduc (encerclé de rouge) est soumis aux apports continentaux à l'Ouest par le Grand Rhône (90% du débit du fleuve) et à l'Est par le Petit Rhône (10% du débit du fleuve).

La nature des fonds du golfe, quant à elle, est directement liée aux conditions hydrodynamiques du milieu. A proximité de l'embouchure des fleuves, le dépôt des sédiments se fait en fonction de leur granulométrie (Bellan-Santini *et al.*, 1994). Les particules plus grossières sont déposées dans les zones plus agitées soumises aux transferts littoraux et courants de dérive sur la bande côtière du littoral camarguais, tandis que les particules les plus fines sont transportées plus au large par les courants et décantent dans des zones plus calmes. Le Golfe de Beauduc est caractérisé par des sédiments vaseux. Cet envasement des biocénoses se retrouve globalement sur tout le Golfe du Lion avec une remontée des limites inférieures des étages. Ceci est observé notamment pour le circalittoral, où les profondeurs de « passage » du Détritique Côtier (DC) au Détritique du Large (DL) remontent, avec une tendance accrue du DL et des Vases Terrigènes Côtières (VTC) à l'évolution vers une biocénose de type Détritique Envasé (DE) (Bellan-Santini *et al.*, 1994).

II.2. Méthodes d'échantillonnage

1. Stations et matériel utilisé

❖ *Stations définies dans le cadre de l'étude :*

Quatre stations ont été choisies pour cette étude à l'Ouest et à l'Est à l'intérieur du golfe, aux isobathes 10 et 20 m entre 4°23' et 4°31' de longitude Est et entre 43°26' et 43°22' de latitude Nord (Figure 1). Afin de caractériser les peuplements macrobenthiques et leur variabilité à petite échelle dans l'espace et dans le temps, les prélèvements de la macrofaune benthique ont été effectués sur deux saisons au mois d'avril (Printemps) et de juin (Eté) avec :

- un petit chalut lesté (gangui) d'ouverture de bouche de 1,50 x 0,50 m et une maille de 8 mm, selon le modèle mis au point par Harmelin-Vivien (1981) (Figure 3).
- une drague Charcot avec une ouverture de bouche de 0,53 x 0,22 m fermée par une toile de jute. Cet engin a été utilisé en complément du chalut, et particulièrement pour essayer de caractériser les mollusques bivalves potentiels sur la zone (Figure 3).

Sur chaque station, 3 traits de chalut pendant 15 minutes à 2 nœuds et 1 trait de drague ont été effectués. La surface chalutée par trait de chalut a été de 1389 m² (excepté pour les stations estivales « Ouest » 20 m (2) et « Ouest » 20 m (3) chalutées seulement 10 minutes,

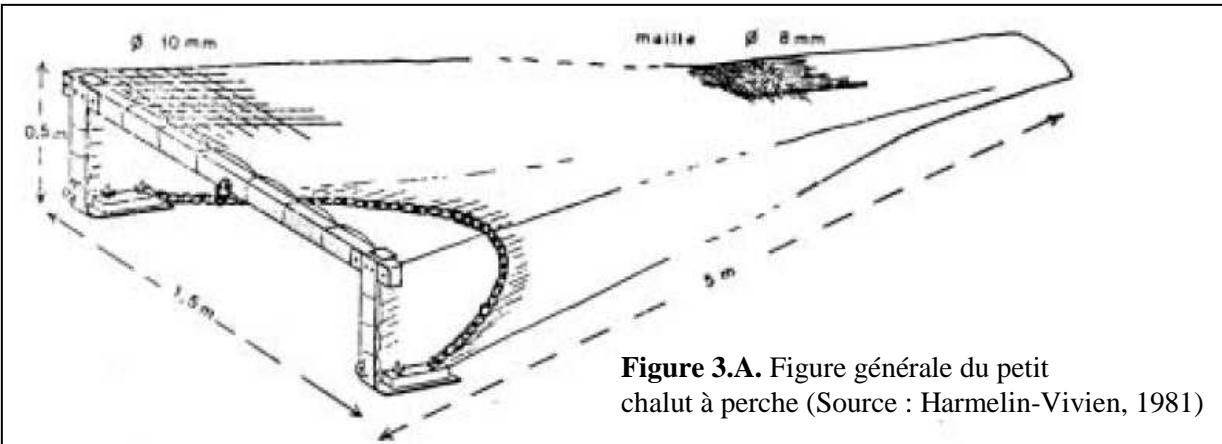


Figure 3.A. Figure générale du petit chalut à perche (Source : Harmelin-Vivien, 1981)



Figure 3.B. Sortie du chalut par l'équipage de l'ANTEDON II (Photos C. Vacquier)



Figure 3.C. Echantillon récolté au chalut



Figure 3.E. Prélèvement brut de la drague



Figure 3.F. Refus de tamis du sédiment dragué



Figure 3.D. Sortie de la drague Charcot (Photos C. Vacquier)

Figure 3. Engins de prélèvement de la macrofaune benthique et du sédiment dans le Golfe de Beauduc

soit 926m², pour des raisons de colmatage du chalut). Les abondances faunistiques chalutées ont été exprimées en densité (nombre d'individus par hectare). Pour la drague, le volume de sédiment tamisé (tamis de 2mm de maille) a été de 15 l, et les densités d'invertébrés ramenées à 10 l de sédiment tamisé. Les récoltes ont été effectuées à bord du navire de recherche de l'INSU basé à Marseille, l'Antédon II (Figure 4), avec une équipe de trois personnes. Deux journées ont été nécessaires pour les 16 prélèvements (12 au chalut et 4 à la drague) à chaque saison. Les prélèvements ont été triés sur le bateau pour séparer les poissons des invertébrés, les individus ont ensuite été placés dans des glacières réfrigérées, puis congelés dès le retour au laboratoire pour analyse ultérieure. Les organismes les plus fragiles (polychètes, siponcles, etc.) ont immédiatement, à bord du bateau, été mis dans une solution à 10% de formol.



Figure 4. L'Antédon II
(Source : CNRS)

❖ *Station supplémentaire :*

Par ailleurs, lors de la sortie d'été, une station supplémentaire a été choisie à 6 m à l'intérieur du golfe (Station « Est 6 m ») entre 4°34' de longitude Est et 43°25' de latitude Nord (Figure 1). Trois traits de chalut pendant 15 minutes à 2 noeuds ont été effectués sur cette station. Ces prélèvements complètent l'information sur les communautés macrobenthiques du golfe. Les données ne sont pas prises en compte dans le traitement statistique (pas de prélèvement comparable au printemps).

❖ *Prospécion des herbiers de zostères :*

En annexe de cette étude, des plongées libres en « palmes-masque-tuba » ont été effectuées au cours de l'été (mi-juillet), à la pointe de Beauduc, pour prospection les herbiers de zostères (*Zostera noltii*) reconnus par Héloïn en 2005 (Annexe 5). Six tâches ont été observées entre 0,20-0,30 m et 1,20 m. Leur surface est comprise entre 1,5 m² et 50 m² ce qui représente une surface totale d'environ 117 m².

2. Analyses des relevés

Le tri et l'identification de la macrofaune benthique ont été réalisés au laboratoire avec l'aide d'ouvrages de déterminations (Bauchot et Pras, 1980 ; Fisher et *al.*, 1987 ; Falciai et Minervi, 1992) et de chercheurs en ichtyologie et macrofaune benthique : M. Harmelin-Vivien, C. Salen-Picard, D. Bellan-Santini, (UMR CNRS 6540 « DIMAR », Station marine d'Endoume, Marseille) et J.M. Amouroux (Laboratoire ARAGO, CNRS, Banyuls sur mer). La plupart des individus ont été déterminés jusqu'à l'espèce. Afin d'identifier les différentes cohortes dans la communauté ichtyologique de la zone à chaque saison, les poissons ont été mesurés au millimètre près.

Afin de compléter l'étude biologique, des échantillons de sédiment ont été prélevés sur chaque station, pour une analyse granulométrique. Après décongélation et rinçage à l'eau claire, les échantillons ont été mis à l'étuve à 60°C pendant 24 heures, puis envoyés au Laboratoire d'Hydrologie et de Molysmologie Aquatique de Marseille pour l'analyse granulométrique.

Aux quatre stations, les sédiments sont très envasés. Les stations « Ouest » sont largement dominées par une fraction fine (<63 µm) montrant un envasement important de ces deux secteurs (débouché du petit Rhône). Les stations « Est » sont caractérisées par une granulométrie moins fine. La station « Est 10 m » est caractérisée par des vases sableuses, et la station « Est 20 m » par des sables vaseux (Tableau I).

Tableau I. Proportions des différentes fractions sédimentaires issues de l'analyse granulométrique pour les 4 stations échantillonnées.

Fractions (%)	Stations			
	"Ouest" 10 m	"Ouest" 20 m	"Est" 10 m	"Est" 20 m
(Argiles (<2µm))	(4,8)	(6,5)	(3,3)	(2,4)
Fraction fine (<63 µm)	81,4	84,8	67,8	45,2
Sables fins (63- 250 µm)	17,9	14,9	30,8	54,4
Sables grossiers (250 - 2000µm)	< 1	< 1	1,43	< 1

II.3. Traitements des données

Des méthodes d'ordination ont été appliquées sur les données brutes afin d'en extraire l'essentiel de l'information qu'elles contiennent pour fournir des représentations graphiques susceptibles de faciliter l'interprétation des résultats. Deux analyses en composantes

principales (ACP) ont été effectuées, la première à partir des données de densités de l'ensemble des individus (poissons et invertébrés confondus) capturés au chalut pour avoir une vision globale de la structuration des communautés macrobenthiques, et la seconde uniquement à partir des données de densités des poissons. Chaque axe factoriel obtenu est caractérisé par un taux d'inertie qui exprime le pourcentage de l'information globale (variance) qu'il explique. L'ACP utilise la distance euclidienne et permet de distinguer les groupes de stations (observations) par niveau d'abondance similaire.

Afin d'avoir une vision exploratoire plus large, l'analyse a été complétée par une classification hiérarchique ascendante (CAH), avec comme type de proximité, la dissimilarité calculée à partir d'une distance du χ^2 (qui rapproche les stations par leur profil de distribution), et comme méthode d'agrégation la méthode de Ward. A la différence de l'ACP qui résume l'ensemble des données sur 2 dimensions, la CAH prend en compte le nuage de points dans ses n dimensions, c'est-à-dire n observations (ici, il y en a 24 correspondant à l'ensemble des traits de chalut). L'identification des espèces qui contribuent le plus à la formation des classes de la CAH s'appuie sur les barycentres des classes. Les barycentres des classes correspondent au profil de distribution des espèces (exprimées en densité moyenne) au sein de chaque classe.

Enfin, les données ont montré une distribution qui ne suit pas une loi normale (test de normalité de Kolmogorov-Smirnov), et un test non paramétrique (U de Mann-Whitney) a donc été choisi pour comparer les moyennes des échantillons en fonction des composantes Est-Ouest et 10m-20m ressorties dans l'ACP pour l'analyse de la structure des communautés macrobenthiques, et de la composante Printemps-Eté issue de l'ACP pour l'analyse de la structure des assemblages de poissons. La significativité du test est bornée à un seuil de 5%.

III. RÉSULTATS

III.1. Diversité des communautés macrobenthiques

Un total de 130 espèces, dont 17 de poissons (appartenant à 9 familles) et 113 d'invertébrés (appartenant à 9 phylums et à 79 familles reconnues), a été récolté au cours de cette étude (Annexe 2).

Parmi ces espèces, 104 ont été récoltées au chalut, dont les 17 espèces de poissons et 87 espèces d'invertébrés. Avec des densités moyennes totales respectives de 1499 ± 1002 , 547 ± 231 et 952 ± 936 individus ha^{-1} au cours des deux saisons confondues (Tableau II), les variations saisonnières de la densité et la richesse spécifique moyennes sur l'ensemble des prélèvements ne sont pas significatives pour les communautés macrobenthiques (Test U de Mann-Whitney, $p= 0,887$ et $p= 0,755$ respectivement).

Par ailleurs, 55 espèces d'invertébrés ont été récoltées au moyen de la drague dont 26 exclusivement avec cet engin (Annexe 2). En moyenne 184 ± 202 individus pour 10 l de sédiment tamisé par trait de drague ont été récoltés au cours des deux saisons (Tableau III) sans variation saisonnière significative pour la richesse spécifique moyenne (Test U de Mann-Whitney, $p= 0,486$) et l'abondance moyenne ($p= 0,686$).

Tableau II. Richesse spécifique totale (R_T), richesse spécifique moyenne (R_m) et densités moyennes (D) par hectare au deux saisons de prélèvements pour les poissons et les invertébrés. N : le nombre de prélèvements. Les écarts-types sont entre parenthèses.

N	Printemps			Eté			Total		
	12			12			24		
	poissons	invertébrés	total	poissons	invertébrés	total	poissons	invertébrés	total
R_T	12	63	75	13	77	90	17	87	104
R_m	6,42	17,83	24,25	6,75	16,92	23,67	6,58	17,38	23,96
	(1,38)	(3,41)	(3,28)	(1,82)	(5,79)	(5,73)	(1,59)	(4,67)	(4,57)
D (nombre d'individus ha^{-1})	492	1226	1718	602	679	1281	547	952	1499
	(131)	(1227)	(1310)	(296)	(406)	(529)	(231)	(936)	(1002)

Tableau III. Richesse spécifique totale, richesse spécifique moyenne et abondance moyenne pour 10 litres de sédiment tamisé par trait de drague aux deux saisons de prélèvements. Les écarts-types sont entre parenthèses.

	Printemps	Eté	Total
Nombre de traits de drague	4	4	8
Richesse spécifique totale	24	45	55
Richesse spécifique moyenne	7,75 (6,45)	14,5 (10,66)	11,12 (8,92)
Abondance moyenne pour 10 l de sédiment tamisé	203 (269)	166 (148)	184 (202)

Sur l'ensemble des espèces d'invertébrés récoltés, 29 sont communes aux prélèvements au chalut et à la drague bien que la majorité ait été prélevée au chalut (Tableau IV). En terme de richesse spécifique, les Arthropodes et les Annélides ne sont représentés que par une classe chacun (crustacés et polychètes). Les crustacés sont présents dans les deux cas, mais de manière prédominante dans les récoltes au chalut (Figure 5). Pour le peuplement des polychètes, la différence est très marquée, 20 espèces ont été récoltées à la drague contre 9 au chalut. Il est toutefois à signaler que les mollusques bivalves, les polychètes et les individus < 2 mm (notamment les amphipodes) ne sont représentés dans les échantillons de drague et de chalut que par un faible nombre d'individus.

Tableau IV. Richesse spécifique totale (R_T), richesse spécifique moyenne (R_m), nombre d'espèces récoltée uniquement avec un type d'engin (R_u), nombre d'espèces communes aux deux engins (R_c). N : nombre de prélèvements aux deux saisons comprises. Les écart-types sont entre parenthèses.

	Chalut	Drague
N	24	8
R_T	87	55
R_m	17,38 (4,67)	11,12 (8,92)
R_u	58	26
R_c	29	

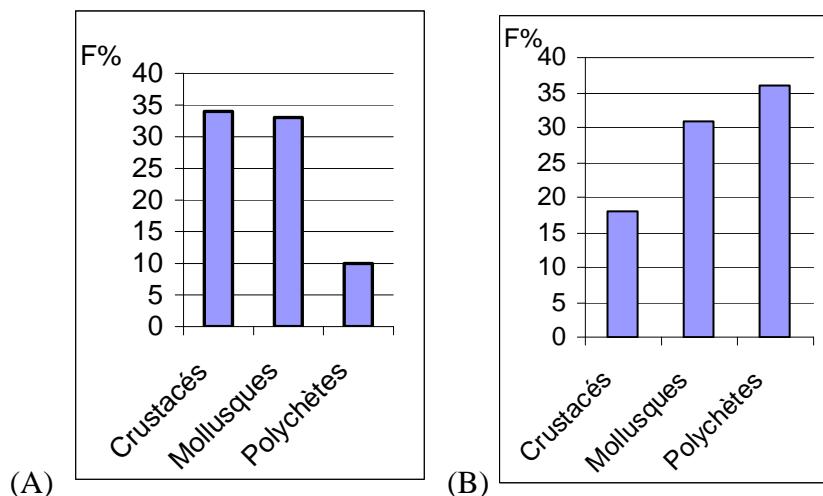


Figure 5. Proportion des principaux phylums représentés dans les prélèvements au chalut (A) et à la drague (B).

III.2. Structure des communautés macrobenthiques

1. Analyse des captures réalisées au chalut (poissons et invertébrés)

1.1. Distribution spatiale et saisonnière

La projection des prélèvements sur le premier plan de l'analyse en composantes principales montre que la dimension majeure responsable de la structuration des communautés est déterminée par la profondeur (10m vs. 20m) (Figure 6A).

