

ETUDE DU RECRUTEMENT DES ECHINODERMES SUR LA COTE D'AZUR

par

Maria Luiza PEDROTTI ⁽¹⁾

Lucienne FENAUX ⁽²⁾

Introduction

Un oursin femelle produit à chaque ponte des millions d'oeufs qui fécondés deviendront des larves. Ces larves passent environ un mois en pleine eau. Le passage de la vie en pleine eau à la vie sur le fond de la mer, après transformation complète de la larve en jeune oursin (métamorphose), s'appelle recrutement benthique (*Fig. 1*). Cependant il y a un gâchis énorme de cette production car seulement 2 descendants parviendront au stade adulte. Les pertes pendant la phase larvaire sont dues à la mortalité naturelle, à la prédation et à la dispersion par les courants marins. Les pertes pendant la période du recrutement sont dues à la prédation par des organismes benthiques, à l'échec causé par une mauvaise fixation et aux changements topographiques du littoral qui peuvent détruire les sites propices aux nourrices.

Le renouvellement des populations de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* dans la Riviera française, est en diminution depuis quelques années. Plusieurs facteurs en sont responsables, notamment les pêches trop intensives et une maladie du test qui a décimé les populations dans de nombreuses régions, au cours de la décennie 1970. La diminution du nombre des géniteurs a entraîné une diminution du nombre de larves produites comme nous l'avons noté dans le suivi des pêches planctoniques effectuées à Villefranche depuis 30 ans (Fenaux, 1968 ; Pedrotti, 1990 ; Pedrotti, 1993). Ajoutons qu'il existe en outre des facteurs liés directement aux particularités de cette région : l'absence d'une plate-forme continentale limitant l'aire de distribution géographique des adultes à une bande côtière étroite, la présence du courant Ligure qui entraîne les larves d'oursins loin des côtes et des sites favorables au développement des jeunes (Pedrotti et Fenaux, 1992).

Les facteurs qui influencent le recrutement comme l'abondance de la nourriture (biomasse phytoplanctonique) au cours de la phase du développement larvaire, la qualité du relief susceptible de favoriser la métamorphose sont eux-mêmes influencés par les changements opérés par l'homme (construction de ports, diminution de la qualité des eaux marines avec les rejets par les rivières qui y déversent des produits de l'industrie, invasion d'une algue nouvelle pour la Méditerranée). D'autre part, le nombre d'oursins qui deviendront adultes dépend principalement des événements qui conditionnent la croissance des jeunes au cours de la première année de leur vie et de leurs possibilités d'échapper aux prédateurs.

Nous savons que de nombreuses espèces adoptent des stratégies leur permettant de survivre à de nouvelles conditions, mais nous connaissons encore mal ces adaptations. Dans le cas de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*, la compréhension que nous avons des différentes stratégies que l'oursin adulte et la larve peuvent adopter face à des changements dans le milieu vient en grande partie d'études faites en laboratoire. Une étude sur le terrain était absolument nécessaire pour comprendre les conditions régionales qui favoriseront ou ne favoriseront pas le recrutement. Cette étape étant la période la plus critique, c'est le succès de ce

(1) *Chargée de recherche.*

(2) *Directeur de recherche CNRS.*

Observatoire océanologique, Laboratoire d'Ecologie du Plancton Marin, UA 716, Station zoologique, B.P. 28, F. 06230 Villefranche-sur-Mer.

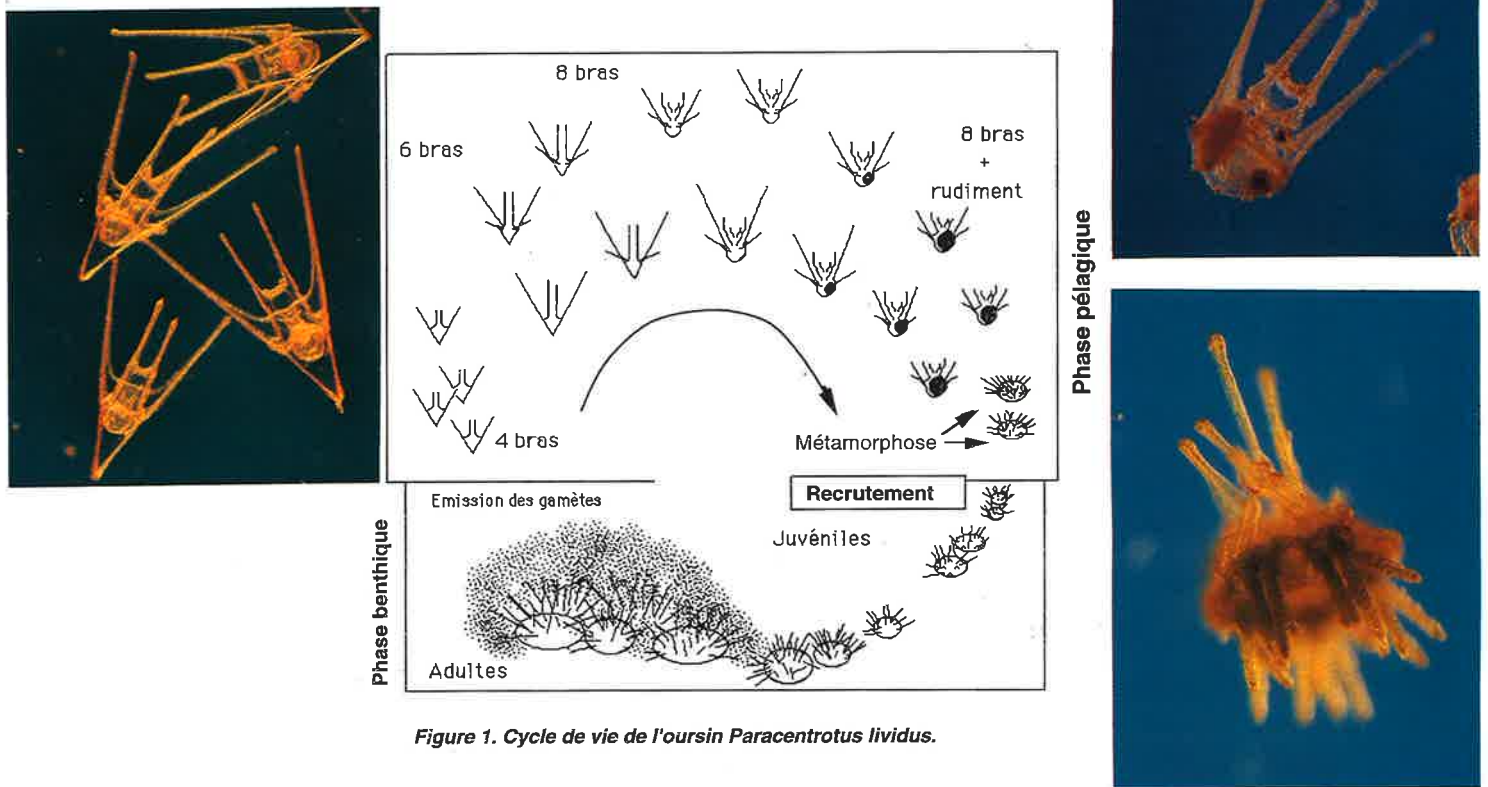


Figure 1. Cycle de vie de l'oursin *Paracentrotus lividus*.

recrutement qui est la base du maintien et du développement des populations d'oursins. Le problème soulevé à propos du recensement des populations de *P. lividus*, important pour les pêcheurs pour qui la vente de ces oursins en hiver constitue un complément appréciable de leurs revenus, a été abordé par Le Direac'h *et al.*, (1987) à Marseille. En dehors des travaux de recensements mensuels fait par Azzolina & Willsie (1987) pour l'île de Port Cros et Fenaux *et al.* (1987) pour la rade de Villefranche-sur-Mer, il existe peu de données sur des suivis écologiques des populations de jeunes oursins dans la région des Alpes Maritimes. Il nous a paru nécessaire de compléter cette recherche par une étude en amont en essayant de recenser le stock des jeunes oursins futurs progéniteurs.

Pour comprendre les phénomènes qui précèdent et ensuite favoriseront le recrutement des juvéniles plusieurs questions se posent :

- Dans les sites étudiés y a-t-il un flux de larves planctoniques qui entretient de façon synchrone le flux de jeunes oursins?
- Ces larves sont-elles produites par des populations locales d'oursins? Sont-elles retenues dans ces régions grâce à des mécanismes hydrodynamiques ?
- Les post-larves d'oursin pourront-elles trouver des zones adéquates (substrat, protection) pour se fixer là où la nourriture peut assurer le développement des jeunes (nous appelons ces zones des zones nourricières) ?