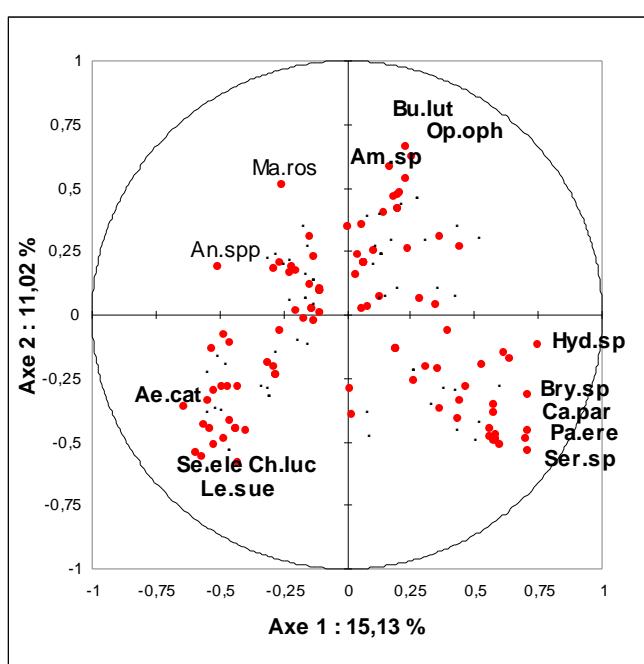
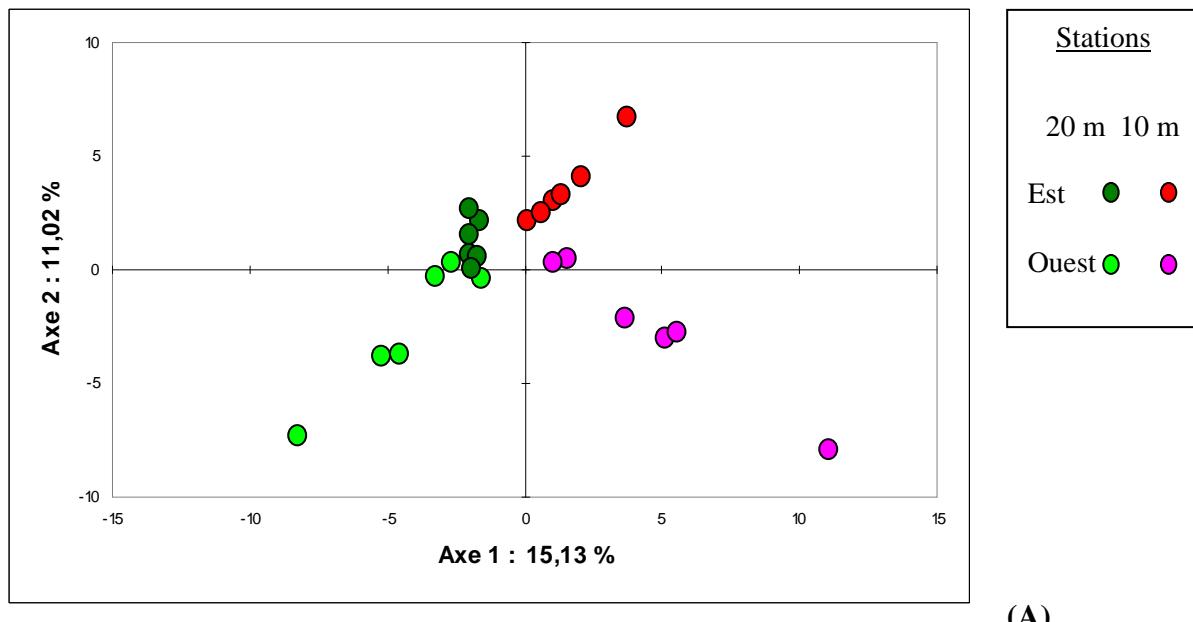


Figure 6.

A. Premier plan issu de l'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur l'ensemble des données de densités estimées par prélèvement au chalut (poissons et invertébrés confondus) au printemps et en été 2007.

B. Projection des espèces contribuant le plus au plan issu de l'ACP. Seules les espèces principales sont mentionnées (CA > 2,5%).

Code des espèces en Annexe 3.

Les prélèvements sont projetés sur le deuxième axe en fonction de la zone d'échantillonnage (Est vs Ouest). Les dimensions spatiales sont donc essentielles à la

structuration des communautés macro-benthiques, tandis que la saison ne contribue pas de manière marquée à la construction des axes.

La projection des variables sur le cercle de corrélation de l'ACP ne semble pas révéler de tendances très nettes (Figure 6B). Très peu d'espèces contribuent à la formation des axes. Les plus fortes contributions absolues (CA) ne dépassent pas 3%, ce qui n'est pas surprenant compte tenu du nombre d'espèces pris en compte (N= 104).

Sur l'axe 1, la profondeur 10 m est caractérisée essentiellement par des espèces récoltées de manière « artéfactuelle » (Figure 6B) (ascidies, hydriaires, bryozoaires, polychètes de la famille des Serpulidae) sur des substrats durs occasionnellement prélevés à la station « Ouest » (Lauzes, grosses coquilles mortes) ou associées à d'autres espèces, comme l'actinie commensale *Calliactis parasitica* du pagure *Paguristes eremita* (Figure 7). Ce pagure contribue également à la formation de l'axe 1, bien que faiblement abondant à la station « Ouest 10 m ». Le bivalve *Chlamys varia* caractérise aussi la profondeur 10 m, mais seuls 3 individus ont été capturés sur les deux saisons. La profondeur 20 m est caractérisée par la crevette *Aegaeon* (=*Pontocaris*) *cataphractus* rencontrée occasionnellement.



Figure 7. Espèces rencontrées à la station « Ouest 10 m ». De gauche à droite, hydraire Genus sp. (Photo P. Heurtaux), Serpulidea (*Serpula vermicularis*), et *Calliactis parasitica* (Photo H. Thedy).

La dimension « Est – Ouest » observée sur l'axe 2 semble être due à 6 espèces (Figure 6B). Le poisson *Buglossidium luteum* et l'ophiure *Ophiura ophiura* (= *O. texturata*) caractérisent la station « Est 10 m » où *O. ophiura* forme par ailleurs un véritable faciès. Une espèce indéterminée de polychètes de la famille des Ampharetidae contribue aussi à l'axe 2 mais avec une plus faible contribution. Deux espèces de poissons récoltés uniquement en été, *Chelidonichthys lucernus* (=*Trigla lucerna*) et *Leseurigobius sueurii*, et le céphalopode *Sepia elegans* (juvéniles) caractérisent la station « Ouest 20 m ». Il faut noter que ces dernières espèces ont présenté de faibles abondances. Enfin, deux espèces de crustacés *Macropodia rostrata* (Figure 8) et *Anapagurus* sp., ont une distribution plus large malgré une association plus marquée avec les stations « Est-20m ».



Figure 8. *Macropodia rostrata*
(Photo C. d'Udekem d'Acoz)

Comme il apparaît dans ce cas que 26,15% de l'inertie totale est exprimée par les 2 premiers axes factoriels, nous avons voulu prendre en compte le troisième axe (9,42%), voire le quatrième axe (7,47%) afin d'augmenter le pourcentage d'inertie mais cela n'a pas révélé plus d'informations. Ces axes ne sont pas présentés pour cette raison.

Une classification hiérarchique réalisée sur ces mêmes données de densités (poissons et invertébrés) a confirmé la structuration mise en évidence par l'ACP (Figure 9A et B). On retrouve la cohérence des groupes autour d'une distribution spatiale axée sur les différences de profondeurs et de localisations. Il convient toutefois de noter que la station « Ouest 10 m » se distingue le plus du groupe et que les stations « Est 20 m » et « Ouest 20 m », déjà moins bien séparées sur le premier plan factoriel de l'ACP, sont regroupées en une classe.

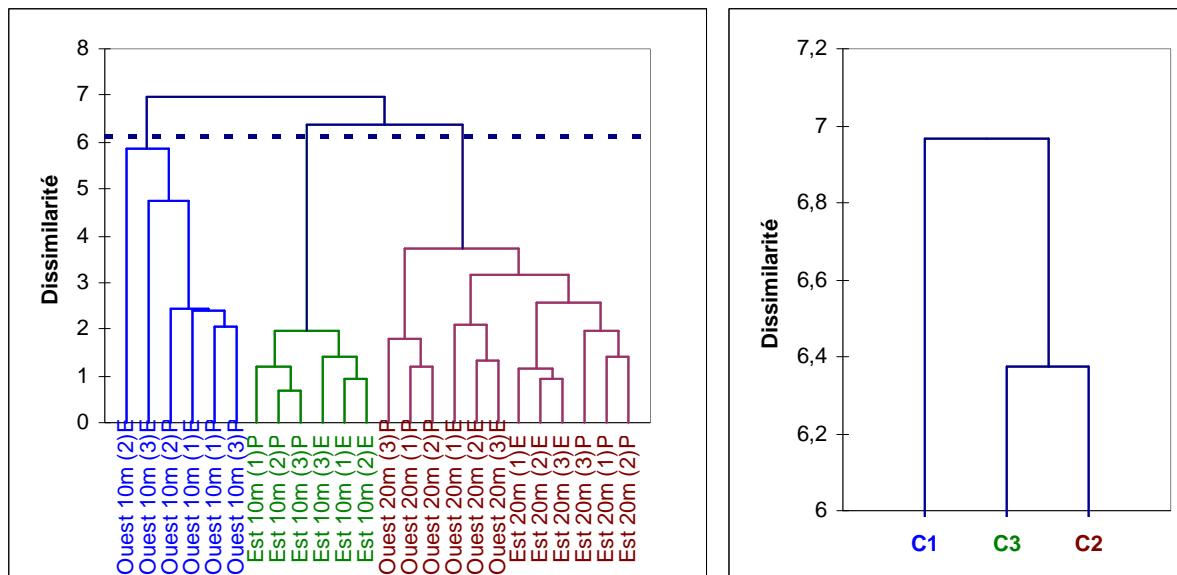




Figure 10.A. Espèces prédominantes de la station « Ouest 10 m » : *Pagurus prideaux* avec l'actinie commensale *Adamsia carcinopados* (Photo E. Svensen) à gauche et *Gobius niger* (Photo C. Vacquier) à droite



Figure 10.B. Espèces prédominantes de la station « Est 10 m » : De gauche à droite, *Ophiura ophiura* (Photo C. Vacquier), *Aporrhais pespelecani* (Photo H. Bordas), *Pisidia longicornis* en haut ; *Buglossidium luteum* (Photo C. Vacquier) et *Pomatoschistus minutus* (Source : www.fishbase.org) en bas.



Figure 10.C. Espèces prédominantes des stations à 20 m : De gauche à droite, *Liocarcinus* sp (Photo L. Lough), *Anapagurus* sp (Photo C. d'Udekem d'Acoz), *Turritella communis* en haut ; *Chelidonichthys lucernus* (Source : www.fishbase.org) et *Arnoglossus laterna* (Photo C. Vacquier) en bas.

Figure 10. Espèces récoltées qui prédominent dans les échantillons récoltés sur les 4 stations.

(poissons) pour « Est 10 m », et de *Turritella communis*, *Anapagurus* spp. (qui se logent dans les coquilles vides de turritelles), *Liocarcinus* spp. (invertébrés), *Arnoglossus laterna* et *Chelidonichthys lucernus* (poissons) pour le groupe « Profondeur 20 m (Est et Ouest) ». Il faut noter que les espèces *B. luteum*, *O. ophiura* pour l'Est et *C. lucernus* pour la profondeur 20 m, apparaissent de manière prédominante sur les deux analyses (ACP et CAH).

Par ailleurs, l'analyse des seuls peuplements d'invertébrés (donc poissons exclus) montre les tendances révélées précédemment par l'ACP et la CAH pour l'ensemble des espèces récoltées au chalut (poissons et invertébrés). Les peuplements d'invertébrés sont structurés selon les dimensions spatiales (10m-20m ; Est-Ouest), sans que les deux saisons ne soient distinguées, raison pour laquelle cette analyse n'est pas présentée. Ceci s'explique sans doute par la supériorité numérique des peuplements d'invertébrés qui vont contribuer plus fortement au regroupement des stations sur le plan factoriel et dans chaque classe.

1.2. Variations spatiales de la densité des principales espèces récoltées au chalut

Les espèces qui prédominent dans chaque classe, définies en 1.1, représentent sur l'ensemble des stations (les deux saisons confondues) plus de 83% de la densité totale. Certaines d'entre elles varient de manière significative en fonction des dimensions spatiales définies par les axes 1 et 2 de l'ACP (Tableaux V et VI). Entre 10 et 20 m de profondeur, seules les densités moyennes d'*Arnoglossus laterna*, pour les poissons, du genre *Anapagurus* et de l'un des deux sous-genre du crabe *Liocarcinus* pour les invertébrés, varient de manière significative (Tableau V). En effet, ces espèces présentent de plus fortes densités à 20 m qu'à 10 m avec de faibles dispersions autour des valeurs moyennes, et ce pour les deux saisons.

Les poissons *Gobius niger* et *Buglossidium luteum* présentent de plus grandes densités à l'Ouest et à l'Est du golfe respectivement, de manière significative et nettement plus forte pour *B. luteum* (Tableau VI). En effet, 70% des individus de *G. niger* ont été récoltés à l'Ouest du golfe, et 88% des individus de *B. luteum* à l'Est. Parmi les invertébrés, seule la densité moyenne de *Pisidia longicornis* varie de manière significative entre l'Ouest et l'Est, et surtout à 10 m de profondeur au printemps où 72% de sa densité totale est exprimée.

Il faut noter que les densités moyennes de *Macropodia rostrata*, espèce ayant été révélée « intermédiaire » sur l'ACP, varient de manière significative en fonction de la profondeur et du site de prélèvement.

Tableau V. Densités moyennes par hectare des principales espèces de poissons et d'invertébrés récoltées au chalut à 10 et 20 m dans le Golfe de Beauduc (printemps et été confondus). Test U de Mann-Whitney, test de comparaison des moyennes spatiales à 1 ddl, le test est significatif lorsque la valeur de p est < 0,05 (valeur inscrite en rouge). Les écarts-types sont entre parenthèses.

Espèces principales	code	10 m	20 m	U	valeur de p
Poissons					
<i>Arnoglossus laterna</i>	Ar.lat	143,99 (69,33)	332,07 (199,22)	22	0,003
<i>Gobius niger</i>	Go.nig	109,19 (78,74)	62,99 (50,24)	100	0,124
<i>Pomatoschistus minutus</i>	Po.min	91,79 (74,89)	41,70 (36,69)	99	0,185
<i>Buglossidium luteum</i>	Bu.lut	97,19 (97,54)	34,50 (37,01)	100	0,211
<i>Chelidonichthys lucernus</i>	Ch.luc	4,80 (12,78)	34,20 (38,60)	42	0,604
Invertébrés					
<i>Ophiura texturata</i>	Op.oph	623,35 (915,39)	1,20 (4,16)	105	0,640
<i>Aporrahais pespelecani</i>	Ap.pes	111,31 (192,48)	13,80 (31,22)	115	0,213
<i>Anapagurus spp</i>	An.spp	10,20 (16,66)	119,69 (61,69)	12	0,001
<i>Pagurus prideaux</i>	Pa.pri	38,40 (75,72)	1,80 (6,23)	97	0,149
<i>Turritella communis</i>	Tu.com	11,63 (31,86)	91,65 (91,99)	28	0,127
<i>Liocarcinus spp1</i>	Li.sp1	19,80 (26,61)	71,69 (84,83)	40	0,299
<i>Liocarcinus spp2</i>	Li.sp2	3,00 (3,71)	97,49 (96,54)	11	0,007
<i>Pisidia longicornis</i>	Pi.lon	76,79 (173,29)	1,20 (2,80)	113	0,863
<i>Macropodia rostrata</i>	Ma.ros	21,00 (21,15)	48,60 (32,79)	33	0,032
Total espèces chalutées	–	1156,41 (510,71)	1842,45 (1257,86)	84	0,514

Tableau VI. Densités moyennes par hectare des principales espèces de poissons et d'invertébrés récoltées au chalut dans les parties Ouest et Est du Golfe de Beauduc (printemps et été confondus). Test U de Mann-Whitney, test de comparaison des moyennes spatiales à 1 ddl, le test est significatif lorsque la valeur de p est < 0,05 (valeur inscrite en rouge). Les écarts-types sont entre parenthèses.

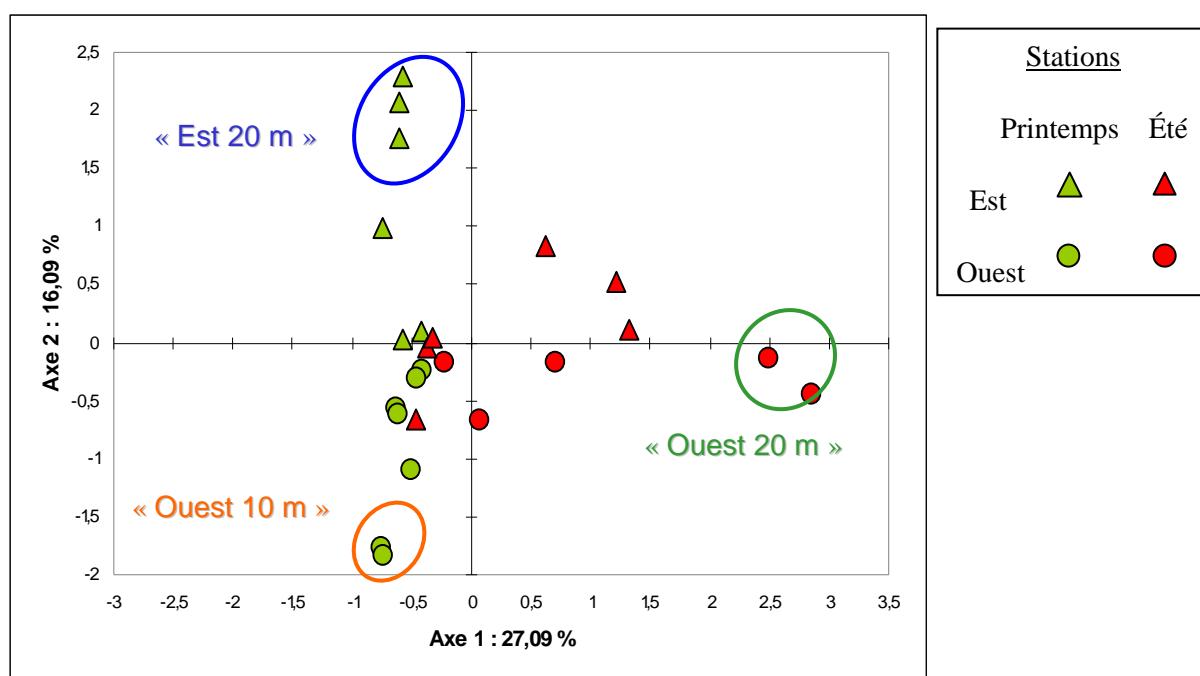
Espèces principales	code	Ouest	Est	U	p
Poissons					
<i>Arnoglossus laterna</i>	Ar.lat	217,62 (194,13)	248,98 (160,76)	53	0,298
<i>Gobius niger</i>	Go.nig	117,81 (74,51)	52,20 (42,77)	115	0,012
<i>Pomatoschistus minutus</i>	Po.min	46,80 (60,30)	77,39 (66,63)	52	0,361
<i>Buglossidium luteum</i>	Bu.lut	12,76 (22,14)	116,39 (83,44)	9	< 0,0001
<i>Chelidonichthys lucernus</i>	Ch.luc	20,94 (35,11)	16,20 (29,46)	81	0,069
Invertébrés					
<i>Ophiura ophiura</i>	Op.oph	–	624,55 (914,51)	30	0,892
<i>Aporrahais pespelecani</i>	Ap.pes	10,47 (23,74)	122,99 (192,16)	42	0,724
<i>Anapagurus spp</i>	An.spp	49,50 (75,88)	80,39 (65,90)	41	0,265
<i>Pagurus prideaux</i>	Pa.pri	38,40 (75,72)	1,80 (6,23)	97	0,149
<i>Turritella communis</i>	Tu.com	51,30 (111,56)	55,93 (84,77)	46	0,746
<i>Liocarcinus spp1</i>	Li.sp1	68,09 (87,42)	23,40 (25,34)	84	0,701
<i>Liocarcinus spp2</i>	Li.sp2	90,29 (101,64)	10,20 (10,84)	92	0,791
<i>Pisidia longicornis</i>	Pi.lon	22,20 (40,66)	55,80 (175,74)	92	0,037
<i>Macropodia rostrata</i>	Ma.ros	22,20 (22,02)	47,40 (33,27)	34	0,044
Total espèces chalutées	–	1156,41 (510,71)	1842,45 (1257,86)	56	0,378

2. Analyse des assemblages de poissons

2.1. Distribution spatiale et saisonnière

Sur le premier plan factoriel, qui représente plus de 43% de l'inertie totale, les stations sont réparties sur l'axe 1 selon une distribution saisonnière « Printemps – Eté » (Figure 11A). Pour les poissons, la dimension saisonnière est donc nettement dominante par rapport aux dimensions spatiales mises en évidence pour l'ensemble des communautés macrobenthiques (cf. paragraphes précédents).