- Dans quelles conditions peuvent-elles assurer le renouvellement des populations d'oursins?

Le but donc de ce travail a été de suivre la période d'apparition des larves d'oursins dans le plancton et d'identifier des zones nourricières (présence de jeunes oursins de moins de 30 mm) dans notre région. Nous présentons ici les résultats obtenus en 1990 et en 1991 concernant les recherches effectuées dans la Réserve sous-marine de Monaco et sur les côtes de Cannes à Villefranche. Cette étude a été faite en collaboration avec l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature, le Service de l'Environnement du Conseil Général des Alpes Maritimes et le Gis Posidonie (Marseille).

Techniques utilisées pour étudier le recrutement

L'étude a commencé par un suivi des larves planctoniques de *Paracentrotus lividus* dans la baie de Villefranche pendant les saisons d'abondance des larves. Des pêches planctoniques verticales ont été effectuées entre 30-0 m avec un filet WPPI de 200µm de vide de maille. A travers le suivi des cohortes larvaires, nous pouvons déterminer le moment où les larves (plutéus) sont prêtes à la métamorphose (compétence) et donc au recrutement sur le fond marin. La taille des oursins juste après la métamorphose étant de moins d'un millimètre, il est donc difficile de pouvoir les identifier par la plongée dans leur milieu naturel.

Pour parer à cet inconvénient nous avons développé des techniques appropriées pour la capture des naissains. Après avoir localisé des zones "nourricières", des séries de plaques de P.V.C. de dimensions 10 x 13 cm ont été déposées dans quelques-uns des sites reconnus. Ces "leurres" restent une à deux semaines en mer et sont après cette période recouverts d'un film bactérien et algal. Les larves trouvent sur ces plaques les mêmes stimuli d'induction à la métamorphose que ceux produits par le substrat, et s'y fixent (*Photo 2*). Lorsque la présence de larves proches de la métamorphose ou de post-larves a été observée dans les pêches planctoniques, (facteur qui indique le début du recrutement) des plongées ont été effectuées dans les sites, pour l'enlèvement des plaques. L'examen au microscope stéréoscopique de ces plaques ainsi que la collecte du sédiment et des cailloux proches des leurres, nous ont permis de faire une analyse complète du milieu qui les environne.

Pour dénombrer les jeunes oursins, l'unité d'échantillonnage choisie est un carré d'1m de côté. Sur les sites choisis, nous avons effectué à chaque sortie des dénombrements en discontinu à différentes profondeurs. Lors de l'échantillonnage avec le cadre, les dénombrements ainsi que les mesures du diamètre des oursins sont faits sur place (*Photo 3*). Le substrat (cailloux) et les animaux qui s'y trouvent sont examinés puis reposés à la même place. Cette technique permet d'avoir des mesures plus fiables que celles prises, directement en plongée, en séparant les oursins par classes de tailles. Elle évite aussi le transfert du matériel au laboratoire, technique qui introduirait des dommages importants pour les animaux et modifierait en partie l'écosystème. Avec les données sur la croissance des juvéniles en laboratoire nous avons essayé de définir des classes d'âges.

Photo 3
Dénombrements et mesures du diamètre des oursins faits sur place. Le substrat (cailloux) et les animaux qui s'y trouvent sont examinés sur le bateau puis reposés à la même place dans le site.



Photo 2
Plaques en P.V.C. accrochées à une grille en plastique installée à 8 m de profondeur avec la couverture algale permettant la fixation des oursins.



Résultats

Le dénombrement et la mesure de la taille des jeunes oursins, fixés sur les plaques et sur les pierres voisines au fond de la mer, nous ont permis de suivre le recrutement benthique et nous ont donné des renseignements sur l'âge des populations des précédents recrutements (*Photos 4 - A B*).

Printemps-Eté 1990

a) Détermination du début de la période de recrutement benthique

Les larves de l'oursin *Paracentrotus lividus* sont apparues dans la rade de Villefranche-sur-Mer vers le 15 mai (stade 4 bras). Les larves où le rudiment échinien est déjà formé (larves proches de la métamorphose) sont apparues début juin.



Photos 4
Les petits oursins vivent en essaims sur un terrain rocheux souvent dans les anfractuosités des cailloux.

A. Jeunes oursins prélevés sous les cailloux dans le premier site nourricier (obs : agrandissement 3 fois), les diamètres varient de 5 à 20 mm.

B. Oursins qui se trouvaient sur les pierres voisines et qui viennent s'installer sur les plaques.



b) Recrutement de jeunes oursins dans le site de l'aéroport de Nice

Les recherches commencées au printemps 1990 sur la fixation des jeunes oursins, nous ont permis de suivre, le début de la phase du recrutement benthique. Sur des plaques de P.V.C. mises en place près de l'aéroport de Nice, nous avons, en effet, observé au mois de juillet 1990, la présence de jeunes oursins 0,7 mm de diamètre. C'est la taille qu'ont les jeunes oursins lorsqu'ils se métamorphosent en laboratoire.

Automne 1990

a) Détermination du début de la période de recrutement benthique

Les pêches planctoniques dans la Rade de Villefranche ont été effectuées journalièrement du 16 octobre au 7 décembre 1990. De jeunes larves d'oursin au premier stade larvaire (4 bras) sont apparues dans la rade le 2 novembre, les larves compétentes à la métamorphose sont apparues le 6 décembre.

b) Recrutement de jeunes oursins dans la Réserve de Monaco et dans la baie de Villefranche

Le 26 novembre, 50 plaques ont été installées dans le secteur Est de la Réserve de Monaco à 6 m de profondeur et une grille de 1 m² avec 25 plaques au niveau du récif artificiel n° 5. Le 13 novembre les plaques ont été installées dans la rade de Villefranche-sur-Mer. Le 20 décembre, les plaques et des pierres ont été collectées dans la réserve ainsi qu'à Villefranche. Dans celles collectées dans la réserve, au niveau du récif artificiel nous n'avons pas observé la fixation des larves. En regardant à la loupe binoculaire, nous avons constaté que ces plaques n'avaient pas de couverture algale permettant la fixation des oursins ; cependant à l'Est de la réserve des jeunes recrues de *Paracentrotus lividus* mesurant entre 1,3 mm et 3 mm ont été collectés dans les anfractuosités des cailloux. Les plus petits oursins ont été probablement recrutés entre novembre et décembre. La prospection du site, situé au Nord de la rade de Villefranche, montre que les petits oursins sont rares. Les plaques posées au Nord de la rade de Villefranche sont recouvertes de posidonies mortes ; il n'y a pas une couverture algale comme dans les plaques mises dans le site proche de l'Aéroport, au printemps 1990. Probablement, les larves compétentes n'ont pas pu trouver un substrat adéquat dans le site au Nord de la Rade.

c) Dénombrement et mesure des oursins

Nous avons observé, en novembre et décembre, dans le secteur Est de la réserve de Monaco, de jeunes *Paracentrotus lividus* de 12 à 30 mm, sous les pierres aux environs de 7 m de profondeur. Ces oursins font partie probablement du recrutement effectué pendant le printemps et

l'automne 1989. Cette hypothèse est appuyée par les résultats de Cellario et Fenaux (1990) qui, dans des élevages de *P. lividus* au laboratoire, obtiennent des individus de 12 mm au bout de 10 mois. Le site choisi dans la rade de Villefranche-sur-Mer, proche du Sémaphore à 7 m de profondeur, est une dalle rocheuse constituée de cailloux assez gros, suivi par l'herbier de posidonies. Les petits oursins ont été trouvés sous les pierres, leur taille moyenne est de 14 et 16 mm. Les oursins de plus gros diamètre sont dehors sur l'herbier. Leur densité moyenne est de 6 à 10 ind./m², densité proche de celle observée par Fenaux *et al.*, (1987) pour une station de la côte Est de Villefranche (19 ind./m²).

Printemps-Eté 1991

a) Détermination du début de la période de recrutement benthique

Le plancton a été collecté depuis le 15 avril jusqu'à la fin de juillet, dans la rade de Villefranche-sur-Mer. Les larves de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* sont apparues dans le plancton, vers le 15 mai (stade 4 bras). Dans les pêches effectuées au printemps 1991, nous n'avons cependant pas suivi la succession des différents stades du développement larvaire. La durée de vie pélagique de *P. lividus* est comprise entre 15 jours et 1 mois ; il est toutefois possible que les larves avec le rudiment échinien soient apparues aussi en juin.

b) Recrutement de jeunes oursins dans la Réserve de Monaco et à Antibes

Le 29 avril 1991, d'autres plaques ont été mises en place dans le secteur Est de la réserve, à 6 m de profondeur. Ces plaques ont été collectées le 23 juin, le 10 juillet et le 27 août ainsi que des pierres. Dans tous les sites, elles avaient une couverture algale permettant la fixation des oursins. Le 27 août, nous avons observé des petits oursins *P. lividus* mesurant entre 0,9 et 9 mm ; les plus petits ont été recrutés au mois d'août, les autres font partie du recrutement de l'automne précédent. Dans les deux sites nourriciers situés à Antibes, sur les cailloux collectés le 7 août nous avons observé des *P. lividus* mesurant entre 3 et 5 mm. Il

est possible que ces oursins soient recrutés fin-hiver 1991. Dans des élevages de *Paracentrotus lividus* au laboratoire, des individus de 3 mm correspondraient selon Cellario et Fenaux (1990) à 140 jours d'élevage. Selon Azzolina (1988) le taux de croissance des oursins sur le terrain est supérieur à celui de ceux élevés au laboratoire. En effet, Fenaux *et al.* (1987) a observé une croissance moyenne de 1 mm par mois, sur des oursins venant du milieu marin, et élevés pendant 6 mois au laboratoire. Ces auteurs ont aussi observé, que le taux de croissance maximal (2,4% jour) des oursins correspond à des tailles de moins de 2 mm et s'effectue sur des oursins de moins de 100 jours.

c) Dénombrement et mesure des oursins à Antibes et à Cannes

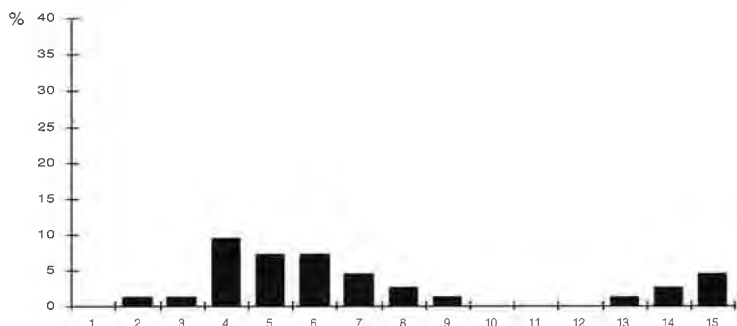
Les résultats du dénombrement et la mesure des oursins nous indiquent que le recrutement a eu probablement lieu au cours des deux années précédentes. Les diamètres minimum, maximum et moyen ainsi que l'abondance moyenne des oursins sont indiqués dans le tableau 1 pour les deux sites à Antibes et celui situé à l'île de la Tradelière (S3). Le diamètre moyen des oursins est de 20 mm, l'âge moyen des oursins peut être estimé entre 18 et 24 mois d'après les données d'Azzolina (1988) et Fenaux *et al.*, (1987). Des histogrammes de fréquences ont été établis lors de chaque sortie dans les deux sites à Antibes. 15 classes de tailles entre 0,5 et 45 mm de diamètre à 3 mm d'intervalle ont été définies. La classe de taille 7 (19-21 mm) a l'effectif le plus riche (Fig. 5). Il existe au mois d'août un changement de la structure des classes de taille. L'apparition d'individus dans la classe 1 (0,5-3 mm), marque vraisemblablement la présence d'un faible recrutement au début de l'été (juvéniles âgés d'environ 2 mois). Les individus de la classe 2 (4-6 mm), sont âgés probablement de 8 mois et auraient été recrutés l'automne précédent. Ces hypothèses sur l'âge des jeunes *P. lividus* sont fondées sur le modèle de croissance fait par Cellario et Fenaux (1990) qui donne des diamètres entre 10,55 mm et 15,60 mm pour des oursins de 1 an. Les oursins de plus grande taille font probablement partie des recrutements du printemps 1989 et de l'automne 1988.

Tableau 1
Diamètres (minimum et maximum),
effectif et moyenne
et écart type du diamètre des
Paracentrotus lividus
observés dans différents sites
des Alpes Maritimes
S1 : Pointe Belay
S2 : Pointe des Pendus
S3 : Ile de la Tradelière

Dates		Diamètre (mm) minimum	Diamètre (mm) maximum	Effectifs m ²	Moyenne (N) ± écart type
4.7.91	S3	10,5	38,2	5,5	23,30 ± 7,2 (22)
11.7.91	S1	5	45,5	19,5	20,22 ± 11,4 (39)
31.7.91	S1	5	47	21,6	22,14 ± 8,4 (62)
31.7.91	S2	6	41	59,5	20,23 ± 6,4 (110)
7.8.91	S1	4	45	22,5	24,0 ± 13,9 (55)
7.8.91	S2	3	43	33,2	21,5 ± 8,8 (67)
31.10.91	S1	6	43	36,5	23,48 ± 9,6 (61)
31.10.91	S2	11	41	30,5	22,3 ± 6,3 (107)
21.11.91	S1	12	43	58,8	20,94 ± 6,7 (117)
21.11.91	S2	14	45	36,5	23,55 ± 7,53 (73)

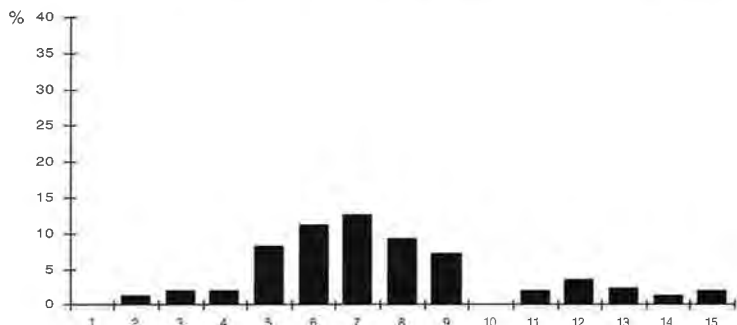
Pointe Belay - Site 1

11 Juillet 1991

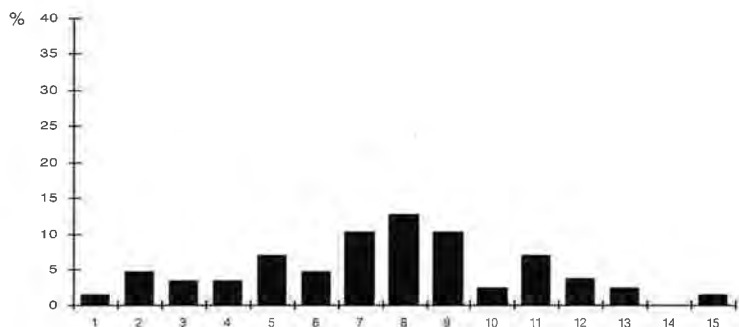
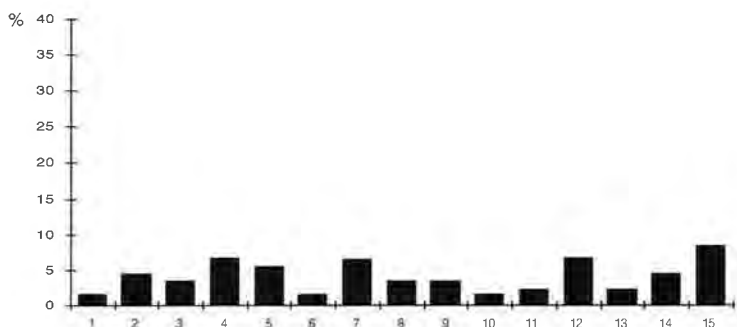


Pointe de Pendus - Site 2

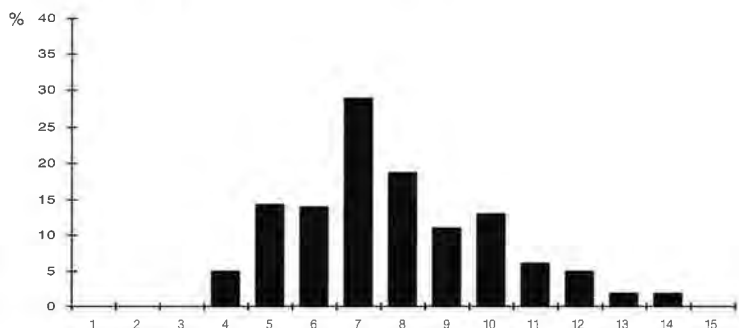
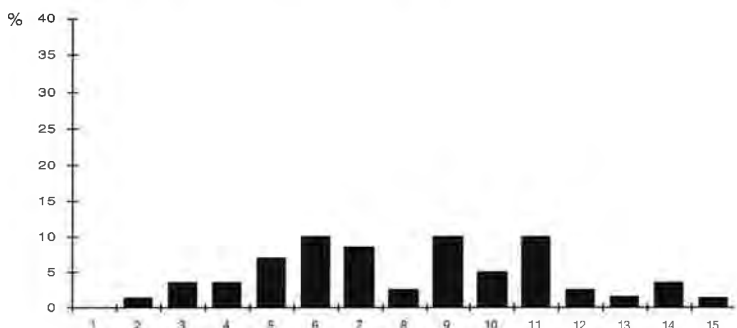
31 Juillet 1991