Signalons que les stations « Ouest 20 m Eté » et « Est 20 m Eté », notamment deux des trois traits de chalut de la station « Ouest 20 m Eté » tirent l'axe 1 avec de fortes contributions absolues, respectivement égales à 35% et 28%. Sur l'axe 2, les stations semblent être réparties d'une manière plus hétérogène, bien que les stations « Est 20 m Printemps » et deux des trois traits de chalut de la station « Ouest 10 m Printemps » semblent davantage s'individualiser aux opposés de l'axe (Figure 11A). En effet elles contribuent fortement à la construction du deuxième axe avec des contributions absolues respectives de 55% et 28%.



L'analyse de la distribution des espèces sur le cercle de corrélations de l'ACP montre que les abondances de certaines espèces de poissons semblent révéler 2 groupes principaux (Figures 11B et 11C). En effet, ces espèces contribuent fortement à la construction des deux axes. Pour l'axe 1, il s'agit notamment d'*Arnoglossus laterna*, les Triglidae *Chelidonichthys*

lucernus et *Eutrigla gurnardus*, le chinchard *Trachurus trachurus* et le gobie *Leusueurigobius suevii* (Figure 12) qui sont des espèces caractérisant la période d'été, et, principalement la profondeur de 20 m. Pour l'axe 2, les espèces qui y contribuent le plus sont les Triglidae juvéniles indéterminés, le merlu *Merluccius merluccius*, le gobie *Deltentosteus quadrimaculatus* (Figure 12). Elles caractérisent la période printanière, et, principalement la station « Est 20 m ». Il est toutefois à signaler que ces espèces ne sont représentées dans les échantillons que par un faible nombre d'individus.

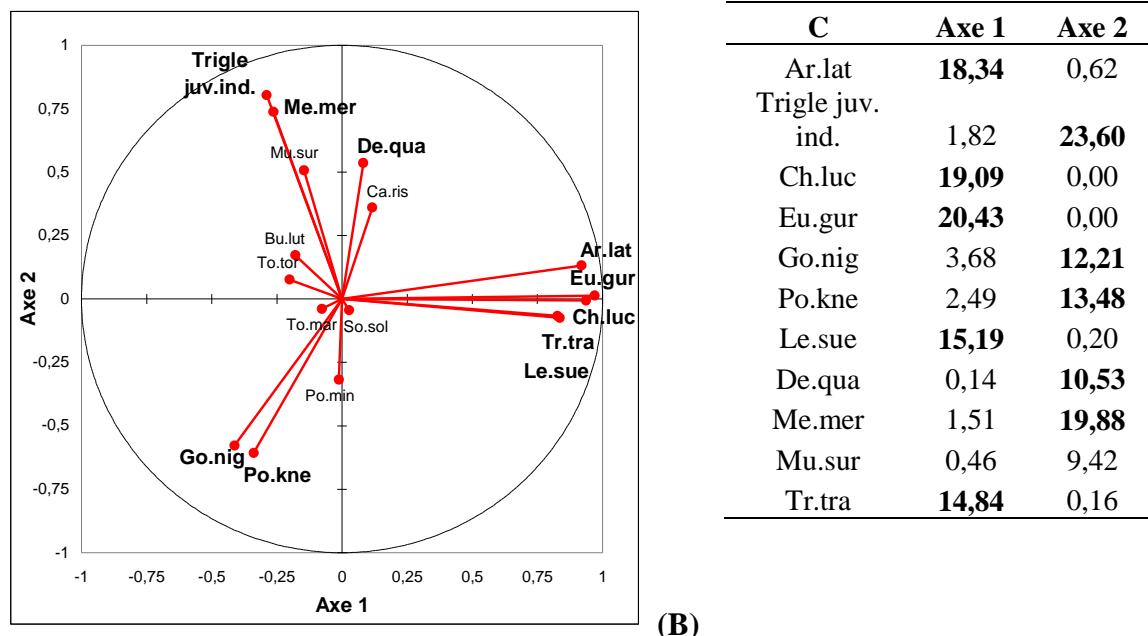


Figure 11. A. Projection des stations (différents points de prélèvement à différentes zones, profondeurs, et saisons) sur le premier plan issu de l'ACP réalisée sur les densités des 17 espèces de poissons ; P = printemps, E = été. B. Projection des variables (espèces de poissons) sur le plan factoriel de l'ACP C. Les contributions absolues des espèces pour la construction des axes 1 et 2 sont exprimées en pourcentage de l'inertie de chaque axe. Seules les espèces dont la contribution absolue > 5% pour au moins un axe sont mentionnées, et les espèces avec une contribution absolue >10% sont mentionnées en gras sur (B). Code des espèces en Annexe 3.



Figure 12. *Leusueurigobius suevii* en haut, *Merluccius merluccius* en bas et *Deltentosteus quadrimaculatus* (Source : www.fishbase.org).

Le Gobiidae *Gobius niger* récolté avec les plus fortes abondances au printemps à la station « Ouest » 10 m et le Gobiidae *Pomatoschistus knerii* capturé uniquement au printemps et essentiellement à la station « Ouest » 10 m contribuent également à la formation de cet axe.

La prise en compte du troisième axe de l'ACP (14,26%), montre une tendance « Est - Ouest ». Les stations « Est 10 m Printemps » s'individualisent sur cet axe, pour lequel 2 espèces de poissons contribuent fortement (>10%) à sa construction: le Torpedinidae *Torpedo torpedo* (22,66%) et le Soleidae *Buglossidium luteum* (34,06%). Il faut toutefois noter que *T. torpedo* (Figure 13) n'est représentée dans l'échantillon que par 4 individus.



Figure 13. *Torpedo torpedo* (Source : www.fishbase.org).

2.2. Variations saisonnières de la densité des principales espèces de poissons

Parmi les 17 espèces de poissons récoltées, seulement 5 ont été prélevées aux deux saisons. De plus, elles ont les plus fortes densités moyennes (Tableau VII) et représentent sur les deux saisons plus de 91% de la densité totale. En raison de la grande dispersion des densités autour des valeurs moyennes, la variation saisonnière n'est pas significative pour l'ensemble des espèces principales. De plus la plupart de ces espèces présentent un profil de distribution homogène entre tous les points de prélèvement sur les deux saisons. Seule la densité moyenne de *G.niger* varie de manière significative entre le printemps et l'été, avec une baisse de 60% de la densité moyenne entre les deux séries de prélèvements.

Tableau VII. Densités moyennes par hectare des principales espèces de poissons récoltées au chalut au cours des deux saisons de prélèvements, Test U de Mann-Whitney de comparaison des moyennes, le test est significatif lorsque la p-value est <0,05 (valeur inscrite en rouge). Les écarts-types sont entre parenthèses. Est mentionné le code pour chaque espèce utilisé dans l'ACP.

Spécies principales	Code	Printemps	Eté	U	p
<i>Arnoglossus laterna</i>	Ar.lat	152,39 (36,94)	323,67 (215,46)	48	0,173
<i>Gobius niger</i>	Go.nig	121,19 (73,41)	51,00 (42,56)	116	0,009
<i>Buglossidium luteum</i>	Bu.lut	80,39 (103,73)	51,30 (42,48)	66	0,916
<i>Pomatoschistus minutus</i>	Po.min	57,00 (46,20)	76,49 (77,34)	68	0,87
<i>Callionymus risso</i>	Ca.riss	50,40 (31,31)	35,70 (23,20)	93	0,185
Total poissons	–	491,96 (131,23)	601,75 (296,58)	54	0,311

2.3. Variation saisonnière des structures de tailles des principales espèces de poissons

Pour les 5 espèces les plus abondantes, et capturées aux deux saisons, la variation saisonnière de la taille des individus est marquée, voire très marquée (Figure 14). Pour *A. laterna*, deux cohortes sont distinctes en été (juin), ce qui est dû à l'apparition importante de juvéniles ($L_T \leq 60$ mm) dans la population à cette saison, essentiellement à 20 m de profondeur. Il faut noter que ce sont des juvéniles de l'année ($L_T \leq 50$ mm). Les adultes ($L_T > 60$ mm) sont toujours abondants, quelle que soit la saison.

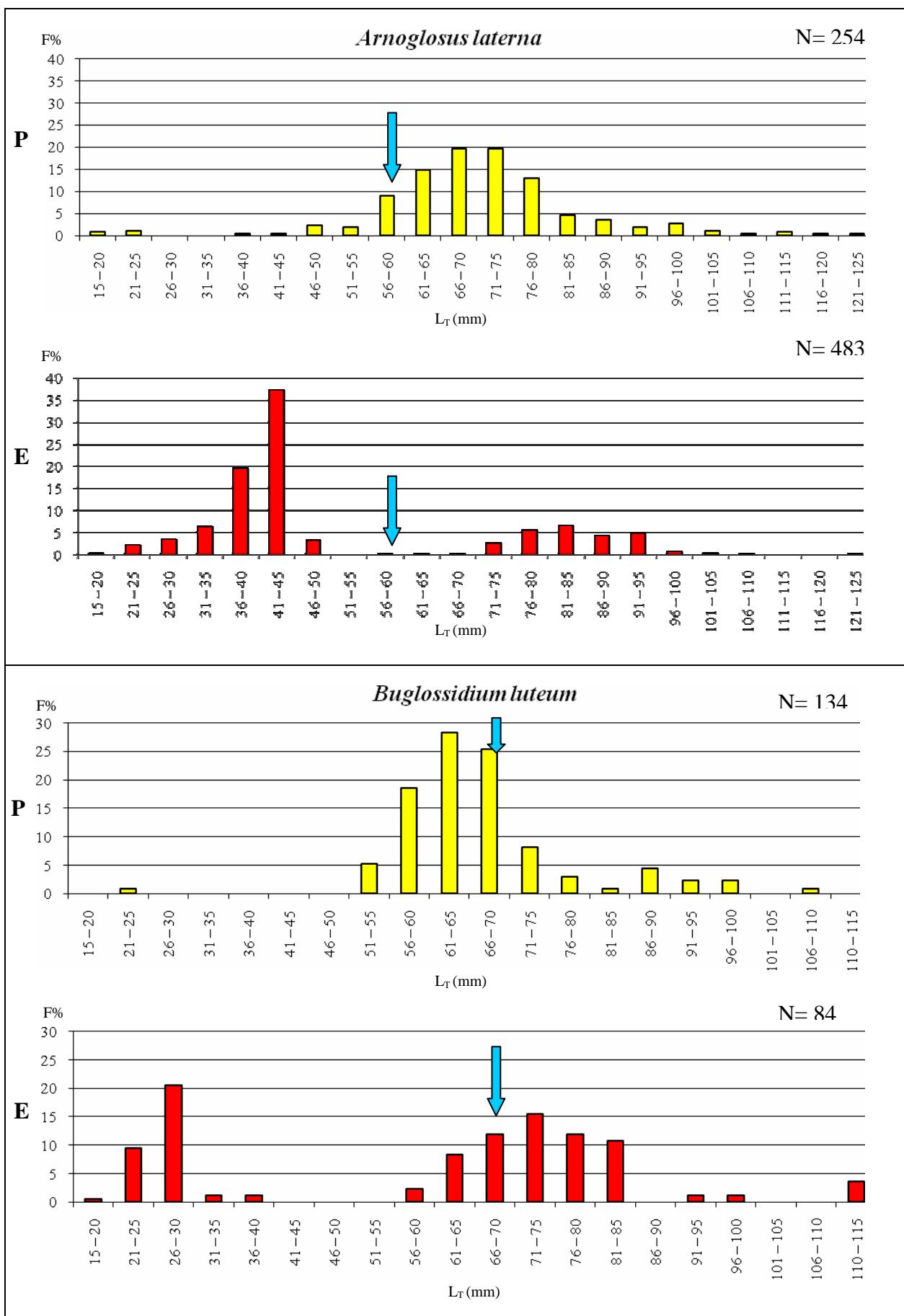
Chez *B. luteum*, le même schéma que pour *A. laterna* est observé en été avec une arrivée importante de petits juvéniles ($L_T \leq 50$ mm), notamment à l'Est, à 20 m de profondeur. Les juvéniles de plus d'un an (50-70 mm) sont surtout présents au printemps (avril) à la station « Est 10 m ». Les adultes ($L_T > 70$ mm) sont moins abondants mais présents au deux saisons.

Pour *G. niger*, les juvéniles ($L_T \leq 60$ mm) sont capturés essentiellement au printemps, à l'Ouest, mais également en plus faible abondance l'été. Les adultes ($L_T > 60$ mm) représentent la majorité des individus prélevés en été. Chez *P. minutus*, les juvéniles ($L_T \leq 40$ mm) sont principalement capturés en été. Les adultes ($L_T > 40$ mm) sont présents quelle soit la saison.

Pour *C. risso*, les juvéniles ($L_T \leq 40$ mm) sont capturés uniquement l'été. Les adultes ($L_T > 40$ mm) sont présents aux deux saisons mais avec de plus fortes densités au printemps.

Les autres espèces ont été récoltées de manière plus ponctuelle, en faible abondance et/ou à une seule saison. La majorité d'entre elles (*Solea solea*, les Triglidae, les Torpedinidae, *Merluccius merluccius*, *Mullus surmuletus* et *Trachurus trachurus* (Figure 15)) est représentée par des juvéniles.

Dans chaque cas, l'apparition ou la présence de juvéniles est liée au recrutement de ces espèces dans les petits fonds du Golfe de Beauduc. Il est toutefois à noter que la plupart des espèces récoltées au petit chalut sont des petits représentants de la faune ichtyologique.



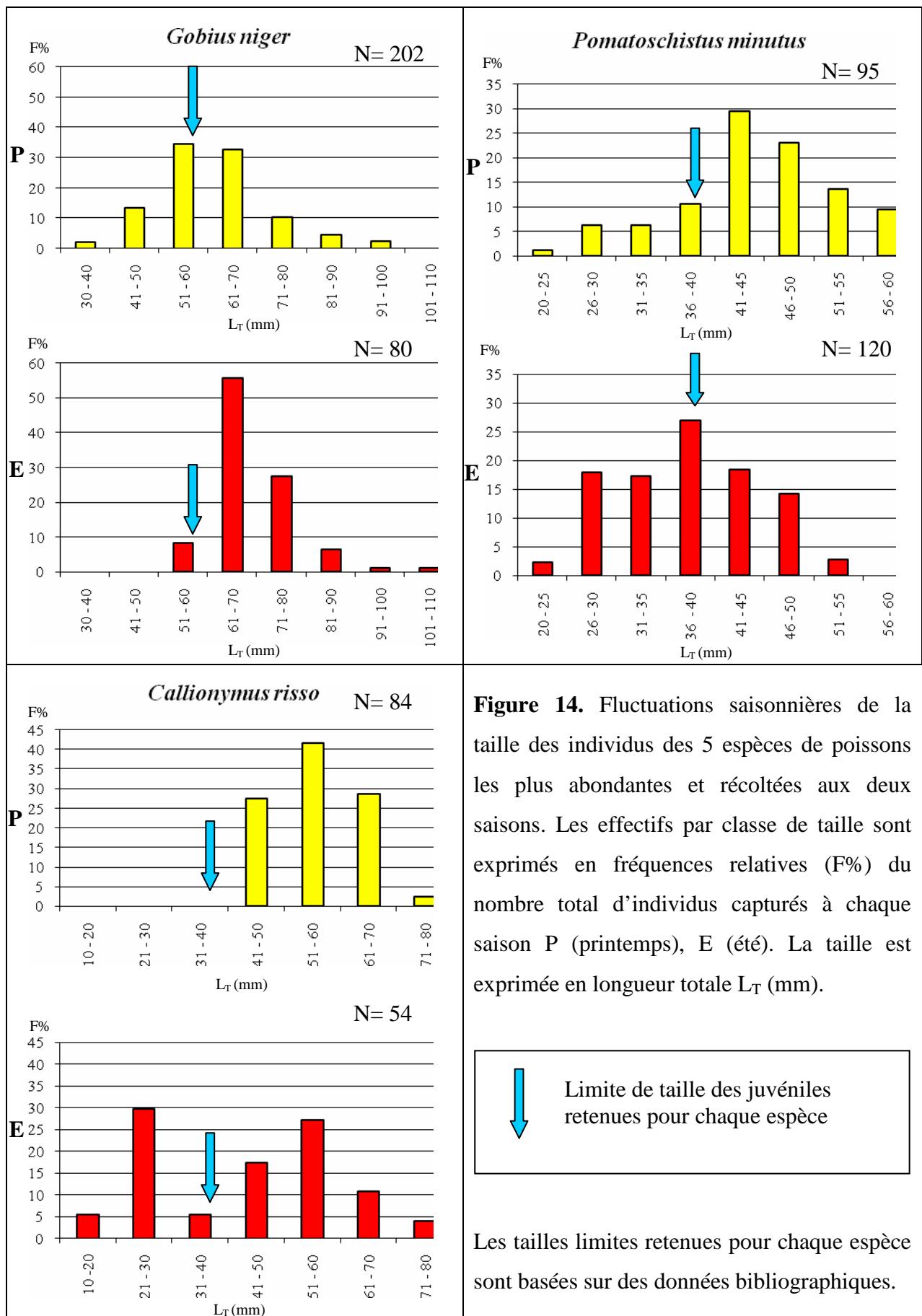


Figure 14. Fluctuations saisonnières de la taille des individus des 5 espèces de poissons les plus abondantes et récoltées aux deux saisons. Les effectifs par classe de taille sont exprimés en fréquences relatives (F%) du nombre total d'individus capturés à chaque saison P (printemps), E (été). La taille est exprimée en longueur totale L_T (mm).