7 Août 1991



31 Octobre 1991



21 Novembre 1991

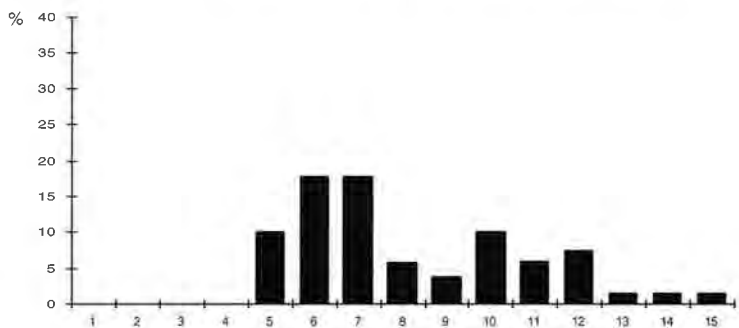


Figure 5. Histogrammes de classes de tailles de *Parocentrotus lividus* récoltés du 11 juillet au 21 novembre 1991 dans les deux sites nourriciers. Les classes de taille en mm : 1 (0,5-3), 2 (4-6), 3 (7-9), 4 (10-12), 5 (13-15), 6 (16-18), 7 (19-21) 8 (22-24), 9 (25-27), 10 (28-30), 11 (31-33), 12 (34-36), 13 (37-39), 14 (40-42), 15 (43-45)-.

Discussion

Nos résultats ont montré que le recrutement benthique correspond avec la présence de larves compétentes dans le plancton. En effet, nous avons pu suivre au cours de plongées, la fixation des jeunes oursins de moins d'un millimètre de diamètre (taille qu'ont les jeunes oursins lorsqu'ils se métamorphosent en laboratoire) sur les plaques en P.V.C. L'utilisation des plaques pour étudier le recrutement *in situ* s'est avérée donc positive. En effet, les larves se fixent sur les plaques, grâce à la couverture algale qui s'y forme. Il existe peu d'équipes dans le monde qui étudient le recrutement des oursins, (citons les japonais et une équipe irlandaise installée à Carna) elles le font le plus souvent dans un but commercial. Des techniques similaires à celles que nous avons mises au point lors de cette étude, sont utilisées pour la collecte naturelle de naissains dans les fermes marines.

Nous avons observé que les variations de recrutement dépendent :

– de la configuration des sites. Les jeunes oursins ont une préférence pour un substrat constitué de petites roches et de cailloux avec des anfractuosités. Ainsi, le côté Est de la Réserve de Monaco et la digue de l'aéroport qui ont cette structure se sont révélés être des sites riches en jeunes oursins. Par contre, dans le site au Nord de la rade de Villefranche constitué d'une prairie de posidonies ensablée les jeunes oursins sont rares. Il n'y a pas eu de recrutement au cours des deux dernières années.

– de la qualité de la couverture algale qui libère les stimuli induisant le déclenchement de la métamorphose et fournit la

nourriture nécessaire à la croissance des juvéniles. Les plaques collectées au printemps, à l'aéroport et dans la réserve, avaient une bonne couverture algale ce qui n'était pas le cas de celles du fond de la rade de Villefranche.

– de l'exposition du site. Nous avons observé que les jeunes oursins se fixent dans des sites très exposés (beaucoup de circulation d'eau) et à une profondeur n'excédant pas les 8-10 m.

– de la saison et de l'état de la mer. Le recrutement du printemps est plus favorable que celui d'automne. Les fortes tempêtes qui ont eu lieu pendant l'automne 1990, ont arraché la plupart des plaques posées à l'Est de la réserve et par là même ont rendu difficile la fixation des juvéniles sur le fond.

Conclusion

L'objectif premier de ce travail a été d'identifier les zones nourricières potentielles et de déterminer les facteurs susceptibles d'influer sur le recrutement et sur la croissance des oursins. Nous connaissons maintenant mieux les facteurs susceptibles d'intervenir sur le recrutement des oursins en milieu naturel. L'identification des zones nourricières ainsi que la mise au point des techniques pour suivre le recrutement nous ont permis d'observer le recrutement *in situ* dans la Riviera. Seule l'exploitation et l'aménagement rationnels de nos ressources marines et de nos côtes peuvent assurer la croissance et le renouvellement des populations adultes d'oursins dans la région.

Références bibliographiques

- Azzolina, J-F. (1988).** Contribution à l'étude de la dynamique des populations de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmk). Thèse de Doct., Univ. Aix-Marseille II, 192 p.
- Azzolina, J-F. & A. Willsie (1987).** Abondance des juvéniles de *Paracentrotus lividus* au sein de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles. C.F. Boudouresque (edit.), Gis Posidonie, Marseille, France: 159-167.
- Cellario, C. & L. Fenaux (1990).** *Paracentrotus lividus* (Lamarck) in culture (larval and benthic phases) : Parameters of growth observed during two years following metamorphosis. *Aquaculture*, 84 : 173-188.
- Fenaux, L. (1968).** Aspects écologiques de la reproduction des *Echinides* et des *Ophuriides* de Villefranche-sur-Mer. Thèse doctorat d'état ès sciences naturelles. Université de P. et M. Curie, 194 p.
- Fenaux, L., M. Etienne & G. Quelart (1987).** Suivi écologique d'un peuplement de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) dans la baie de Villefranche-Sur-Mer, France. Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles. C.F. Boudouresque (edit.), Gis Posidonie, Marseille, France: 187-197.
- Le Direac'h, J. F., E. Charbonnel & M. Marchadour (1987).** Le problème de l'évaluation des stocks chez *Paracentrotus lividus* (Lamarck) : exemple d'une campagne de dénombrement autour de l'archipel du Frioul (Marseille, France). Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles. C.F. Boudouresque (edit.), Gis Posidonie, Marseille, France: 199-220.
- Pedrotti, M. L. (1993).** Spatial and temporal patterns in the distribution of echinoderm larvae in the Ligurian sea and recruitment. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 73: 513-530.
- Pedrotti, M. L., (1990).** Etude des processus biologiques et facteurs physiques responsables de la dispersion et du recrutement des larves méroplanctoniques. Modèle : les larves d'Echinodermes. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie en Sciences de la Vie, Paris, 179 p.
- Pedrotti, M. L. & L. Fenaux (1992).** Dispersal of echinoderm larvae in a geographic area marked by an upwelling (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 86 : 117-127.



Photo JEAN-MICHEL MILLE

LES RÉCIFS ARTIFICIELS

par

Denis ALLEMAND ⁽¹⁾ et *Eugène DEBERNARDI* ⁽¹⁾

Pourquoi des récifs pour les poissons ?

La construction de récifs artificiels consiste en la mise en place, généralement sur le fond de la mer, mais également en pleine eau (récif flottant), de matériaux divers destinés à constituer des supports ou des abris pour le développement des organismes invertébrés ou vertébrés. La fonction primordiale d'un récif artificiel est d'augmenter la production biologique par la mise à disposition de nouvelles surfaces spécialement étudiées pour être rapidement colonisées. Initialement empirique, l'architecture des nouveaux récifs tente d'être spécifique pour une catégorie d'espèce donnée et dans un but précis. Ainsi, l'immersion de récifs peut correspondre à plusieurs objectifs : accroissement de la productivité de la pêche industrielle (Japon par exemple), développement de la pêche de loisir (États-Unis), protection d'une espèce rare ou menacée.

L'idée de créer des substrats artificiels immergés afin d'augmenter la productivité d'une zone donnée est apparue au Japon au XVII^{ème} siècle dans le but d'améliorer la pêche côtière. Le concept de "Récif artificiel" était né. Depuis, les japonais sont restés maîtres en ce domaine : dès les années 1930, les récifs artificiels sont déclarés d'utilité publique et les premiers récifs en béton spécialement conçus pour attirer les poissons sont immergés. A partir de 1962, des plans nationaux de grande envergure, d'étude et d'immersion de récifs artificiels sont mis en place. A la fin des années 1960, plus de 2.240.000 m³ de récifs étaient ainsi immergés dans près de 4000 localités côtières.

L'utilisation de récifs artificiels ne s'est développée dans les autres pays (principalement les États-Unis et Taïwan) qu'à partir des années 1970. C'est également le cas de la France où l'immersion des premiers récifs, constitués de déchets récupérés (pneus, carcasses de voitures...) a été réalisée à la fin des années 1960 à Palavas-les-flots. Dans les Alpes-Maritimes, environ 15000 m³ de récifs ont été immergés entre 1980 et 1989 dans les trois réserves que compte le département (Golfe-Juan, Beaulieu, Roquebrune Cap-Martin). La Principauté de Monaco apparaît ainsi comme pionnier en ce domaine puisque les premiers récifs spécialement conçus dans le but d'être immergés l'ont été dès 1977.

Présentation des récifs artificiels immergés dans la réserve

De 1977 à 1992, 31 structures ont été immergées dans la réserve sous-marine de Monaco au Larvotto. 30 de ces structures avaient été spécifiquement élaborées pour servir d'habitat à la faune marine. Ces différents récifs peuvent être classés suivant cinq modèles différents dont la conception a évolué avec notre expérience.

Premières tentatives

Dans une première phase, en juin 1977, 300 tonnes de rochers naturels ont servi à créer trois récifs, immergés par chalands sur les sites choisis. La profondeur (- 25 m) et la dispersion des éléments qui en est résultée n'ont pas permis d'obtenir les résultats souhaités. Ils ont cependant été colonisés par des bancs de sars.

Récifs en hourdis alvéolaires

Suite à cette première expérience, nous avons utilisé des hourdis alvéolaires en béton, matériaux employés habituellement pour la construction des planchers d'immeubles. Ceux-ci sont plus faciles à transporter et présentent l'avantage de pouvoir être structurés à terre. Ils peuvent ainsi être cimentés entre eux pour constituer des ouvrages en élévation et faciliter la fixation des organismes benthiques. De plus, chaque hourdis présente trois cavités de 20 x 15 x 13 cm, qui constitueront autant d'abris pour les poissons et invertébrés qui coloniseront ces récifs. Ils ont un poids unitaire de 20 kg pour une dimension de 50 x 20 x 16 cm.

Par commodité (structures à formes répétitives, transport sur le site, mise en place au point choisi) la construction sur dalle en béton armé a été adoptée. Ces récifs sont donc structurés à terre sur une dalle de béton dont chaque angle a reçu un anneau en acier Thor de 20 cm de diamètre pour les opérations de levage. Les récifs une fois structurés ont été transportés sur le site par un chaland équipé d'une

(1) AMPN.

grue. Des moyens hélicoptérés ont été également utilisés. Ainsi, 16 récifs alvéolaires d'un poids unitaire de 500 kg (type C) ont été immergés sur le site choisi grâce à un hélicoptère en 1h15. Les récifs ont été placés à quelques mètres de distance les uns des autres à une profondeur de 25 m. Le décrochage de chaque récif était commandé par un plongeur guidé par radio. La rapidité d'exécution et le coût relativement peu élevé, étant donné la proximité du lieu d'immersion d'un hélicoptère - moins de 2 km - donne à cette solution un intérêt tout particulier.

Caractéristiques des récifs

Trois types principaux ont été imaginés. Leurs caractéristiques sont rappelées dans le tableau 1.

a) TYPE "A" (Photo 2)

Ce type de récif a été le premier conçu. Ce récif est constitué de 200 hourdis cimentés sans ordre particulier sur dalle. Chaque hourdis présentant en coupe longitudinale trois cavités, ce sont donc 600 cavités qui ont ainsi été constituées en forme de tronc de pyramide ayant une hauteur moyenne de 1,50 à 2 m, pour un poids unitaire de 7 tonnes.

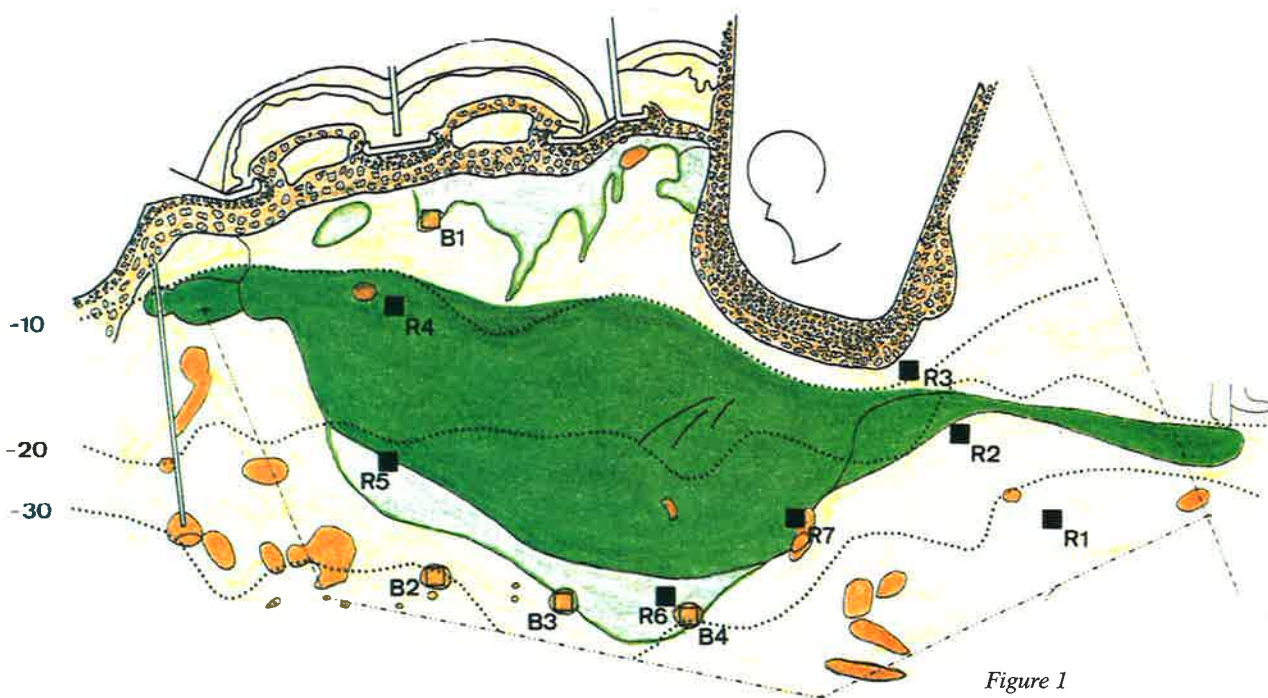
Deux récifs de type "A" ont été immergés en juin 1979, l'un à - 8 m en bordure de l'herbier de Posidonies et l'autre à - 30 m sur fond de sable. Leur relative légèreté est

un avantage sur les fonds mous en limitant l'enfoncement. Le recouvrement algal de ces récifs a été rapidement très satisfaisant ; quelques mois après leur immersion, ils disparaissaient sous une épaisse couche d'algues et d'invertébrés. Les alvéoles des hourdis ont été rapidement occupées par des poissons et langoustes. Des pontes de calmar ont également été observées.

b) TYPE "B"

Afin d'améliorer la colonisation des récifs, un deuxième modèle a été imaginé. Les récifs du type "B" ont été construits suivant une forme géométrique octogonale. Cette forme permet un meilleur éclairage naturel tout en ménageant une zone d'ombre relative dans le puits central de section 1 m² créé à l'intérieur du système. Ce récif peut ainsi être comparé à une tour évidée dont l'épaisseur des parois est d'environ 0,40 à 0,60 m.

La rangée supérieure des hourdis a reçu quatre tiges d'acier de 30 mm (hauteur : 0,80 m) pour supporter des hourdis percés de part en part afin de pouvoir être retirés pour examen de leur colonisation en laboratoire, ce qui était impossible avec les récifs de type "A". Les scientifiques de l'Université de Gênes (Italie) ont ainsi pu effectuer pendant 12 ans des recherches sur l'évolution de la colonisation de ces récifs par les invertébrés (voir l'article de Panzini et Ballerini dans cet ouvrage). Huit récifs de ce type ont été immergés en septembre 1983.



RESERVE MARINE DE MONACO
Topographie de la réserve

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| ■ Récifs artificiels alvéolaires | ■ Herbier |
| □ Récifs de blocs de roche | ■ Herbier clairsemé |
| ● Roches naturelles | ■ Sable |

Figure 1
Localisation
des récifs artificiels immergés
dans la réserve
sous-marine de Monaco.



Photo 2
Récif de type "A".

Photo JEAN-MICHEL MILLE



Photo 3
Récif de type pyramidal.

Photo JEAN-MICHEL MILLE



Photo 4
Récif Thalameé (d'après Société A3E).