Figure 15. De gauche à droite : *Solea solea*, *Mullus surmuletus* et *Trachurus trachurus* (Source : www.fishbase.org).

La majorité des 5 espèces récoltées aux deux saisons présentent une proportion de juvéniles plus élevée l'été (juin) (Tableau VIII). Pour *B. luteum*, c'est l'arrivée de juvéniles de l'année à cette saison qui est le plus remarquable avec 1% au printemps et 33% en été. Pour *G. niger*, en pleine période de reproduction lors des prélèvements, l'arrivée massive des juvéniles au printemps (avril), est caractéristique. Par ailleurs, la majorité des femelles observées lors des déterminations étaient en âge de se reproduire (environ 1 an). Deux mois après, en été, des femelles mûres sont encore observées, mais les juvéniles n'ont pas encore recruté dans la zone.

Tableau VIII. Proportion de juvéniles des 5 espèces de poissons communes aux deux saisons

Espèces	Période de reproduction	Printemps	Été
<i>Arnoglossus laterna</i>	Avril-Août	16% (N= 254)	73% (N= 483)
<i>Buglossidium luteum</i>	Février-Mai	78% (N= 134)	56% (N= 84)
<i>Gobius niger</i>	Mars-Septembre	50% (N= 202)	8% (N= 80)
<i>Pomatoschistus minutus</i>	Décembre-Avril	24% (N= 95)	64% (N= 120)
<i>Callionymus risso</i>	?	0% (N= 84)	41% (N= 54)

III.3. Station supplémentaire « Est 6 m »

❖ Diversité des communautés

Un total de 31 espèces, dont 11 de poissons (appartenant à 7 familles) et 20 d'invertébrés (appartenant à 5 phylums et 19 familles), a été récolté à cette station en été (Annexe 2). Avec une densité moyenne de 3549 ± 1534 individus ha^{-1} (Tableau IX), les

échantillons de cette station présentent, en été, de plus fortes densités qu'à 10 et 20 m (cf. Tableau II), notamment pour les invertébrés.

Tableau IX. Richesse spécifique totale (R_T), richesse spécifique moyenne (R_m) et densités moyennes (D) par hectare pour les poissons et les invertébrés dans la station « supplémentaire », à 6m en été. N= 3. Les écarts-types sont entre parenthèses.

	Poissons	Invertébrés	Total
R_T	11	20	31
R_m	8 (2)	13 (2)	21 (1)
D (nombre d'individus ha^{-1})	583 (22)	2966 (1516)	3549 (1534)

❖ Structure des communautés

La majorité des espèces sont les même que celles prélevées à 10 m et à 20 m. L'ophiure *Ophiura ophiura* présente un faciès comme à la station « Est 10 m », mais présente de plus fortes densités à 6 m l'été. Les étrilles du genre *Liocarcinus* récoltées avec de fortes abondances à 20 m (essentiellement des juvéniles) sont présentes en grande quantité à 6 m (essentiellement au stade adulte). Le gobie *Pomatoschistus minutus* est le poisson récolté avec la plus forte densité.

Par ailleurs, 10 espèces ont été récoltées exclusivement à cette profondeur (Annexe 2) : 4 de poissons et 6 d'invertébrés dont plusieurs espèces de couteaux (familles des Pharidae et Solenidae), le crabe coryste (*Corystes cassivelaunus*) et le pagure des sables (*Diogenes pugilator*).



Figure 16. *Ensis siliqua* (Pharidae) et *Corystes cassivelaunus* (Photo C. d'Udekem d'Acoz)

De plus, parmi les poissons, 2 individus de l'espèce *Hippocampus hippocampus* (hippocampe à museau court), ainsi qu'une raie, probablement de l'espèce *Raja asterias* (raie étoilée) (Figure 17), ont été capturés puis relâchés sur cette station. Il est important de noter que toutes deux sont des espèces protégées (Annexe 2).



Figure 17. *Hippocampus hippocampus* et *Raja cf. asterias* (Photos PNRC)

Bilan « Espèces » : Un total de 140 espèces a été récolté, toutes stations et toutes saisons confondues, dont 10 exclusivement à 6 m. Parmi ces 140 espèces, 119 sont des invertébrés et 21 sont des poissons, et on compte 58 espèces nouvellement reconnues sur la zone (vivantes ou en épave), ainsi que 5 espèces à valeur patrimoniale ou protégées (dont la magnoliophyte *Zostera noltii*).

IV. DISCUSSION

IV.1. Structure spatio-temporelle des communautés macrobenthiques

1. Distribution spatiale

❖ *Impact des processus physiques d'enrichissement et de confinement*

Les 140 espèces, appartenant à 9 phylums, récoltées sur le Golfe de Beauduc reflètent une bonne diversité taxonomique de la zone. La diversité du golfe est notamment marquée par des différences d'assemblages d'espèces sur les cinq stations étudiées. La répartition des sédiments et les apports en matière organique et nutriments déterminent l'établissement des biocénoses. Au cœur de cette dynamique, on retrouve deux processus physiques qui se superposent, l'enrichissement et le confinement.

Processus d'enrichissement : Deux facteurs forçants interviennent sur l'enrichissement.

D'une part, le courant Liguro Provençal assure le transport horizontal, d'Est en Ouest, des sédiments en provenance du « Grand Rhône » (90% du débit du fleuve) et des plages en amont (Figure 18). Il transporte également la masse d'eau enrichie au débouché du Rhône en matière organique, nutriments et populations phytoplanctoniques au développement saisonnier. Lors du passage de ce courant sur le plateau continental, les apports rhodaniens viennent enrichir le Golfe de Beauduc.

Cet enrichissement provient également des apports du « Petit Rhône » (10% du débit du fleuve) et des étangs inférieurs qui influencent la décantation des particules fines, notamment dans la partie Ouest du golfe. Les crues vont avoir une influence sur les décharges continentales du Rhône et des étangs. Il faut aussi noter que la houle intervient dans le transport horizontal des sédiments et donc sur leur répartition, elle a plus d'influence dans la partie la plus interne du golfe, c'est-à-dire dans la partie Est.

Par ailleurs, le vent de secteur N-NW (Mistral) soufflant parallèlement à la côte génère un upwelling d'Ekman (Figure 18). L'upwelling assure le transport vertical des masses d'eau enrichies en nutriments, d'origine plus profondes, et donc l'augmentation des eaux superficielles en azote organique dissous et matière organique, particulaire et dissoute. Le courant Liguro Provençal et le vent peuvent agir séparément mais aussi ensemble, de manière à assurer un enrichissement permanent des fonds et de la colonne d'eau.

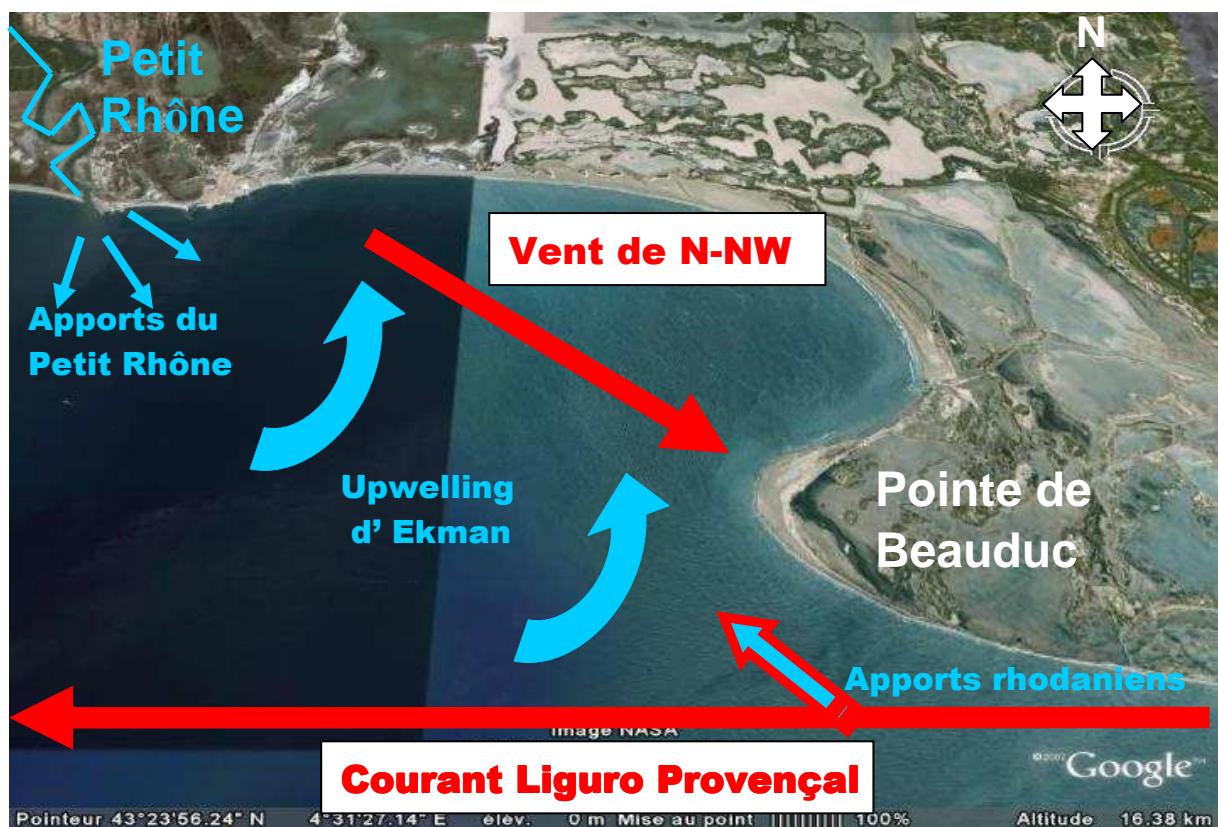


Figure 18. Processus d'enrichissement du Golfe de Beauduc. En rouge, les facteurs physiques forçants : le courant géostrophique Liguro Provençal (Est – Ouest) + le vent de secteur N-NW (Mistral) soufflant parallèlement à la côte. En bleu, les processus d'enrichissement associées: un upwelling d'Ekman : remontée des eaux profondes de 100 à 300 m, froides et enrichies en nutriments + les apports rhodaniens du Grand Rhône et du Petit Rhône. (Réf. carte : Google Earth™).

Processus de confinement : Induit par la morphologie du golfe, un processus de confinement se met en place. Les masses d'eau enrichies vont être piégées dans le golfe par l'augmentation du temps de résidence des masses d'eau (Figure 19).

Le courant Liguro Provençal s'écoule normalement le long du talus. Lorsqu'il s'intensifie, l'hiver, une branche rentre sur le plateau continental. Un courant giratoire s'établit alors à l'intérieur du golfe, entraînant et piégeant les apports rhodaniens (Millet, comm. pers.). La vitesse du gyre est rapidement réduite dans le golfe par force de frottement, ce qui crée une zone plus calme qu'à la pointe de Beauduc, qui reste plus agitée par le passage du courant à proximité.

Plus à l'intérieur du golfe, la circulation du vent de secteur N-NW est bloquée par la pointe de Beauduc et va ainsi entretenir le courant giratoire dans la partie Est du golfe, remettant en suspension les particules déposées sur le fond aux faibles profondeurs.

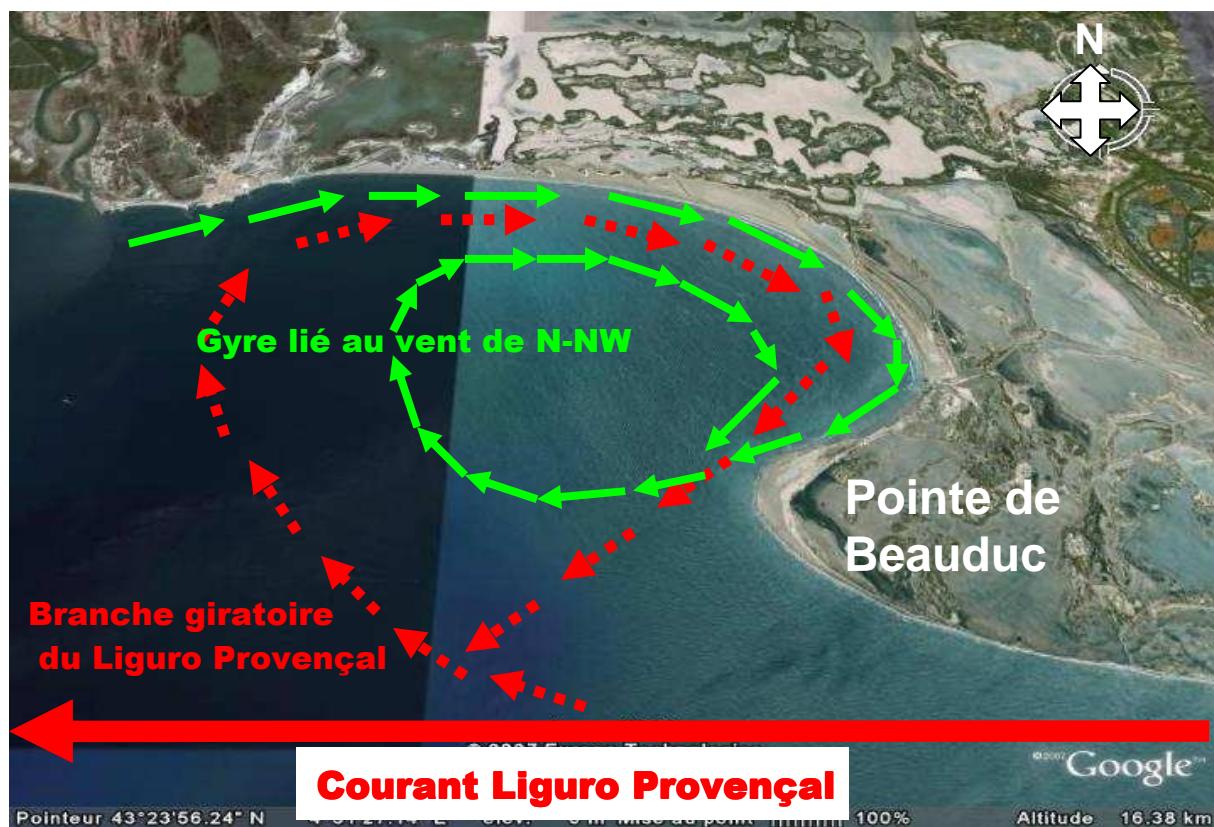


Figure 19. Processus de confinement au sein du Golfe de Beauduc. En **rouge**, courant giratoire lié à l'excursion saisonnière du Liguro Provençal sur le plateau continental. En **vert**, circulation giratoire du courant de dérive lié au vent de secteur N-NW. (Réf. carte : Google Earth™).

Ces phénomènes d'enrichissement et de confinement vont favoriser le développement phyto-planctonique, créant un enrichissement permanent de la colonne d'eau qui se répercute sur l'écosystème via la chaîne trophique. De plus, les courants sont impliqués dans la dispersion des œufs et des larves. Tout ceci tend à favoriser le succès du recrutement des juvéniles et donc le rôle de nurserie du golfe (Salen-Picard, 2004).

❖ *Distribution spatiale Ouest vs. Est*

La partie Ouest du golfe est soumise aux apports directs du « Petit Rhône » et des étangs, c'est une zone de décantation préférentielle. Les vases sont très compactes (fraction pélitique > 80%) et ne permettent pas l'installation d'une abondante macrofaune endogée qui se retrouve seulement dans la couche superficielle du sédiment. De plus, un grand nombre de débris coquilliers oxydés a été récolté sur la zone, notamment à 20 m de profondeur avec une majorité de coquilles de turritelles mortes. Ceci suggère qu'une trop forte accumulation de matière organique entraînerait une dystrophie du milieu. Une majorité d'espèces dépositivores⁽²⁾ va s'installer dans ce type de biotope (Bellan-Santini *et al.*, 1994). Il serait d'ailleurs intéressant de calculer des indices trophiques à cette station pour évaluer le niveau de dystrophie. De plus, dans ce milieu peu riche, ce sont les espèces de gros crustacés (pagures, galathées et crabes) capables de se déplacer qui présentent de fortes abondances dans les échantillons. La partie Est du golfe est une zone plus brassée et les sédiments comportent une fraction sableuse plus importante qu'à l'Ouest.

A l'intérieur du golfe (stations « Est 10 m » et « Est 6 m »), le gyre lié au vent permet le renouvellement des masses d'eau, ainsi qu'une bonne oxygénation du milieu. Les espèces installées seraient dans ce cas plutôt des suspensivores⁽³⁾ tels que les polychètes *Ampharetidae*, famille qui présente de fortes abondances à 10 m. Ceci semble favoriser l'installation des espèces avec de plus fortes densités, notamment pour l'ophiure *O. ophiura* qui présente un faciès sur cette zone. L'installation de ses larves se fait en effet préférentiellement sur les fonds sablo-vaseux de mode calme. De plus, la présence de ce prédateur pourrait être mise en relation avec une forte abondance de ses proies (polychètes, mollusques, petits crustacés). Il faut aussi noter qu'à 6 m, les crabes carnivores du genre *Liocarcinus* présentant de fortes abondances sont au stade adultes, contrairement à ceux présents à 20 m. Tout ceci laisse à

⁽²⁾ Qui se nourrit de la matière organique déposée sur le fond.