Photo JEAN-MICHEL MILLE

c) TYPE "C"

Le type "B" présente de nombreux avantages par rapport à la colonisation mais son poids élevé le rend peu maniable. Un troisième type de récif, plus léger mais présentant des caractéristiques similaires au type "B", a donc été imaginé. Ainsi, les récifs du type "C" ont un poids unitaire de 0,5 tonne. Les hourdis sont disposés sur la dalle sur quatre niveaux, soit une hauteur moyenne de 0,80 m avec un puits central de 0,50 x 0,50 m. Seize récifs de ce type ont été immergés en septembre 1980.

Autres structures immergées

Trois autres types de récifs artificiels ont été immergés dans la réserve de Monaco.

– En décembre 1986, un récif pyramidal (*Photo 3*) formé par l'empilement de 38 caissons alvéolaires en béton armé a été assemblé à 28 m de profondeur sur sable. Les caissons constituant ce récif ont la forme d'un parallélépipède rectangle ouvert à l'une de ses extrémités. Ce sont en quelque sorte des tubes de béton armé de 2 mètres de hauteur et de section (1 m x 0,80 m). Ils ont été posés à même le sédiment (sable graveleux) et empilés les uns sur les autres en ménageant un espace libre de 1 m (entre chaque caisson sur la longueur) et 0,80 m entre chaque élément, de telle manière que soit réalisé un labyrinthe offert à la faune. Celle-ci dispose également des cavités constituées par chaque caisson (volume environ 1,60 m³). Ce récif a les dimensions totales suivantes : longueur : 14 m, largeur : 10 m, hauteur : 3 m. De par sa taille importante, ce type de récif est particulièrement attractif pour la faune ichthyologique. Il a été immédiatement colonisé par des labres (*Labrus turdus*), oblades (*Oblada melanura*), rougets (*Mullus barbatus*), saupes (*Boops salpa*), murènes (*Murena helena*).

– En août 1989, trois récifs abris artificiels, dit "Thalamé", (*Photo 4*) brevetés par la société niçoise "Assainissement Entretien Environnement Écologie" (A3E) ont été immergés en bordure de l'herbier de Posidonie à - 20 m. Ce type de récif en forme de carapace de tortue avec trois entrées au ras du sol est destiné à créer des abris pour les poissons littoraux. Les plongées de contrôle ont permis de constater la présence de sparidés tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de ces récifs. Les récifs immergés dans la réserve sous-marine de Monaco ont été spécialement conçus dans le but de servir d'habitat pour la faune marine. Cependant, des structures déjà manufacturées peuvent également servir de récifs artificiels. En juin 1989, un plaisancier nous offrait son bateau en teck pour être immergé dans la Réserve. Tout plongeur est d'accord pour affirmer la richesse faunistique d'une telle épave. Nous avons donc saisi l'opportunité de ce don pour l'utiliser en tant que récif artificiel. Avant son immersion, ce bateau, d'une longueur de 12 m, de 4 m de large pour une



Photo JEAN-MICHEL MILLE

Récif alvéolaire.

hauteur sur quille de 3,50 m, soit un volume d'environ 100 m³, a subi un nettoyage méticuleux qui a consisté à démonter le propulseur, à supprimer les vitres et toutes les pièces métalliques, et à le nettoyer de ses fluides (huiles et graisses). Il repose actuellement par - 20 mètres sur un fond de sable où il constitue un récif exceptionnel rapidement colonisé.

Tableau 1. Caractéristiques physiques des trois types de récifs artificiels immergés dans la réserve sous-marine de Monaco (d'après Allemand *et al.*, 1995).

Type du Récif	A	B	C
Dimensions de la dalle (mètres)	3 x 2,5 x 0,15	3 x 2,5 x 0,15	1 x 1 x 0,1
Nombre de hourdis alvéolaires sur la dalle	200	environ 400 environ 600	24
Hauteur sur dalle (mètres)	1,5-2,0	2,0 3,0	environ 0,8
Poids unitaire (tonnes)	7	10 12	0,5
Nombre de récifs immergés	2	3 5	16
Profondeur d'immersion (mètres)	8,30	14-22-34 32	25

LA COLONISATION DES RÉCIFS ARTIFICIELS

par

Andrea BALDUZZI ⁽¹⁾ et *Roberto PRONZATO* ⁽¹⁾

Les récifs artificiels : un moyen pour l'accroissement et la conservation de la biodiversité marine.

“Pourquoi construire des récifs artificiels marins ?”. Meier (1989) répond simplement “they work”. En effet la réalisation de récifs artificiels marins peut représenter, sous certaines conditions, un moyen technologique pour convertir un surplus de matière organique en biomasse utile (Riggio et Provenzano, 1982). Même si les critères biologiques objectifs et quantifiables pour l'évaluation de l'efficacité des récifs artificiels restent encore controversés (Doumenge, sous presse), l'intérêt économique et scientifique de ce secteur est démontré par les nombreux récifs artificiels immergés en Méditerranée (Bombace, 1989).

Les récifs artificiels peuvent théoriquement accroître la productivité biologique soit en milieu eutrophique que, dans certaines conditions, en milieu oligotrophique (c'est-à-dire non seulement en présence d'un surplus de nutriments) en produisant plusieurs effets, que l'on peut ainsi synthétiser :

1. *Effets halieutiques* : protection des phases d'accroissement de nombreuses espèces persistantes et attraction et concentration d'espèces pélagiques (poissons et autres organismes de haute mer) et nectobenthiques (poissons et autres organismes liés au fond de la mer).

2. *Effets biologiques* : diminution de la mortalité naturelle et augmentation de la production à différents niveaux des réseaux trophiques.

3. *Effets écologiques* : diversification de nouveaux habitats, instauration de nouveaux réseaux alimentaires, augmentation de la diversité biologique et de la richesse spécifique.

Ces effets sont dus, dans les récifs artificiels, à l'introduction de substrats durs, qui peuvent supporter l'implantation d'une flore et d'une faune benthiques généralement plus abondantes et plus variées que sur les fonds de sable ou de vase. La structure irrégulière et variée de ces substrats, crée différents microhabitats, cavités, refuges où de nombreuses espèces peuvent trouver abri dans des conditions optimales de vie, et par l'obstacle mécanique que ces structures opposent au chalutage sauvage des fonds côtiers.

Photo 1
Les piles d'hourdis
enlevables sur
le récif à 30 m de profondeur.



(1) Istituto di Zoologia dell'Università di Genova

Les récifs artificiels comme moyen d'étude

Les récifs artificiels sont aussi très utiles pour la recherche. Leur simplicité structurale et la précision avec laquelle on peut définir la durée des différentes phases de la succession biologique en font un modèle presque idéal pour l'étude de la colonisation des substrats durs à la mer, en permettant de surmonter la complexité et l'incertitude liées aux études sur les substrats naturels. Les premières observations expérimentales sur les successions biologiques dans la colonisation des substrats durs immergés ont été faites par Wilson (1925) à La Jolla en Californie. Huvé (1953) utilisa des blocs de calcaire dans ses études devenues classiques dans le domaine benthique côtier de la Méditerranée.

Pour la construction et la mise en œuvre d'un récif artificiel on doit faire grande attention à la structure architecturale et à l'emplacement (profondeur d'immersion et distance des substrats durs naturels) des éléments qui le composent. La présence d'anfractuosités et de rugosités influence directement le nombre d'espèces présentes (Barnes, 1955), tandis que la profondeur et l'éloignement des autres substrats durs peuvent diminuer la probabilité que les larves d'organismes benthiques "rencontrent" ces récifs isolés (Pansini et Pronzato, 1981), ceci étant à rapprocher avec les théories sur l'insularité de McArthur et Wilson (1968).

La colonisation des structures artificielles immergées dans la Réserve marine de Monaco

L'immersion de récifs artificiels dans la Réserve de Monaco, en plus de l'intérêt pratique pour accroître les ressources marines, a offert l'opportunité d'une étude de leur colonisation par la faune benthique.

Les observations générales de l'évolution des communautés benthiques sur les différentes structures, effectuées soit par prises de vue directement en plongée soit par l'étude des relevés photographiques, ont fait l'objet de différentes publications (Balduzzi *et al.*, 1982, 1985, 1986 ; Boero, 1982 ; Cattaneo, 1982 ; Pansini, 1982).

Ces travaux ont montré que la colonisation des récifs, après une première période de préparation du substrat par de nombreux micro-organismes, a présenté une phase de dominance par les hydraires, qui s'établissent très rapidement sur les substrats vierges, surtout dans les zones plus abritées de la sédimentation. De nombreuses espèces d'hydraires tendent à diminuer quand la compétition devient plus forte, tandis que d'autres, qui s'installent de préférence sur d'autres organismes qu'elles utilisent comme substrat, caractérisent les communautés plus complexes après plusieurs années d'immersion.