⁽³⁾ Qui se nourrit de la matière organique en suspension dans la colonne d'eau.

penser que l'enrichissement et le confinement à l'intérieur du golfe favorisent le développement d'un écosystème mature où les chaînes trophiques sont relativement longues.

A la pointe de Beauduc (station « Est 20m »), la zone est plus agitée par le passage du courant Liguro Provençal et l'action du vent de secteur SE-SSE. La fraction sableuse des sédiments est donc plus importante qu'aux autres stations. Ceci favorise l'installation d'une plus grande diversité de poissons et de plus fortes abondances d'invertébrés.

Les assemblages de poissons entre ces deux zones sont assez différents, la partie Ouest est dominée par *Arnoglossus laterna* et *Gobius niger*, espèces plutôt inféodées aux fonds vaseux, tandis qu'à l'Est *Buglossidium luteum*, espèce qui préfère les fonds vaso-sableux, prédomine largement.

Les différences dans la structure des assemblages semblent être liées également à la répartition des proies sur les fonds (Letourneur *et al.*, 2001). En effet, selon la dominance des espèces d'invertébrés, les espèces de poissons s'assemblent en fonction de leurs préférences alimentaires (crustacés, mollusques, polychètes ou petits poissons). Ceci a été observé pour les espèces de poissons plats sur les fonds au large du Rhône (Darnaude, 2003) où le partage des ressources se fait entre les espèces mais aussi entre les individus d'une même espèce selon leur stade de vie.

❖ *Particularités des stations à 20 m*

Les stations à 20 m de profondeur semblent apparemment différer dans la composition de leurs sédiments. Or, d'un point de vue biocénétique, les mêmes groupes taxonomiques et espèces prédominent à ces stations. En effet, l'abondance du gastéropode *Turritella communis* révèle une biocénose de Vase Terrigène Côtière (VTC) (Bellan-Santini *et al.*, 1994). Il est probable que ces stations, à l'embouchure du « Petit Rhône », subissent un apport terrigène qui sédimente rapidement sur les fonds et qui permettrait donc l'installation d'organismes dépositaires. Les crustacés qui dominent sur ces stations sont représentés par le genre *Anapagurus*, espèces de petites tailles (5 mm), logeant dans les coquilles de turritelles mortes. De plus, cette zone de nurserie importante pour le poisson *Arnoglossus laterna*, ainsi que la présence de juvéniles de crustacés du genre *Liocarcinus*, suggèrent que cette profondeur est propice à l'abondance de petites proies (polychètes, petits crustacés, mollusques). Etant donné

la similarité des biocénoses sur des sédiments assez différents, il serait intéressant d'échantillonner des stations supplémentaires afin de voir s'il y existe un gradient biologique.

❖ *Remarques*

1. Il est important de noter la quasi absence de mollusques bivalves à ces profondeurs. Ceci peut être liée à la nature des sédiments très envasés. En effet, ce groupe taxonomique ne tolère pas une trop grande proportion de fractions fines ($< 63 \mu\text{m}$) qui bouche les siphons des organismes. De plus, ils ne peuvent pas s'ensouffrir dans la vase compacte (notamment à l'Ouest). En effet, leur distribution est décroissante avec la profondeur. A 6 m, ils sont déjà très peu présents (Massé, 1972).

2. Les communautés d'invertébrés ne présentent pas de variations saisonnières marquées dans leurs densités comme dans le nombre d'espèces. Ceci peut être dû à l'intervalle de temps utilisé pour cette étude (2 mois) qui pourrait être trop court pour observer une dynamique temporelle significative pour ces communautés d'invertébrés. De plus, la plupart des individus n'a été observée qu'avec de faibles abondances, ce qui signifie que le chalut et/ou la drague ne sont peut-être pas adaptées aux prélèvements quantitatifs de certaines espèces de la faune endogée et/ou épigée. La taille de la maille (8 mm) et le diamètre du tamis (2 mm) ne sont en particulier pas adaptés aux prélèvements des juvéniles et des petites espèces. Aussi, les « poussées » estivales enregistrées au moment du recrutement des jeunes individus ont pu être sous estimées.

3. Les assemblages de poissons ne présentent pas de variation spatiale marquée des densités et de richesse spécifique. Cela pourrait suggérer que l'échelle spatiale du Golfe de Beauduc n'est pas suffisante pour discriminer nettement ces assemblages, bien que certaines espèces aient montré des variations significatives selon un gradient de profondeur (10-20m) ou de localisation (Est-Ouest).

2. Variations saisonnières des assemblages de poissons

Les variations saisonnières observées pour les assemblages de poissons sont liées principalement à leur cycle de vie et en particulier au recrutement des juvéniles, notamment en été. Le petit chalut utilisé semble donc bien adapté à la capture de juvéniles. La présence

importante de juvéniles, en particulier pour les espèces de poissons plats, est en accord avec les données récoltées à Fos-sur-mer (Letourneur *et al.*, 2001). Le même schéma saisonnier y a été observé, les plus petits juvéniles sont essentiellement capturés entre 5 et 20 m dans les petits fonds sableux de mai à juin pour *A. laterna* et de juin à juillet pour *B. luteum* ; tandis que les adultes de ces espèces se retrouvent entre 30 et 50 m de fond (Darnaude, 2003). Cela se retrouve dans le Golfe de Beauduc, de façon plus marquée à « Est 20 m » où les sédiments sont plus sableux.

Pour *S. solea*, bien qu'en période de recrutement au moment des prélèvements, les plus petits individus n'ont pas été capturés car ils recrutent essentiellement dans la zone des 0-2 m sur le littoral sableux, avant de migrer progressivement vers des zones plus profondes à la fin de l'été (Darnaude, 2003).

Gobius niger est une espèce erratique qui se reproduit en mer et utilise les étangs quand la salinité est supérieure à 10 (Pampoulie, 1999). Elle est en période de reproduction de mars à septembre. Durant cette période, la croissance des juvéniles est rapide, l'effort reproducteur est élevé et les pontes répétées. A Beauduc, l'arrivée de juvéniles et de subadultes en avril et la proportion élevée d'individus entre 60 et 70 mm de L_T observée en juin (taille de la première maturité sexuelle), sont en accord avec ces données. *Pomatoschistus minutus* est quant à elle une espèce annuelle lagunaire qui se reproduit et meurt en mer (Bouchereau *et al.* 1989). En fin de période de reproduction lors des échantillonnages, les individus récoltés semblent être des juvéniles en période de forte croissance. Les adultes, peu présents, commencent à mourir.

Ces différents éléments liés à la biologie des espèces vont bien dans le sens de l'hypothèse du rôle de nurserie que joue le Golfe de Beauduc pour les espèces benthiques sur les 10-20 m, mais aussi sans doute pour d'autres espèces démersales et pélagiques dans les premiers mètres d'eau (Héloin, 2004). D'après cet auteur, 63% des individus récoltés étaient des juvéniles, et appartenaient majoritairement à des espèces d'intérêt commercial, comme *Merluccius merluccius* présent sur la zone de 10-20 m.

IV.2. Analyses des méthodes d'échantillonnage utilisées sur le Golfe de Beauduc

Aux vues des résultats, les moyens d'échantillonnage utilisés pour cette étude semblent avoir été satisfaisants pour avoir une première vision exploratoire des fonds du golfe entre 10 et 20 m. Cependant, ils ne montrent qu'une partie de la diversité du golfe, et d'autres engins peuvent être utilisés pour les prélèvements sur substrats meubles. L'utilisation de chaque engin présente néanmoins des avantages et des limites. Ils sont plus ou moins bien adaptés à la capture de la macrofaune ciblée (Tableau X) et présentent des différences dans les moyens humains et techniques nécessaires pour leur utilisation (Tableau XI).

Tableau X. Comparaison des différents moyens de prélèvement ou prospection (plongée) de la macrofaune benthique en fonction de leur adaptation aux divers objectifs de capture. *** : bien adapté ; ** : moyennement adapté ; * : peu adapté ; NA : non adapté.

ENGINS	OBJECTIFS				
	Prélèvement poissons, juvéniles	Prélèvement poissons, juvéniles (0-2 m)	Prélèvement macrofaune mobile	Prélèvement macrofaune endogée	Etat des biocénoses et des paysages
CHALUT	*** (sauf individus de grande taille)	NA	***	*	NA
SENNE	NA	***	NA	NA	NA
DRAGUE	NA	NA	**	**	NA
BENNE	NA	NA	NA	***	NA
PLONGÉE	NA	NA	NA	NA	***

Pour le chalut, le maillage réduit (8 mm) est adapté à la capture des juvéniles dès 10-15 mm de L_T , ce qui a permis une estimation fiable des périodes de présence des plus petits juvéniles des espèces de poissons récoltées. De plus, étant lesté, il permet de prélever un grand nombre d'espèces de la macrofaune benthique épigée, tels que les crustacés ou les céphalopodes (Tableau X). Cependant, avec une petite ouverture de bouche (1,50 x 0,50 m) et la vitesse limitée (2 nœuds) à laquelle ont été effectués les prélèvements, les espèces de plus grande taille (telle que *Solea solea*) et les espèces pélagiques ont une capacité d'évitement voire d'échappement du chalut ; elles sont donc logiquement sous-échantillonnées. Les espèces les plus abondamment capturées étant surtout de petites tailles (*Arnoglossus laterna*, *Buglossidium luteum*, Gobiidae) et de faible -voire sans- valeur commerciale, nous pouvons

nous demander si le moyen de pêche utilisé est bien adapté pour caractériser la faune ichthyologique de la zone. Un chalut plus grand serait peut-être mieux adapté. Il est toutefois à signaler que lors de cette campagne l'engin a permis de capturer des individus dont la taille pouvait aller jusqu'à 30 cm de L_T (*Torpedo marmorata*). Enfin, la faune endogée n'a pas été prélevée correctement avec cet engin.

Tableau XI. Comparaison des différents moyens de prélèvement et de prospection de la macrofaune benthique en fonction des moyens humains et techniques nécessaires à leur utilisation.

ENGINS	Moyens humains	Moyens techniques	Remarques, coût éventuel
CHALUT	minimum 2 sur une petite embarcation (le patron pêcheur et un employé PNRC)	embarcation équipée d'un treuil	coût élevé peu de souplesse
	optimum 3 (2 employés PNRC)	chalut	Données quantitatives
SENNE DE PLAGE	minimum 4	filet	bonnes conditions météo
	optimum 6		faune capturée peut être relâchée
DRAGUE	idem gangui	embarcation équipée d'un treuil	coût élevé
		la drague	peu de souplesse
BENNE	idem gangui	embarcation équipée d'un treuil	coût élevé
		benne Van veen en mer	tri long et fastidieux Données quantitatives analyses sédimentaires
	pour tous: récipients + glacière + formol		
PLONGÉE	minimum 2 plongeurs + 1 personne sécurité bateau	bateau (zodiac ou embarcation)	non destructeur bonnes conditions météo
			en raison de la turbidité des eaux du golfe, ne peut se pratiquer qu'à de faibles profondeurs
		matériel de plongée	

La senne de plage (Figure 20) est, quant à elle, une bonne alternative au chalut pour les très petits fonds (0-2 m) inaccessibles au bateau (Tableau XI). De même que le petit chalut, le maillage de la senne (8 mm pour les bras et 5 mm pour la poche) est adapté aux captures des plus petits juvéniles. De plus, il permet d'échantillonner la faune ichthyologique sur toute la colonne d'eau, y compris les espèces pélagiques qui fréquentent la proche frange littorale (Héloin, 2004). Cette pêche non mécanisée et peu coûteuse peut se pratiquer sans avoir

recours à des sous-traitants. Néanmoins, avec une longueur totale de 135 m (Heloïn, 2004), ce type de pêche nécessite une main d'œuvre importante. Pour ces raisons, sa pratique nécessite de bonnes conditions météorologiques.



Figure 20. Senne de plage (Photo PNRC)

Généralement, la drague est utilisée pour prélever la faune endogée des substrats meubles. Dans le Golfe de Beauduc, elle est notamment utilisée pour les récoltes de mollusques bivalves (pêche de la telline, et pêches expérimentales (P2A, 2006)) sur les fonds de 0-6 m où le sédiment est sableux. Cependant, au cours de notre étude les prélèvements effectués à la drague Charcot ont montré davantage de débris inertes que de faune vivante. De plus, elle n'a pas permis d'avoir des relevés quantitatifs. Cela suggère que la drague est peu adaptée aux prélèvements de la macrofaune benthique sur les fonds vaseux et/ou que la macrofaune vivante, bien que diversifiée, est globalement assez peu abondante. Il faut toutefois noter que la drague peigne (Figure 21) utilisée par le bureau d'études BRL en 2003 a permis de prélever une macrofaune plus diversifiée qu'à la drague Charcot (crustacés, ophiures, gastéropodes, bivalves, etc.).



Figure 21. Drague peigne (Source : BRL, 2003)

A ces profondeurs (10-20 m), la vase est très compacte et des problèmes de colmatage de l'engin peuvent survenir. Il convient toutefois de noter que la présence de mollusques bivalves dans ce type de sédiment est très réduite. De plus, le diamètre du tamis qui a servi à trier les récoltes n'a pas permis de conserver les individus < 2 mm (juvéniles et/ou petites

espèces de polychètes, d'amphipodes, copépodes, mysidacés, etc.). Enfin, il est à signaler qu'un seul trait de drague a été effectué par station, et que la zone a donc pu être sous-échantillonnée avec cet engin qui a été utilisé, rappelons-le, à titre expérimental et comme un complément au chalut.

Pour pallier à ces problèmes, la benne (Van Veen en mer) (Figure 22) semble mieux adaptée aux prélèvements de la faune endogée. Largement utilisée par les benthologues, elle permet aussi de caractériser de manière quantitative les peuplements d'invertébrés. Cela semble nécessaire pour le suivi temporel des biocénoses benthiques endogées (notamment les polychètes). Il faut toutefois noter que le tri du benthos est long et fastidieux et que cette technique est très coûteuse. De plus, ce type de prélèvement, ponctuel dans l'espace, semble peu adapté à la faune mobile sur les fonds (notamment les crustacés et les céphalopodes) qui ont une grande capacité d'évitement. Le chalut lesté et la drague, sur les fonds sableux, semblent mieux adaptés aux captures de ces communautés (Annexe 2 ; BRL, 2003).



Figure 22. Benne Van veen (0,1 m²) appropriée dans les sédiments vaseux peu profonds (Poids à vide 20 kg) (Source : Fiche technique REBENT)

La plongée, quand le milieu est favorable, permet d'avoir une vision exploratoire réelle et globale de l'état des biocénoses. Même si la détermination des espèces peut être moins précise qu'avec des engins de récoltes, le diagnostic du milieu est plus fiable. Dans le Golfe de Beauduc, des plongées en scaphandre autonome ont pu être effectuées jusqu'à 16 m de profondeur (BRL, 2003). Cependant, la turbidité des eaux et les courants de fond du golfe limitent ce type d'inventaire.

Ces divers moyens évoqués plus haut présentent des avantages comme des inconvénients. Cependant, il n'existe pas de moyens capables d'échantillonner le milieu de manière exhaustive. Le mieux serait de les utiliser en parallèle de manière à avoir une vision

exploratoire globale. Par ailleurs, mise à part la senne de plage qui peut s'utiliser en interne, les autres moyens nécessiteraient probablement de faire un appel d'offre pour une sous-traitance (bureaux d'études, université), à moins d'en faire l'acquisition.

IV.3. Propositions pour un protocole de suivi des communautés macrobenthiques

Tout d'abord, il convient de rappeler que tout protocole de suivi nécessite un « point zéro » pour définir la composition faunistique et/ou l'état de conservation du milieu. Les différentes études préliminaires engagées par le PNRC concernent plusieurs problématiques, notamment le rôle de nurserie du golfe et la composition des peuplements ichtyologiques d'une part ; et la caractérisation des communautés macrobenthiques, d'autre part. Plusieurs protocoles adaptés à ces problématiques peuvent être mis en place en parallèle (Tableau XII, cf. page 48).

❖ *Protocole de suivi « Poissons et nurseries »*

La frange côtière du Golfe de Beauduc semble posséder un rôle de nurserie évident (Héloïn, 2004). Des variations spatiales et saisonnières dans l'abondance des juvéniles ont été notées par cet auteur, qui note que le recrutement le plus important s'est produit en été (juillet-août) dans la partie interne du golfe, la majorité des juvéniles étant de *Trachurus trachurus*, espèce de poisson pélagique d'intérêt commercial. Plus en profondeur, nous avons montré que le recrutement est remarquable pour deux espèces de poissons plats (*Arnoglossus laterna* et *Buglossidium luteum*), notamment à 20 m. Ces travaux nécessitent néanmoins d'être complétés pour obtenir des résultats sur une période plus longue.

➤ Etat de référence :

Tout d'abord, l'état de référence actuel doit être complété, un suivi saisonnier (tous les 3 mois voire tous les 2 mois) pendant une année permettrait par exemple d'identifier les périodes de recrutement des différentes espèces. Deux échantilleurs sont adaptés à ce type de suivi : la senne de plage pour le suivi de la proche frange littorale (0-2 m) et le chalut pour les profondeurs > 5 m en fonction de l'accessibilité du bateau. Des embarcations avec des pêcheurs professionnels peuvent être envisagées.

Les stations ayant servi aux premiers inventaires pourraient être conservées, c'est-à-dire entre 0 et 2 m à l'intérieur du golfe, à 10 m ; à 20 m à l'Est et à l'Ouest. Cela permettrait de vérifier si les distributions spatiales et saisonnières mises en évidence dans ce travail sont conservées. De plus, afin d'étendre l'inventaire et d'avoir une meilleure représentativité de la zone, la station à 6 m pourrait être conservée pour établir une radiale de l'intérieur du golfe jusqu'à 20 m ; et des stations supplémentaires pourraient être rajoutées, plus à l'Ouest (au niveau des Saintes-Maries), plus à l'Est (Faraman) et entre l'Ouest et l'Est.