Les bryozoaires montrent eux aussi une bonne capacité à coloniser ces structures dans la première période d'im-

mersion. Mais, au fur et à mesure que la complexité de la communauté s'accroît, on peut observer un changement qualitatif des espèces présentes, en passant d'une absolue prévalence d'espèces encroûtantes à une plus grande importance des espèces érigées, qui indiquent que la compétition pour le substrat est devenue un facteur déterminant.

Les éponges ont généralement besoin d'une période de temps plus longue pour s'installer sur les substrats. Les premières rencontrées sont les éponges calcaires, suivies par les démosponges caractérisées par une forme encroûtante et une croissance horizontale. La croissance en hauteur des éponges a besoin de plus de temps et de la présence d'une communauté bien structurée. La fixation des larves d'éponges, comme celles d'autres organismes benthiques, est fortement favorisée par la rugosité des surfaces des hourdis qui composent les récifs. Ce matériau est par contre incapable de supporter l'établissement des espèces perforantes qui exigent un substrat calcaire.

Les mollusques gastéropodes, et en particulier les opisthobranches, se placent au sommet de certaines chaînes trophiques, en montrant un étroit rapport de prédation avec de nombreuses espèces du benthos sessile (éponges, hydraires, bryozoaires et tuniciers) ; leur présence témoigne d'un bon degré de maturation et de stabilité de la communauté benthique. Sur les récifs artificiels de la réserve on a trouvé environ la moitié des espèces caractérisant les fonds durs naturels voisins. L'évolution des communautés sur les structures artificielles n'est pas encore achevée, mais celles-ci sont déjà assez stables pour soutenir l'action des prédateurs dans la chaîne alimentaire.

Etude des successions biologiques sur les hourdis enlevables

On peut sur des structures conçues pour permettre l'enlèvement périodique d'éléments amovibles disposer de données plus précises.

Au sommet de chacune de trois structures alvéolaires immergées en 1981 à 12, 20 et 30 m de profondeur avaient été fixées des tiges métalliques destinées à soutenir des piles d'hourdis percés, superposés en croix pour offrir le maximum de surface à la colonisation. Un hourdi, à chaque profondeur, a été prélevé chaque année après trois ans d'immersion. Pour chaque hourdi on a étudié la composition spécifique et l'abondance du benthos sur les quatre surfaces horizontales (supérieure externe, supérieure interne, inférieure interne et inférieure externe) et associées entre elles en faces photophiles (orientées vers le haut : supérieure externe et inférieure interne) et en faces sciaphiles (orientées vers le bas : supérieure interne et inférieure externe) (*Fig. 1*) (Olivieri, 1987-88 ; Ballerini, 1988-89).

Sur les faces photophiles on a pu dénombrer 56 espèces d'invertébrés (éponges, cnidaires, bryozoaires,

Photo 2
Colonisation algale
sur le récif
à 12 m de profondeur.



mollusques, annélides polychètes, crustacés et tuniciers), ainsi que 38 espèces d'algues, et après un an d'immersion on observe un nombre d'espèces animales comparable sur les hourdis enlevés des trois structures immergées (13 espèces à -20 m, 15 à -12 et à -30 m). Ce nombre s'accroît très lentement sur la structure à -12 m, en passant respectivement à 17 puis à 19 après deux et trois ans. Les hourdis provenant des deux autres structures donnent au contraire des nombres très différents après deux années d'immersion (22 espèces à -20 m et seulement 7 à -30 m), tandis qu'après trois ans on y trouve à nouveau des valeurs peu supérieures à celles de la première année (17 espèces dans les deux cas). L'explication de ces oscillations n'est pas facile ; seulement on peut mettre en comparaison le faible nombre d'espèces à -30 m après deux ans avec un fort recouvrement algal sur la face supérieure externe et un important dépôt sablo-vaseux sur la face inférieure interne.

Les faces sciaphiles des hourdis montrent une plus grande richesse spécifique en espèces animales par rapport aux faces photophiles, tandis que la composante végétale est naturellement bien plus réduite. On peut en effet compter 88 espèces d'invertébrés, appartenant aux éponges, cnidaires, bryozoaires, mollusques, annélides polychètes, crustacés, échinodermes et tuniciers. En particulier à -12 m on

Photo 4
Une communauté bien structurée est observable
sur les récifs à -30 m après quelques années
(dans la photo: algues rouges, hydraïres,
éponges, tuniciers et polychètes).

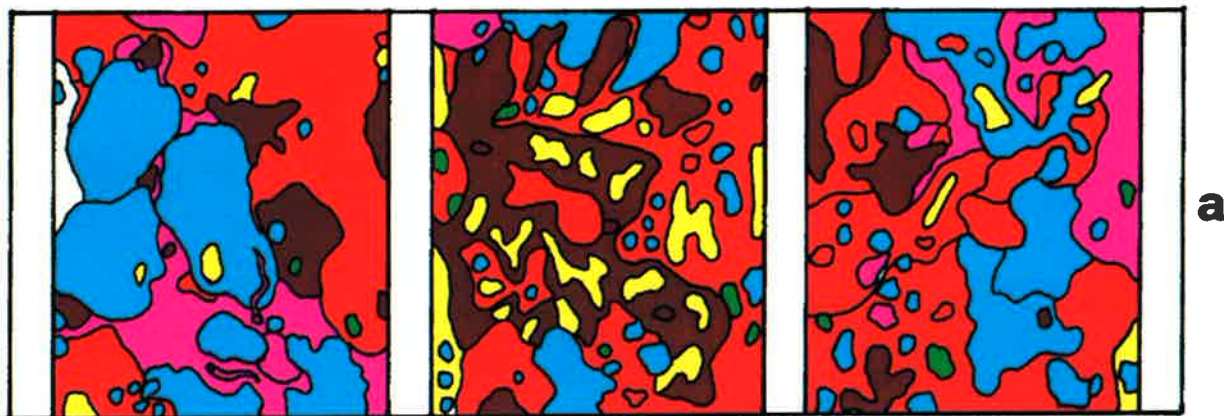


Photo 3
Sur les récifs
immergés à 30 m
de profondeur un
des premiers
faciès à
s'installer est
dominé par le
polychète
Filograna sp.

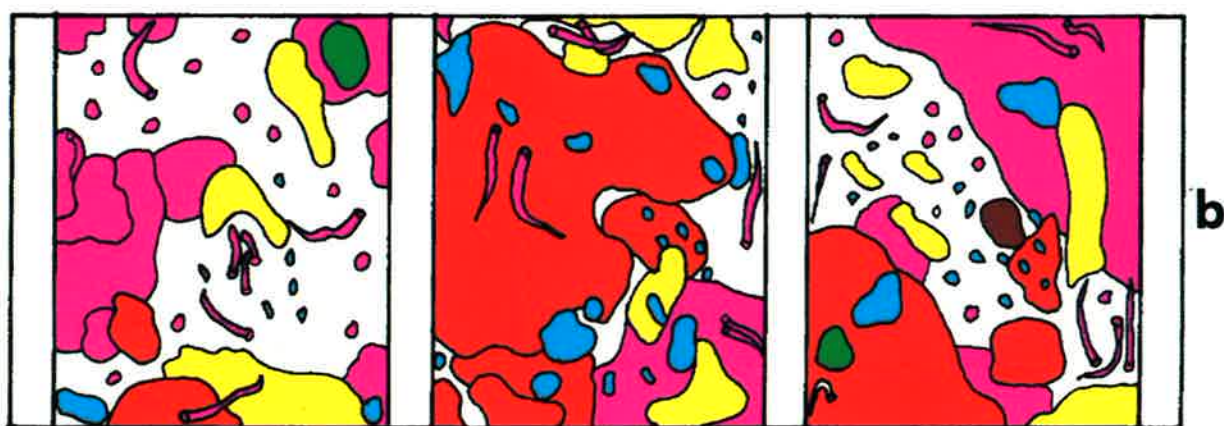


Fig. 1
 Exemples de distribution du benthos animal sur les faces intérieures de deux hourdis enlevés après trois ans d'immersion.