➤ Suivi à long terme :

Dans un deuxième temps, un suivi à long terme serait mis en place, par exemple tous les 3 ans (cf. Parc Marin de la Côte Bleue) au chalut et à la senne de plage, sans doute en été pour des raisons de navigabilité et de meilleures conditions de prélèvements.

➤ Indicateurs retenus pour les poissons :

Pour pouvoir mettre en place un suivi pertinent, il faut avoir des résultats quantitatifs, les données doivent être rapportées à la surface pêchée pour avoir des indicateurs fiables. En effet, chaque station et chaque saison pourront être caractérisées par un ensemble de descripteurs biologiques : la richesse spécifique, la densité, la biomasse, les indices de diversité (Shannon et Simpson), la proportion de juvéniles, le nombre d'espèces typiques, la présence d'espèces remarquables (ayant un statut de protection, une forte valeur commerciale, etc.). Ce sont ces descripteurs qui pourront permettre de choisir les stations les plus appropriées (par exemple, parce qu'elles présentent les plus fortes valeurs de ces descripteurs) pour un suivi à long terme et dans le cadre de la mise en place d'une réserve marine.

❖ *Protocole de suivi des communautés macrobenthiques*

Il est important de souligner que le compartiment benthique constitue un témoin permanent de l'environnement car ses composantes biologiques intègrent les caractéristiques écologiques locales, soumises à des fluctuations d'origines naturelle et/ou anthropique. De par sa situation géographique particulière, le Golfe de Beauduc est fortement soumis aux influences du Rhône et des étangs littoraux et donc, de ce fait, est soumis à la pollution et aux apports anthropiques surtout lors des crues du fleuve. La caractérisation des communautés et

de leur évolution est indispensable pour surveiller les changements éventuels de la biodiversité et initier des mesures de gestion adaptées pour conserver durablement ce patrimoine écologique. De plus, ce type de suivi permettrait d'intégrer le Référentiel Benthique (REBENT) méditerranéen coordonné par IFREMER.

➤ Etat de référence :

1. L'objectif serait de mettre en place un suivi des communautés benthiques parallèlement à celui des assemblages de poissons. Etant donné que les peuplements de poissons seront suivi à l'aide du chalut et que les macroinvertébrés (crustacés, céphalopodes, etc.) sont aussi prélevés avec cet engin, un suivi de ces communautés pourrait être mis en place sur les même stations, à la même période et avec la même fréquence que le suivi « poissons ».

ET / OU

2. Afin de caractériser la diversité et la structure de la faune épi/endogée, il serait intéressant de mettre en place un suivi à la benne Van veen sur des radiales « côte-large ». Ce type de prélèvement permettrait d'avoir des données quantitatives pour déterminer l'état de santé du milieu, comme cela est fait par le réseau de surveillance REBENT en Bretagne ou dans la réserve marine de Banyuls-sur-mer.

Des radiales pourraient être déterminées en fonction du gradient granulométrique des sédiments sur les fonds du golfe. Par exemple, deux radiales pourraient servir pour l'état de référence la première année. Des points seraient prélevés sur chaque radiale en des stations au bord, à 5 m, à 10 m et à 20 m, à l'Est et à l'Ouest (pour conserver les stations de cette présente étude). Un minimum de 3 coups de benne par station est requis pour avoir des données suffisamment représentatives (cf. Réserve Marine de Banyuls).

➤ Suivi à long terme :

Le suivi à long terme doit permettre d'apprécier d'éventuels changements quant à la richesse, l'abondance et la structure des peuplements. Afin de réduire les coûts de prestation, une seule des deux radiales, la plus représentative, serait retenue pour un suivi pluriannuel (tous les 2-3 ans).

➤ Indicateurs retenus pour les invertébrés benthiques :

Le traitement d'indicateurs biologiques est nécessaire pour qualifier l'état de santé du milieu et son évolution, comme le fait la réserve marine de Banyuls. Ceci est par ailleurs préconisé dans l'avant projet sommaire (APS) REBENT Méditerranée pour détecter les modifications environnementales liées à certains types de perturbations engendrées par les activités humaines. Les indicateurs doivent être suffisamment simples pour être mesurés facilement et régulièrement.

On peut retenir :

- la densité totale des invertébrés benthiques (y compris ceux de taille < 1mm) ;
- établir une liste faunistique allant jusqu'à l'espèce ;
- la biomasse des principaux phylums ;
- les indices de diversité (Shannon, Simpson, Équitabilité de Pielou) ;
- les indices de l'état écologique du milieu, polluo-sensibles notamment à l'enrichissement en matière organique du milieu et au taux d'envasement des sédiments.

Plusieurs indices permettent de suivre les influences anthropiques : l'indice espagnol AMBI, l'indice grec BENTIX (Annexe 4), qui permettent tous deux de représenter le niveau de pollution du milieu, ou encore l'Indice Trophique (Annexe 4) qui est basé sur le régime alimentaire des espèces. Il permet d'évaluer le niveau de perturbation organique du milieu. Par exemple, la dominance de suspensivores sur un site indique une bonne oxygénation du sédiment et un bon renouvellement des masses d'eaux. A l'inverse, les milieux où la matière organique s'accumule et qui présentent des signes de dystrophie vont abriter des peuplements à dominance de dépositivores. Cet indice pourrait permettre de vérifier l'état réel des sédiments à 10 et 20 m de profondeur, notamment aux stations « Ouest » où les vases sont peu riches et très compactes.

➤ Le REBENT (REseau de surveillance BENThique) :

Initié par le MEDD (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable) et coordonné par IFREMER, il est tout d'abord apparu en Bretagne, région pilote, en 2000, suite à l'accident de l'Erika (Décembre 1999). Le REBENT a pour objectifs d'acquérir une connaissance pertinente et cohérente des habitats benthiques côtiers, dans leurs composantes

physiques et biologiques, et de constituer un système de veille pour détecter leur évolution à moyen et long termes, notamment pour ce qui concerne la diversité biologique. En Bretagne, il constitue un véritable réseau d'études engagées par IFREMER avec la collaboration des gestionnaires locaux.

En Méditerranée, le processus a été engagé plus tard, l'avant projet sommaire a été rédigé fin 2006 et le REBENT ne constitue pas encore un réseau d'études avec les gestionnaires locaux. Les informations sur les communautés benthiques sur les côtes méditerranéennes françaises sont dispersées et, semble t-il, moins homogènes qu'en Bretagne. Il s'agit pour l'instant d'un recueil et de la mise en forme de données existantes des structures locales (bancarisation de données).

Cependant, les gestionnaires locaux, tels que le PNRC, ont tout intérêt à intégrer le REBENT Méditerranée afin d'améliorer les connaissances sur les écosystèmes et de permettre le développement d'un réseau de surveillance tel que le REBENT breton.

❖ *Protocole de suivi « espèces remarquables »*

Sur tous les inventaires effectués jusqu'à ce jour dans le Golfe de Beauduc, 17 espèces marines (crustacés, échinodermes, poissons, tortues, phanérogames) ont un statut de protection ou une valeur patrimoniale. Il serait donc intéressant de mettre en place un suivi du golfe en plongée pour identifier les zones où l'on rencontre des espèces remarquables. En effet, ces espèces se retrouvent souvent en bout de chaîne trophique, ou sont des ingénieurs d'écosystèmes⁽⁴⁾ pour les herbiers à phanérogames, elles constituent donc de bons indicateurs de la richesse et de l'état de conservation du milieu.

Des plongées pourraient être effectuées sur les récifs artificiels susceptibles d'accueillir la petite cigale (*Scyllarus arctus*), voire le homard (*Homarus gammarus*), comme l'ont fait les bureaux d'études BRL et Crécocéan en 2003 au large des Saintes-Maries de la Mer sur les ruines de la redoute (Figure 23). La localisation précise ainsi que le suivi des épaves pourrait être aussi intéressant, notamment de par leur rôle de « récifs artificiels » qui peuvent attirer de grosses espèces de poissons.

⁴ Organisme qui structure l'espace et qui, par conséquent, contrôle directement ou indirectement la disponibilité des ressources pour les autres espèces. Dans le cas des herbiers de phanérogames, ils constituent un habitat et un lieu de reproduction et nourricerie pour de nombreux mollusques, poissons, etc.



Figure 23.
Observation directe
des fonds en plongée
(Source : BRL, 2003)

Suivi des herbiers de zostères :

La phanérogame *Zostera noltii* retrouvée dans le golfe est protégée au niveau régional et présente un intérêt pour Natura 2000 dans le cadre de la directive « Habitats ». Il serait donc intéressant de suivre l'évolution des tâches d'herbier à *Zostera noltii* à la pointe de Beauduc. De plus, la capture de l'hippocampe *Hippocampus hippocampus* à 6 m de profondeur à l'intérieur du golfe pourrait être mise en relation avec la présence d'herbiers de *Zostera noltii* à proximité.

➤ État de référence :

Dans un premier temps, un état des lieux est nécessaire pour reconnaître les zones à suivre. Pour localiser les herbiers entre 0 et 3 m, une photographie aérienne du golfe, par exemple en ballon dirigeable, à la meilleure saison (l'été) serait optimale (Gis Posidonie, comm. pers.). Puis des plongées en « palmes-masque-tuba » sur le terrain permettraient de vérifier la présence d'herbiers. Pour les fonds supérieurs à 3 m le sonar peut révéler la présence d'herbiers (cf. Gis Posidonie – étude à Fos-sur-Mer, comm. pers.). Des plongées et des coups de benne serviraient, dans un second temps à interpréter les faciès acoustiques.

➤ Suivi à long terme :

Les herbiers devraient être suivis en plongée, en scaphandre autonome, sur des transects déterminés au départ. Les plongées pourraient se faire sur des radiales depuis le bord

jusqu'à 5-6 m, de la pointe de Beauduc (lieu de prospection de juillet 2007) à l'intérieur du golfe (station « Est 6 m »). Il serait aussi possible de suivre annuellement l'évolution des herbiers au moyen de photographies aériennes.

Généralement, la caractérisation et le suivi de l'évolution des herbiers de zostères sont réalisés par une triple approche : le suivi (i) des surfaces occupées par l'herbier et leurs densités (nombre de faisceaux/m²) (comptage dans des quadrats) tous les mois pendant un an, (ii) le suivi des caractéristiques des populations, et (iii) le suivi de la diversité et de la structure des peuplements associés (récolte manuelle), deux fois par an aux équinoxes de printemps et d'automne.

Pour cela, des comptages visuels et des prélevements manuels sont préconisés. Le nombre de stations par site et le nombre de sites de suivi doivent permettre de caractériser la variabilité intra et inter-sites, et d'en dégager les tendances évolutives aux échelles locale et régionale (cf. Fiche technique « suivi des herbiers de Zostères » REBENT).

➤ Indicateurs retenus pour le suivi de la dynamique de population :

Les paramètres de la dynamique de population de l'herbier sont mesurés : longueur et largeur moyenne des feuilles, longueur des gaines, nombre de feuilles, surface développée, biomasse des feuilles, biomasse des rhizomes (prélevements de 2 quadrats de 0.05 m² au hasard dans la partie centrale de l'herbier), nombre de faisceaux par m² (évaluation des densités dans 2 quadrats de 0.1 m²) (cf. Fiche technique « suivi des herbiers de Zostères » REBENT).

Tableau XII. Utilisation des engins de prélèvement en fonction des objectifs de différents protocoles de suivi du littoral marin du PNRC.

ENGINS	Objectifs		
	"Poissons et nurseries"	"Communautés macrobenthiques"	"espèces remarquables" suivi des herbiers à zostères
CHALUT ET SENNE	<p><i>Stations :</i> 0-2 m (intérieur du golfe) 10-20 m (Est-Ouest) stations supplémentaires: 5-10 m stations supplémentaires: Est-Ouest</p> <p><i>Péodicité :</i> état de référence: tous les 2-3 mois/ 1 an suivi à long terme: tous les 3 ans</p>	<p><i>Stations :</i> 0-2 m (intérieur du golfe); 10-20 m (Est-Ouest) stations supplémentaires: 5-10 m stations supplémentaires: Est-Ouest</p> <p><i>Péodicité :</i> état de référence: à 1 saison la première année suivi à long terme: tous les 3 ans</p>	
BENNE		<p><i>Stations :</i> état de référence: 2 radiales Est-Ouest 0-20 m 3 coups de benne à 5, 10 et 20 m suivi à long terme: 1 radiale (plus représentative)</p> <p><i>Péodicité :</i> état de référence: à 1 saison la première année suivi à long terme: tous les 2-3 ans</p>	
PLONGÉE			<p><i>Stations :</i> "point zéro": photographie aérienne (0-3 m) + sonar (> 3 m) + vérité de terrain en plongée état de référence: plusieurs radiales Pointe de Beauduc-Intérieur du golfe sur transects 0-6 m</p> <p><i>Péodicité :</i> calcul de densités tous les mois/ 1 an suivi : 2 fois par an, au printemps et à l'automne</p>

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Avec plus d'une centaine d'espèces (invertébrés et poissons) inventoriées sur 4 stations à 2 saisons, le Golfe de Beauduc présente une grande diversité biologique. De plus, plusieurs biocénoses s'agencent sur les fonds, notamment liées à la granulométrie des sédiments. Ceci reflète la complexité et l'hétérogénéité des facteurs physiques qui structurent les communautés de manière combinée. Au droit du delta du Rhône, le golfe présente une richesse spécifique des communautés macrobenthiques notable, ainsi qu'un rôle de nurserie. Par ailleurs, la présence d'espèces remarquables comme *Hippocampus hippocampus* et la magnoliophyte *Zostera noltii*, souligne l'intérêt biologique et écologique de la zone marine du PNRC. Pour ces raisons, la mise en place d'un suivi pertinent en routine du littoral marin du PNRC s'avère indispensable.

La richesse et l'intérêt des communautés de substrats meubles ont tendance à être sous estimés, et la connaissance de la zone marine du PNRC à longtemps été négligée, ce qui a pu renforcer les problèmes de gestion de l'hyperchalutage infractionnel de la zone. Afin de mieux gérer la zone marine jusqu'aux 3 milles nautiques, le PNRC doit s'engager dans des suivis pertinents, en routine, des peuplements ichtyologiques afin de mettre en place des mesures de protection de son patrimoine remarquable. Ces suivis auront de plus un intérêt évident dans la perspective de mise en place d'une future réserve marine.

Aujourd'hui, les substrats meubles commencent à être plus étudiés, notamment depuis l'accident de l'Erika (1999) en Bretagne qui a amorcé le Référentiel Benthique (REBENT) d'IFREMER. En effet, les communautés des substrats meubles sont de bons indicateurs de la qualité du milieu. La définition des habitats et des biocénoses qui les composent paraît essentielle pour permettre un suivi de l'état de conservation du milieu marin. La relance du réseau « Natura 2000 » jusqu'à fin 2008 pour désigner de nouveaux Sites d'Intérêt Communautaire (SIC) pourrait servir de tremplin au PNRC pour faire valoir son patrimoine marin souvent négligé face aux substrats durs de la région PACA.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et Sites Internet ayant servis à la détermination des espèces

Bauchot M.L., Pras A., 1980

Guide des poissons marins d'Europe
Delachaux et Niestlé, éd., Lausanne, 427 p.

Corbera i. Benedicto J. 1987

Els crancs (Decàpodes I)
Col. leccio Norai 4, Ajuntament de Badalona & co ed., Badalona, 95 p.

Corbera i. Benedicto J. 1988

Gambes llagostes i ermitans (Decàpodes II)
Col. leccio Norai 5, Ajuntament de Badalona & co ed., Badalona, 84 p.

D'Angelo G., Garguillo S., 1978

Guida alle conchiglie mediterranee. Conoscerle cercarle collezionarle
Fabbri editore, Milano, 223 p.

Falciai L., Minervi R., 1992

Guida dei crostacei decapodi d'Europa
Franco Muzzio editore, Padova, 282 p.

Fisher W., Schneider M., Bauchot M.L., 1987

Guide FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche, Méditerranée et Mer noire -
Zone de pêche 37. Volume I (Végétaux et Invertébrés)
FAO publ., Rome, 760 p.

Fisher W., Schneider M., Bauchot M.L., 1987

Guide FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche, Méditerranée et Mer noire -
Zone de pêche 37. Volume II (Vertébrés)
FAO publ., Rome, non numéroté.

Lecointre G., Le Guyader H., 2001

Classification phylogénétique du vivant. 3^e édition
Belin éd., Paris, 559 p.

Poppe G-T., Poppe Y., 1991

European seashells. Volume I. (Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogastra, Gastropoda)
Verlag Christa Hemmen ed., Germ., 352 p.

Poppe G-T., Poppe Y., 1993

European seashells. Volume II. (Scaphopoda, Bivalvia, Cephalopoda)
Verlag Christa Hemmen ed., Germ., 121 p.

Riedl R., 1986

Fauna y flora del mar mediterráneo. Una guia sistemática para biólogos y naturalistas
Owega ed., Barulona, Spain, p 858.

Base de données de photos de crustacés :

www.tmu.uit.no/crustikon/index.htm

Base internationale de données sur les poissons :

www.fishbase.org

Registre européen de taxonomie des espèces marines :

www.marbef.org/data/erms.php

Ouvrages, Dossiers et Études

Bellan-Santini D., Lacaze J.-C., Poizat C., 1994

Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives
Muséum National d'Histoire Naturelle, Cuvier, 246 p.

Blanc J., 1977

Recherches de sédimentologie appliquée au littoral du delta du Rhône, de Fos au Grau du Roi
CNPEO, COM, 69 p.

BRL & Crécéan, 2003

Diagnostic préalable pour une gestion halieutique dans la zone marine du PNR de Camargue
134 p.

Hily C., 2004

REBENT, Suivi des herbiers de zostères – Fiche Technique
p 1-5.

Kantin R., Andral B., Debard S., Denis J., Derolez V., Emery E., Ganzin N., Hervé G., Laugier T., Le Borgne M., L'Hostis D., Oheix J., Orsoni V., Raoult S., Sartoretto S., Tomasino C., 2006

Le Référentiel Benthique Méditerranéen (REBENT MED) – Avant Projet Sommaire
Laboratoire Environnement Ressources Provence Azur Corse, IFREMER, 124 p.

P2A Developpement & Parc Marin de la Côte Bleue, 2005

Suivi des peuplements de poissons de la réserve marine du Cap-Couronne – Bilan 1995/2004
98 p.

P2A Developpement, 2006

Inventaire qualitatif des mollusques du Parc Naturel Régionale de Camargue – Rapport préliminaire
de l'étude globale sur la Telline en Camargue, BIOTOPE & P2A
6 p.

Salen-Picard S., 2004

Le benthos de Méditerranée et le Rhône : une histoire qui dure.
Centre d'Océanologie de Marseille, 8p.

Publications

Bouchereau J.L., Quignard J.P., Tomasini J.A., Joyeux J.C., Chappe C., 1989

La population de *Pomatoschistus minutus* (Pallas, 1770) de la lagune de Mauguio, France. Paramètres
démographiques et croissance individuelle
Cah.Biol.Mar., 30, 487-514.

Gaertner J.C., Mazouni N., Sabatier R., Millet B., 1999

Spatial structure and habitat in the Gulf of Lions : a multicompartmental approach.
Marine Biology, 135, 199-208.

Letourneur Y., Darnaude A., Salen-Picard C., Harmelin-Vivien M., 2001

Spatial and temporal variations of fish assemblages in a shallow Mediterranean soft-bottom area (Gulf of Fos, France)
Oceanologica Acta, 24, 273-285.

Massé H., 1972

Contribution à l'étude quantitative et dynamique de la macrofaune de peuplements des sables fins infralittoraux des côtes de Provence
Bull.Soc.Ecol.,t.III,1, 11-20.

Pampoulie C., Priour F., Bouchereau J.L., Rosecchi E., Crivelli A.J., 1999

Reproductive traits of *Gobius niger* following a salinity stress : is it really a sedentary lagoon species ?
J.Mar.Biol.Ass.U.K.,79, 961-962.

Thèses et Mémoires

Darnaude A., 2003

Apports fluviaux en zone côtière et réseaux trophiques marins benthiques : transfert de matière organique particulaire terrigène jusqu'au poissons plats au large du Rhône
Thèse de doctorat en Biosciences de l'Environnement, Chimie et Santé,
Université de la Méditerranée (Aix Marseille II), Centre d'Océanologie de Marseille (UMR CNRS DIMAR 6540), 373 p.

Heloin Y., 2004

Pré inventaire qualitatif et premiers travaux sur la dynamique de poissons du Golfe de Beauduc
PNRC, 85p.

Heloin Y., 2005

Etude de Faisabilité d'une Aire Marine Protégée dans la zone marine du Parc Naturel Régional de Camargue
PNRC, 133 p.

Heloin Y., 2005

Richesse biologique de la zone marine du Parc Naturel Régional de Camargue : Compilation de résultats obtenus entre 1955 et 2004 - Rapport Annexe à l' Etude de Faisabilité d'une Aire Marine Protégée dans la zone marine du Parc Naturel Régional de Camargue
PNRC, 61 p.

Licari M-C., 1998

Mise au point d'un système d'aide à l'interprétation des données benthiques en milieu marin et lagunaire.

Thèse de doctorat en Sciences de la Vie et de la Terre, spécialité : Océanologie,
Ecole Pratique des Hautes Etudes, Laboratoire de Biologie marine et Malacologie, 318 p.

ANNEXES

- ❖ ANNEXE 1 : Coordonnées GPS des points de prélèvements
- ❖ ANNEXE 2 : Liste faunistique des espèces récoltées dans la zone marine du PNRC dans le Golfe de Beauduc
- ❖ ANNEXE 3 : Codes retenus pour les espèces dans l'analyse des données
- ❖ ANNEXE 4 : Les indices biotiques des substrats meubles
- ❖ ANNEXE 5 : Prospections et localisation exacte des tâches d'herbiers de zostères



ANNEXE 1

Coordonnées GPS des points de prélèvements

PRINTEMPS (avril 2007)

Station "Ouest 10 m"		
Chalut T1	Départ	Arrivée
	N 43°25.756	43°26.018
	E 004°27.944	004°27.475
T2		
	N 43°26.038	43°25.700
	E 004°27.335	004°27.434
T3		
	N 43°25.618	43°25.812
	E 004°27.555	004°28.009
Drague		
	N 43°26.109	43°25.970
	E 004°28.141	004°28.174

Station "Est 10 m"		
Chalut T1	Départ	Arrivée
	N 43°25.440	43°25.874
	E 004°33.293	004°33.075
T2		
	N 43°25.789	43°25.885
	E 004°33.037	004°33.133
T3		
	N 43°25.241	43°25.637
	E 004°33.305	004°33.553
Drague		
	N 43°25.492	43°25.423
	E 004°33.236	004°33.409

Station "Ouest 20 m"		
Chalut T1	Départ	Arrivée
	N 43°23.471	43°23.026
	E 004°27.514	004°27.552
T2		
	N 43°22.970	43°23.330
	E 004°27.799	004°28.062
T3		
	N 43°23.429	43°23.302
	E 004°28.015	004°27.482
Drague		
	N 43°23.228	43°23.023
	E 004°27.344	004°27.517

Station "Est 20 m"		
Chalut T1	Départ	Arrivée
	N 43°22.338	43°22.756
	E 004°31.384	004°31.213
T2		
	N 43°22.829	43°22.312
	E 004°31.122	004°31.127
T3		
	N 43°22.281	43°22.721
	E 004°31.046	004°30.716
Drague		
	N 43°22.520	43°22.258
	E 004°31.175	004°31.342

ÉTÉ (juin 2007)

Station "Ouest 10 m"			
Chalut	T1	Départ	Arrivée
	N	43°25.615	43°26.100
	E	004°27.422	004°27.422
T2			
	N	43°26.170	43°25.808
	E	004°27.441	004°27.816
T3			
	N	43°25.731	43°25.753
	E	004°27.840	004°27.983
Drague			
	N	43°25.832	43°25.858
	E	004°27.358	004°27.514

Station "Est 10 m"			
Chalut	T1	Départ	Arrivée
	N	43°25.603	43°25.541
	E	004°33.019	004°33.582
T2			
	N	43°25.500	43°25.228
	E	004°33.575	004°33.404
T3			
	N	43°25.265	43°25.790
	E	004°33.387	004°33.268
Drague			
	N	43°25.754	43°25.677
	E	004°33.245	004°33.074

Station "Ouest 20 m"			
Chalut	T1	Départ	Arrivée
	N	43°23.424	43°23.180
	E	004°28.274	004°27.728
T2			
	N	43°23.252	43°25.651
	E	004°27.700	004°27.402
T3			
	N	43°23.722	43°23.390
	E	004°27.450	004°27.526
Drague			
	N	43°23.318	43°23.286
	E	004°27.624	004°27.682

Station "Est 20 m"			
Chalut	T1	Départ	Arrivée
	N	43°22.312	43°22.812
	E	004°31.134	004°30.689
T2			
	N	43°22.751	43°22.252
	E	004°30.684	004°30.963
T3			
	N	43°22.220	43°22.662
	E	004°30.930	004°31.493
Drague			
	N	43°22.578	43°22.564
	E	004°30.859	004°31.172

Station supplémentaire :

Station "Est 6 m"			
Chalut	T1	Départ	Arrivée
	N	43°25.457	43°25.906
	E	004°34.864	004°34.450
T2			
	N	43°25.896	43°25.480
	E	004°34.489	004°34.884
T3			
	N	43°25.466	43°24.973
	E	004°34.926	004°34.845

ANNEXE 2

Liste faunistique des espèces récoltées dans la zone marine du PNRC dans le Golfe de Beauduc

Phylum (Classification Cf.: Lecointre et Le Guyader, 2001)	Classe (Nom scientifique Cf.: le registre européen de taxonomie des espèces marines = ERMS)	Ordre (Nom scientifique Cf.: le registre européen de taxonomie des espèces marines = ERMS)	Famille (Nom scientifique Cf.: le registre européen de taxonomie des espèces marines = ERMS)	Espèce (Nom scientifique Cf.: le registre européen de taxonomie des espèces marines = ERMS)	Nom vernaculaire (Sources: Fiches FAO ; Héloïn, 2005)	Chalut (Ouest/Est ; 10m/20m)	Drague	Station supplémentaire (Chalut Est 6 m)
Cnidaires	Hydrozoaires	ND	ND	Genus sp	+	X		
	Anthozoaires	Hexacoralliaires	Cerianthidae	Genus sp	Cérianthe	X		
			Epizoanthidae	<i>Epizoanthus sp</i> (Cf.: <i>arenaceus</i> (delle Chiaje, 1823))	Madrépore	X		
			Hormathiidae	<i>Adamsia carcinopodus</i> (Otto, 1823) (= <i>Adamsia palliata</i>)	Anémone	X		
			Hormathiidae	<i>Calliactis parasitica</i> (Couch, 1838)	Anémone	X		
			ND	Actiniaire genus sp1	Anémone	X	X	
			ND	Actiniaire genus sp2	Anémone	X		
		Octocoralliaires	Veretillidae	<i>Vertillum cynomorum</i> (Pallas, 1766)	Véritable	X		
			Virgulariidae	<i>Virgularia mirabilis</i> (Müller, 1776)	Pennatule	X	X	X
Mollusques	Bivalves		Anomiidae	<i>Anomia ephippium</i> (Linnaeus, 1758)	Anomie pelure	X		
			Cardiidae	<i>Acanthocardia paucicostata</i> (Sowerby G.B. II, 1841)	Bucarde peu costulée	X	X	
			Cardiidae	<i>Acanthocardia aculeata</i> (Linnaeus, 1758)	Bucarde épineuse	X		
			Cardiidae	<i>Cerastoderma glaucum</i> (Poirier, 1789)	Coque	X		X
			Corbulidae	<i>Corbula gibba</i> (Olivier, 1792)				
			Mactridae	<i>Mactra stultorum</i> (Linnaeus, 1758) (= <i>Mactra corallina</i>)	Mactre coralline	X		X
			Mactridae	<i>Spisula subtruncata</i> (da Costa, 1778)	Douceron triangulaire	X		X (épaves)
			Mytilidae	<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819)	+	Moule méditerranéenne	X	X (épaves)
			Nuculidae	<i>Nucula nucleus</i> (Linnaeus, 1758)				
			Ostreidae	<i>Ostrea edulis</i> (Linnaeus, 1758)	Huître plate	X		
			Pandoridae	<i>Pandora inaequivalvis</i> (Linnaeus, 1758)				
			Pectinidae	<i>Chlamys varia</i> (Linnaeus, 1758)	Pétoncle bigarré	X		
			Pectinidae	<i>Chlamys flexuosa</i> (Poli, 1795)	Pétoncle	X		
			Pharidae (= Cultellidae)	<i>Ensis sp1</i> (Cf.: <i>ensis</i> (Linnaeus, 1758))	Couteau-sabre			X
			Pharidae (= Cultellidae)	<i>Ensis sp2</i> (Cf.: <i>siliqua</i> (Linnaeus, 1758))	Couteau-silique			X
			Pharidae (= Cultellidae)	<i>Phaxas pellucidus</i> (Pennant, 1777)				X
			Pholadidae	<i>Barnea candida</i> (Linnaeus, 1758)	Pholade blanche	X		X (épaves)
			Pinnidae	<i>Atrina</i> sp	Jambonneau			X
			Solenidae	<i>Solen marginatus</i> (Pulteney, 1799)	Couteau droit			X
			Tellinidae	<i>Tellina pulchella</i> (Lamarck, 1818)	Telline gentille		X	X
			Veneridae	<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	Petite praire	X		X
			Veneridae	<i>Dosinia lupinus</i> (Linnaeus, 1758)	Monstre brillante	X	X	
			Veneridae	<i>Paphia aures</i> (Gmelin, 1791)		X	X	
			Veneridae	<i>Pitar rudis</i> (Poli, 1795)	Pitar rude			X
			Veneridae	<i>Timoclea ovata</i> (Pennant, 1777)		X		
			Veneridae	<i>Venerupis senegalensis</i> (Gmelin, 1791) (= <i>Venerupis pullastra</i>)	Palourde-bleue		X	
Scaphopodes	Dentaliidae		<i>Antalis inaequicostata</i> (Dautzenberg, 1891) (= <i>Dentalium inaequicostatum</i>)		Dentale	X	X	
Gastéropodes	Prosobranches		Aporrhaidae	<i>Aporrhais pespelecani</i> (Linnaeus, 1758)	Pied de pélican	X	X	
			Calyptaeidae	<i>Calyptrea chinensis</i> (Linnaeus, 1758)	Chapeau chinois	X		
			Epitoniidae	<i>Epitonium clathrus</i> (Linnaeus, 1758)				X
			Muricidae	<i>Bolinus brandaris</i> (Linnaeus, 1758)	Murex - droite épine	X		
			Muricidae	<i>Hadriana craticuloides</i> (Vokes, 1964)	Murex costulé	X	X	
			Muricidae	<i>Trophonopsis muricatus</i> (Montagu, 1803)		X		
			Nassariidae	<i>Nassarius</i> (= <i>Hirnia</i>) sp	Nasses		X	X
			Naticidae	<i>Naticarius stercusmuscarum</i> (Gmelin, 1791) (= <i>Naticarius millepunctatus</i>)	Natice-mille points		X	
			Naticidae	<i>Polinices catena</i> (da Costa, 1778) (= <i>Lunatia catena</i>)	Natice à collier			X
			Turritellidae	<i>Turritella communis</i> (Risso, 1826)	Turritelle commune	X	X	
	Opistobranches		Aglajidae	<i>Philiopsis depicta</i> (Renier, 1807)		X		
			Aplysiidae	<i>Aplysia punctata</i> (Cuvier, 1803)	Lièvre de mer moucheté	X		
			Arminidae	<i>Armina neapolitana</i> (delle Chiaje, 1824)		X	X	
			Arminidae	<i>Armina tigrina</i> (Rafinesque, 1814)		X		
			Philinidae	<i>Philine aperta</i> (Linnaeus, 1767)		X		
			Pleurobranchidae	<i>Pleurobranchaea meckeli</i> (Blainville, 1826)		X		
Céphalopodes	Octopoda		Octopodidae	<i>Octopus salutii</i> (Vérany, 1836)	Poulpe de Saluzzi	X		
	Sepioidea		Sepiidae	<i>Sepia elegans</i> (da Blainville, 1827)	Seiche élégante	X		X
			Sepiolidae	<i>Sepiola steenstrupiana</i> (Levy, 1912)	Sépiale de Steenstrup	X	X	X
	Theuthoidae		Loliginidae	<i>Loligo</i> sp	Calmar	X		
Siponcles			Aspidosiphonidae	<i>Aspidosiphon muelleri</i> (Diesing, 1851)		X	X	

Phylum (Classification Cf.: Lecointre et Le Guyader, 2001)	Classe	Ordre	Famille (Nom scientifique Cf.: le registre européen de taxonomie des espèces marines = ERMS)	Espèce	Nom vernaculaire (Sources: Fiches FAO ; Héloin, 2005)	Chalut (Ouest/Est ; 10m/20m)	Drague	Station supplémentaire (Chalut Est 6 m)
Siponcles			Golfingiidae	<i>Thysanocardia procura</i> (Möbius, 1875) (= <i>Golfingia procura</i>)		X	X	
			Phascolionidae	<i>Phasclion strombi</i> (Montagu, 1804)		X	X	X
Annélides	Polychètes		Ampharetidae	<i>Ampharete acutifrons</i> (Grube, 1860)			X	
			Ampharetidae	<i>Melina palmata</i> (Grube, 1870)			X	
			Ampharetidae	Genus sp		X	X	
			Arabellidae	<i>Drilonereis filum</i> (Clapadère, 1868)			X	
			Capitellidae	<i>Notomastus latericeus</i> (M. Sars, 1851)			X	
			Chaetopteridae	Genus sp		X	X	
			Eunicidae	<i>Lysidice ninetta</i> (Audouin & Milne-Edwards, 1833)		X		
			Glyceridae	<i>Glycera convoluta</i> (Keferstein, 1862)			X	
			Glyceridae	<i>Glycera rouxi</i> (Audouin & Milne-Edwards, 1833)			X	
			Glyceridae	<i>Glycera unicornis</i> (Savigny, 1818)		X	X	
			Lumbrineridae	<i>Scoletoma emandibula mabiti</i> (Ramos, 1976) (= <i>Lumbrineris emandibulata mabiti</i>)		X	X	
			Lumbrineridae	<i>Lumbrineris latreillii</i> (Audouin & Milne-Edwards, 1834)		X	X	
			Lumbrineridae	<i>Lumbrineris</i> sp			X	
			Lumbrineridae	Genus sp		X	X	
			Maldanidae	<i>Clymenae orstedii</i> (Clapadère, 1863)			X	
			Maldanidae	<i>Clymene</i> sp			X	
			Nephtyidae	<i>Nephtis hombergii</i> (Savigny, 1818)			X	
			Nereididae	<i>Nereis</i> sp		X		
			Onuphidae	<i>Aponuphis</i> sp			X	
			Onuphidae	<i>Hyalinocia</i> sp			X	
			Oweniidae	<i>Owenia fusiformis</i> (delle Chiaje, 1842)			X	
			Phyllodocidae	<i>Phyllodocidae</i> sp		X		
			Serpulidae	<i>Serpula</i> sp (Cf.: <i>vermicularis</i> (Linnaeus, 1767))	+	X		
			Serpulidae	<i>Ditrapa arietina</i> (Müller, 1776)	+		X	
			Sigalionidae	Genus sp			X	
			Spionidae	<i>Laonice cirrata</i> (M. Sars, 1851)			X	
			Terebellidae	<i>Lanice cochylega</i> (Pallas, 1766)		X	X	X
Arthropodes	Crustacés	Cirripèdes	Balanidae	Genus sp	+	Balane	X	
		Stomatopodes	Squillidae	<i>Squilla mantis</i> (Linnaeus, 1758)		Squille ocellée	X	
		Décapodes Natantia	Alpheidae	<i>Alpheus glaber</i> (Olivier, 1792)		Cardon rouge	X	
			Crangonidae	<i>Philocheras monacanthus</i> (Holthuis, 1961)		X		
			Crangonidae	<i>Aegaeon cataphractus</i> (Olivier, 1792) (= <i>Pontocaris cataphractus</i>)		X		
			Hippolytidae	<i>Lysmata seticaudata</i> (Risso, 1816)	+	Crevette barbier	X	
			Penaeidae	<i>Melicertus kerathurus</i> (Forskål, 1775) (= <i>Penaeus kerathurus</i>)		Caramote	X	X
			Processidae	<i>Processa acutirostris</i> (Nouvel & Holthuis, 1957)		Guenarde	X	
			ND	Crevette Fam. Genus sp		X		
		Décapodes Anomura	Diogenidae	<i>Dardanus arrosor</i> (Herbst, 1796)		Grand bernard-l'ermite	X	
			Diogenidae	<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829)		Pagure des sables		X
			Diogenidae	<i>Paguristes eremita</i> (Linnaeus, 1767)		Bernard-l'ermite	X	
			Galatheidae	<i>Galathea intermedia</i> (Lillejeborg, 1851)		Petite galathée	X	
			Paguridae	<i>Anapagurus</i> spp	(1)	X	X	
			Paguridae	<i>Pagurus cuanensis</i> (Bell, 1845)		Pagure poilu	X	X
			Paguridae	<i>Pagurus excavatus</i> (Herbst, 1791)		X		
			Paguridae	<i>Pagurus prideaux</i> (Leach, 1815)		Gonfaron	X	
			Porcellanidae	<i>Pisidia longicornis</i> (Linnaeus, 1767)	+	Crabe porcelaine	X	X
		Décapodes Brachyura	Corystidae	<i>Corystes cassivelaunus</i> (Pennant, 1777)		Crabe coryste		X
			Dorippidae	<i>Ethusa mascarone</i> (Herbst, 1785)		X		
			Dorippidae	<i>Medorippe lanata</i> (Linnaeus, 1767)		X	X	
			Goneplacidae	<i>Goneplax rhomboides</i> (Linnaeus, 1758)		X	X	
			Inachidae (= Majidae)	<i>Inachus communissimus</i> (Rizza, 1839)		Araignée	X	
			Inachidae (= Majidae)	<i>Macropodia rostrata</i> (Linnaeus, 1761)		Macropode	X	
			Leucosiidae	<i>Ebalia granulosa</i> (H. Milne-Edwards, 1837)		X		
			Pilumnidae	<i>Pilumnus hirtellus</i> (Linnaeus, 1761)		Crabe pileux	X	
			Portunidae	<i>Liocarcinus</i> Sous genre 1	(2)	Etrille	X	X
			Portunidae	<i>Liocarcinus</i> Sous genre 2	(3)	Etrille	X	X (L. holsatus)

(1) Espèces reconnues dans un échantillon envoyé à J.M AMOUROUX (Laboratoire ARAGO, Banyuls sur Mer): *A. bicorniger* (A.Milne-Edwards & Bouvier, 1892); *A. breviaculeatus* (Fenizia, 1937); *A. laevis* (Bell, 1845).
 (2) Espèces reconnues parmi le Sous genre 1 (épines frontales droites) (cf: J.M AMOUROUX): *L. holsatus* (Fabricius, 1798); *L. depurator* (Linnaeus, 1758); *L. boliviari* (Zariquey-Alvarez,1948).
 (3) Espèces reconnues parmi le Sous genre 2 (épines frontales proéminentes) (cf: J.M AMOUROUX): *L. maculatus* (Risso, 1827); *L. zariqueyi* (Gordon, 1968).

} non prises en compte
 } dans la Richesse
 } Spécifique

Phylum	Classe	Ordre	Famille	Espèce	Nom vernaculaire	Chalut	Drague	Station supplémentaire	
(Classification Cf.: Lecointre et Le Guyader, 2001)				(Nom scientifique Cf.: le registre européen de taxonomie des espèces marines = ERMS)		(Sources: Fiches FAO : Héloin, 2005)		(Ouest/Est ; 10m/20m)	(Chalut Est 6 m)
Arthropodes	Crustacés	Décapodes Brachyura	Portunidae	<i>Necora puber</i> (Linnaeus, 1767)	Etrille commune	X			
		Amphipodes	Ampeliscidae	<i>Ampelisca brevicornis</i> (Costa, 1853)	Puce de mer	X	X		
			Ampeliscidae	<i>Ampelisca spinipes</i> (Boeck, 1861)	Puce de mer		X		
			Caprellidae	<i>Caprella acanthifera</i> (Leach, 1814)	Caprelle	X			
			Caprellidae	<i>Physisca marina</i> (Slabber, 1769)	Caprelle		X		
			Photidae	<i>Gammaropsis</i> sp	Gammarre		X		
		ND		Amphipode Fam. Genus sp		X	X		
Bryozoaires	ND	ND	fam. (cf: Bugulidae)	Genus (cf: <i>Bugula</i>) sp	Bugule	X			
Echinodermes	Ophiuroïdes		Amphiuridae	<i>Amphiura chiajei</i> (Forbes, 1843)		X	X		
			Ophiothrichidae	<i>Ophiothrix fragilis</i> (Abildgaard, 1789)		X			
			Ophiuridae	<i>Ophiura ophiura</i> (Linnaeus, 1758) (= <i>Ophiura texturata</i>)	Ophiure singe				
	Astéroides		Astpectinidae	<i>Astropecten irregularis</i> (Pennant, 1777)	Etoile peigne	X		X	
Holothuriens			Cucumariidae	<i>Ocnus planci</i> (Brandt, 1835) (= <i>Cucumaria planci</i>)	Lèche-doigts de Plancus	X	X		
Prochordés	Tuniciers	Ascidies	Pyuridae	<i>Microcosmus sabatieri</i> (Roule, 1885)	Le Violet commun	X			
			ND	Ascidie coloniale Fam. Genus sp		X			
Vertébrés	Chondrichtyens	Rajiformes	Rajidae	<i>Raja</i> sp (Cf.: <i>asterias</i>) (Delaroche, 1809)	La raie étoilée			X	
		Torpediniformes	Torpedinidae	<i>Torpedo torpedo</i> (Linnaeus, 1758)	La torpille ocellée	X			
			Torpedinidae	<i>Torpedo marmorata</i> (Risso, 1810)	La torpille marbrée	X			
Osteichtyens	Gadiformes	Gadidae		<i>Merluccius merluccius</i> (Linnaeus, 1758)	Le merlu commun	X			
		Perciformes	Callionymidae	<i>Callionymus risso</i> (Lesueur, 1814)	Le callionyme bélène	X		X	
			Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i> (Linnaeus, 1758)	Le chinchard commun	X			
			Gobiidae	<i>Deltentosteus quadrifasciatus</i> (Valenciennes, 1837)	Le gobie à 4 taches	X			
			Gobiidae	<i>Gobius niger</i> (Linnaeus, 1758)	Le gobie noir	X		X	
			Gobiidae	<i>Leusbergobius seurii</i> (Risso, 1810)	Le gobie de Lesueur	X			
			Gobiidae	<i>Pomatoschistus</i> sp (Cf.: <i>kerrii</i>) (Steindachner, 1861)	Le gobie de Kner	X			
			Gobiidae	<i>Pomatoschistus minutus</i> (Pallas, 1770)	Le gobie buvette	X		X	
			Gobiidae	<i>Pomatoschistus quaggoides</i> (Heckel, 1837)	Le gobie quagga			X	
			Mullidae	<i>Mullus surmuletus</i> (Linnaeus, 1758)	Le rouget-barbet de roche	X			
		Triglidae	Chelidonichthys lucernus	(= <i>Trigla lucerna</i>) (Linnaeus, 1758)	Le grondin-perlon	X		X	
		Triglidae		<i>Eutrigla gurnardus</i> (Linnaeus, 1758)	Le grondin gris	X			
		Triglidae		Genus sp (juvéniles indéterminés)					
		Pleuronectiformes	Bothidae	<i>Arnoglossus laterna</i> (Walbaum, 1792)	L'arnoglosse-lanterne	X		X	
			Soleidae	<i>Buglossidium luteum</i> (Risso, 1810)	La petite sole jaune	X		X	
			Soleidae	<i>Pegusa impar</i> (= <i>Solea impar</i>) (Bennett, 1831)	La sole pôle de Méditerranée			X	
			Soleidae	<i>Solea solea</i> (Linnaeus, 1758)	La sole commune	X		X	
		Syngnathiformes	Syngnathidae	<i>Hippocampus hippocampus</i> (Linnaeus, 1758)	L'hippocampe à museau court			X	
Algae	Chlorophyta	Ulvophyceae	Ulvaceae	<i>Ulva rigida</i> (C. Agardh, 1823)	Ulle	X	X	X	
	Rhodophyta	Rhodophyceae	Ceramiaceae	<i>Cerarium deslongchampii</i> (Chauvin ex Duby, 1830)	Céramiées			X	
			Corallinoideae	<i>Corallina elongata</i> (J Ellis & Solander, 1786)	Coralline allongée			X	
Plantae	Angiospermophyta	Zosteraceae		<i>Zostera noltii</i> (Hornemann)	Zostère naine			X	

Espèces grisées: Espèces retrouvées en épave non prises en compte dans la Richesse Spécifique (débris, coquilles mortes)

Orange: Espèces nouvellement reconnues sur la zone marine du PNRC (Cf: Rapport Annexe Héloin, 2005 et P2A Développement, 2006)

Vert: Espèces à valeur patrimoniale ou protégées.

Jaune: Espèces associées aux substrats meubles par l'intermédiaire de substrats durs (Lauzes, débris, coquilles mortes)

Statut des espèces à valeur patrimoniale ou protégées:

**Aporrhais pespelecani*:

Livre rouge ("espèces marines et littorales menacées en France" (1987); Liste des espèces remarquables de la ZNIEFF mer N°13M02 (Bellan-Santini, 2001)

**Raja asterias*:

Liste rouge (Lacaze, 1987)

**Hippocampus hippocampus*: **Pomatoschistus minutus*:

Convention de Berne, Annexe II Convention de Berne, Annexe III

**Zostera noltii*: Liste des espèces végétales protégées en PACA de l'Arrêté du 9 mai 1994

ANNEXE 3

Codes retenus pour les espèces dans l'analyse des données

Seules les espèces apparaissant sur les cercles de corrélation des ACP sont mentionnées

Espèce (cf. Annexe 2)	Code
<i>Hydrozoaire fam. genus sp.</i>	Hy.sp
<i>Calliactis parasitica</i>	Ca.par
<i>Sepia elegans</i>	Se.ele
<i>Ampharetidae Genus sp.</i>	Am.sp
<i>Serpula sp.</i>	Ser.sp
<i>Aegaeon cataphractus</i>	Ae.cat
<i>Paguristes eremita</i>	Pa.ere
<i>Anapagurus spp</i>	An.spp
<i>Macropodia rostrata</i>	Ma.ros
<i>Bryozoaire Fam. genus sp.</i>	Br.sp
<i>Ophiura ophiura</i>	Op.oph
<i>Leusueurigobius suerii</i>	Le.sue
<i>Buglossidium luteum</i>	Bu.lut
<i>Chelidonichthys lucernus</i>	Ch.luc

ANNEXE 4

Les indices biotiques des substrats meubles

 **AMBI** (Source : LERPAC Ifremer : Le REBENT Méditerranée – APS, déc. 2006)

AMBI (AZTI Marine Biotic Index), appelé aussi coefficient benthique (CB) est un indice biotique développé par l'Espagne pour identifier la qualité écologique du benthos des fonds meubles.

La macrofaune du substrat meuble peut être divisée en 5 groupes :

- **Groupe I** : Espèces très sensibles à l'enrichissement en matière organique et présentes en milieu non pollué (état initial).
- **Groupe II** : Espèces indifférentes à l'enrichissement, toujours présentes en faibles densités et sans variations saisonnières prononcées.
- **Groupe III** : Espèces tolérantes à l'excès de matière organique. Ces espèces peuvent être présentes dans les conditions normales, mais leurs populations sont stimulées par l'enrichissement en matière organique.
- **Groupe IV** : Espèces opportunistes de second ordre. Principalement de petits polychètes, de dépositaires de subsurface tels que les cirratulidés.
- **Groupe V** : Espèces opportunistes de premier ordre. Dépositaires proliférant dans les sédiments réduits.

Partant de ces bases, une formule simple a été proposée. Celle-ci repose sur les pourcentages d'abondance de chaque groupe écologique dans chaque échantillon afin d'obtenir un indice continu, le Coefficient Biotique (BC) :

$$BC = \{(0 \times \%GI) + (1.5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4.5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)\}/100$$

Échelle de pollution	Coefficient biotique	Indice biotique	Groupe écologique dominant	Santé de la communauté benthique
Non pollué	0,0 < BC ≤ 0,2	0	I	Normal
Non pollué	0,2 < BC ≤ 1,2	1		Appauvri
Légèrement pollué	1,2 < BC ≤ 3,3	2	III	Déséquilibré
Modérément pollué	3,3 < BC ≤ 4,3	3		Intermédiaire avant pollution
Modérément pollué	4,3 < BC ≤ 5,0	4	IV-V	Pollué
Très pollué	5,0 < BC ≤ 5,5	5		Intermédiaire avant pollution
Très pollué	5,5 < BC ≤ 6,0	6	V	grave
Extrêmement pollué	Azoïque	7	Azoïque	Très pollué
				Azoïque

Tableau 1. : Classification des sites par degré de pollution en fonction du Coefficient Biotique

Un indice modifié, mixant indice de Shannon et AMBI, appelé M-AMBI, est en cours de réflexion pour la Méditerranée.

BENTIX (Source : LERPAC Ifremer : Le REBENT Méditerranée – APS, déc. 2006)

BENTIX est un système de classement de la macrofaune benthique qui permet l'évaluation du statut écologique de ses masses d'eaux.

L'indice BENTIX est développé sur la base d'indices existants, il combine le pourcentage relatif de 5 groupes écologiques, possédant des degrés de sensibilité variés aux facteurs de perturbation de l'environnement. L'originalité de cet indice est la réduction du nombre de groupes écologiques qui ne sont plus que 3 :

- **Groupe I (GI)** : Les espèces qui composent ce groupe sont très sensibles aux perturbations du milieu. Ce groupe correspond aux espèces de stratégie k (vie longue, croissance lente et forte biomasse). Sont également incluses dans ce groupe des espèces indifférentes aux perturbations et présentes en faible densité, sans variations saisonnières prononcées.
- **Groupe II (GII)** : Sont incluses dans ce groupe des espèces tolérantes aux perturbations du milieu dont les populations répondent aux sources de pollution par un accroissement de leur nombre. Ce groupe inclut également des espèces opportunistes de second ordre ou des colonisateurs de fin de succession de stratégie r (vie courte, croissance rapide, maturation sexuelle précoce et production de larves toute l'année).
- **Groupe III (GIII)** : Espèces opportunistes de premier ordre (situation déséquilibrées prononcées), espèces pionnières, colonisatrices et espèces tolérant l'hypoxie.

$$\text{Bentix Index} = \{6 \times \% \text{GI} + 2 \times (\% \text{GII} + \% \text{GIII})\}/100$$

Classification - Pollution	BC	État écologique
Normal	4,5 < BC < 6	Très bon
Légèrement pollué, transition	3,5 < BC < 4,5	Bon
Modérément pollué	2,5 < BC < 3,5	Moyen
Très pollué	2 < BC < 2,5	Médiocre
Azoïque	0	Mauvais

Tableau 2 : Indice Bentix et état écologique

L'Indice Bentix est indépendant du type d'habitat et de la taille de l'échantillon et ne requiert pas d'effort de taxonomie important.

Indice trophique (IT) (Source : LICARI, 1998)

Cet indice rend compte du régime alimentaire des espèces présentes dans l'échantillon, basé sur le principe des successions écologiques. Les espèces sont classées en 4 groupes trophiques.

1. les suspensivores
2. les détritivores
3. les dépositivores
4. les espèces de substrat anaérobie

L'indice trophique (IT) s'écrit alors :

$$IT = \frac{100 \sum (0.n_1 + 1.n_2 + 2.n_3 + 3.n_4)}{3N}$$

n_1, n_2, n_3, n_4 = abondances de toutes les espèces des groupes trophiques 1, 2, 3, et 4. N = abondance totale des espèces

Les valeurs de l'indice sont comprises entre 0 et 100.

IT	État du peuplement	Sensibilité à l'enrichissement en matière organique (MO) du sédiment
IT > 60	Normal	Non affecté
60 ≥ IT ≥ 30	Déséquilibré	Légèrement affecté
IT < 30	Perturbé	Affecté par une dégradation du sédiment par un sur-enrichissement en MO

Tableau 3 : *Indice Trophique et état écologique*

L'Indice Trophique est donc indicateur d'une perturbation organique du milieu.

ANNEXE 5

Prospections en plongée des tâches d'herbiers de zostères (*Zostera noltii*)



(Source : www.Ifremer.fr)

Zostera noltii

Localisation exacte des tâches d'herbiers de zostères

(Source : PNRC)

Positionnement herbier/plage	Point central
N	43 395 29
E	004 57 672

Tâche 0 (1,5m ²)	Point central
N	43 39 556
E	004 57 630

Tâche 1 (6 m ²)	4 côtés
N	43 39 604
E	004 57 663
N	43 39 605
E	004 57 651
N	43 39 660
E	004 57 657
N	43 39 602
E	004 57 661

Tâche 2 (12 m ²)	4 côtés
N	43 39 631
E	004 57 655
N	43 39 633
E	004 57 651
N	43 39 631
E	004 57 647
N	43 39 627
E	004 57 650

Tâche 4 (50 m ²)	4 côtés
N	43 39 645
E	004 57 674
N	43 39 642
E	004 57 679
N	43 39 647
E	004 57 684
N	43 39 649
E	004 57 677

Tâche 3 (18 m ²)	4 côtés
N	43 39 630
E	004 57 661
N	43 39 627
E	004 57 664
N	43 39 630
E	004 57 666
N	43 39 634
E	004 57 663

Tâche 5 (30 m ²)	4 côtés
N	43 39 634
E	004 57 679
N	43 39 634
E	004 57 686
N	43 39 638
E	004 57 692
N	43 39 641
E	004 57 681