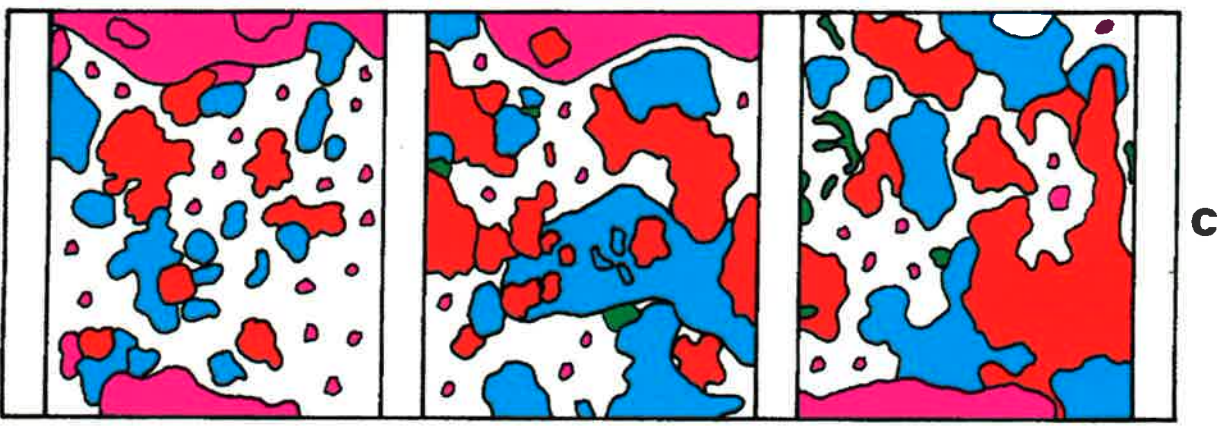
a) -12 m, face supérieure (sciaphile) ;
 b) -30 m, face supérieure (sciaphile) ;
 c) -12 m, face inférieure (photophile) ;
 d) -30 m, face inférieure (photophile). Les principaux taxa animaux sont reconnaissables par la couleur: éponges (rouge), cnidaires (jaune), bryozoaires (azur), polychètes (violet), mollusques (vert), tuniciers (marron).



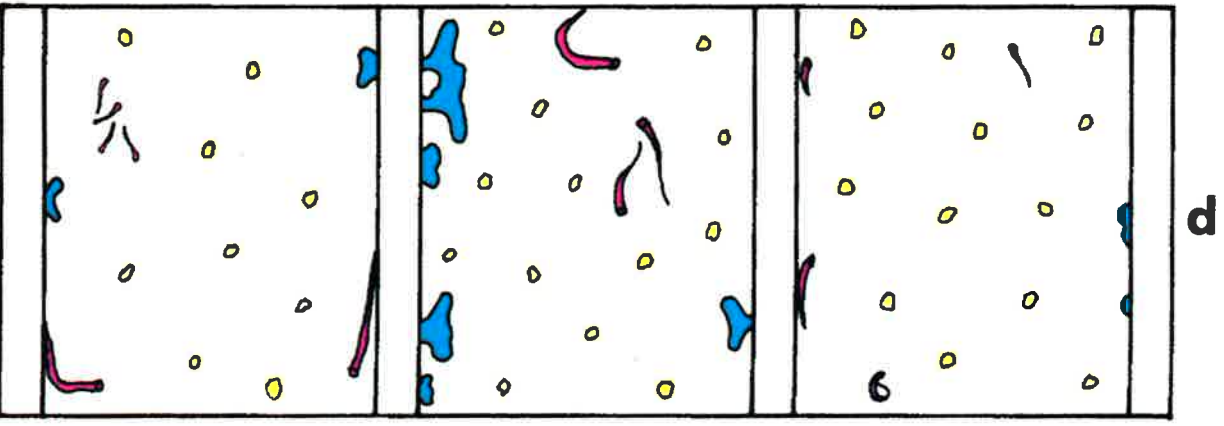
a



b



c



d

observe une lente et graduelle augmentation du nombre d'espèces animales entre 12 et 36 mois d'immersion (respectivement 29, 32 et 36 espèces). Sur les structures plus profondes cette augmentation est plus évidente entre 12 et 24 mois (de 27 à 39 espèces à -20 m et de 17 à 31 à -30 m), suivie par une période de stabilisation à -30 m (29 espèces après trois ans) ou de forte diminution (25 espèces) à -20 m.

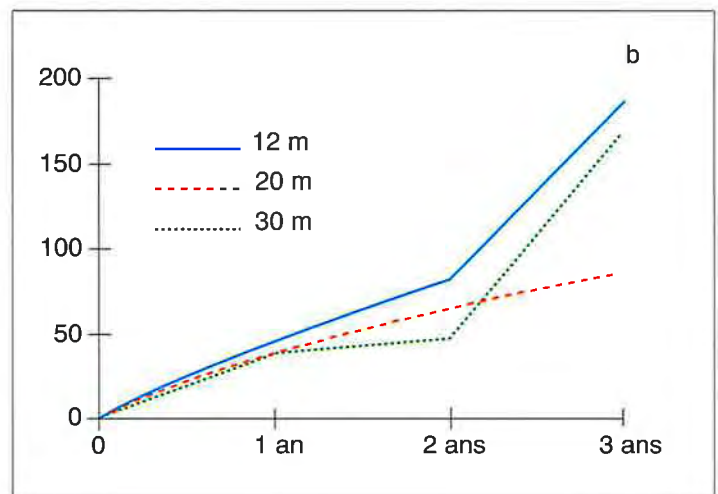
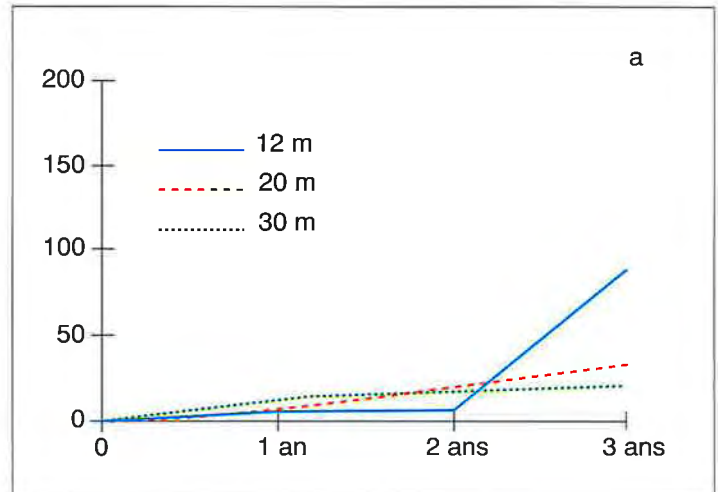
La densité du recouvrement animal est apparue en croissance constante pendant les trois années d'observation (Fig. 2), avec des valeurs plus élevées sur les faces sciaphiles et des différences entre les hourdis prélevés sur les trois structures immergées. En effet la croissance quantitative est généralement très limitée sur les faces photophiles (probablement à cause de la compétition des algues et de l'effet limitant de la sédimentation en profondeur) ; à -12 m il y a une forte augmentation des valeurs entre deux et trois ans d'immersion, à cause surtout de l'importance du recouvrement de l'hydraire *Amphinema rugosum*, espèce épibionte qui trouve dans la forte couverture algale un substrat idéal pour son installation. Ce cnidaire est abondant aussi à -20 m après trois ans, toujours en raison d'une forte couverture algale, mais ici les valeurs du recouvrement animal restent faibles en raison d'une diminution des autres espèces. Sur les faces sciaphiles la croissance quantitative est presque continue, et est plus marquée entre la deuxième et la troisième année sur les structures à -12 et à -30 m. Ces fortes valeurs sont dues principalement à l'importante présence de l'éponge *Crambe crambe* à -12 m et de plusieurs autres espèces d'éponges (*Pleraplysilla spinifera*), d'hydrides (*A. rugosum* et *Eudendrium capillare*) et le polychète (*Serpula vermicularis*) à -30 m. On peut observer dans beaucoup de cas des valeurs bien supérieures à 100%, qui indiquent la présence d'une communauté développée sur plusieurs couches, avec d'importants phénomènes d'épibiose.

Pour ce qui concerne les espèces dominantes sur les hourdis prélevés dans les diverses structures, en considérant les communautés dans leur ensemble (photophile+sciaphile) on constate de fortes différences liées à la profondeur.

Sur les structures immergées à -12 et à -20 m on a pu observer une nette dominance algale pendant les deux premières années d'immersion. En particulier à -12 m les espèces dominantes étaient *Halopteris filicina* après un an et *Dictyota dichotoma* après deux ans ; à -20 m *Falkenbergia rufolanosa* après un an et *H. filicina* après deux ans. Après trois ans d'immersion, par contre, la dominance était animale à -12 m (partagée entre le polychète *Spirobranchus polytrema*, l'éponge *C. crambe*, l'hydraire *Clytia haemispherica* et le bryzoaire *Schizobrachiella sanguinea*), tandis qu'à -20 m on trouvait une codominance d'algues (*H. filicina*) et d'animaux (le polychète *Filograna* sp., l'éponge *C. crambe* et l'hydraire *A. rugosum*). Sur la structure à -30 m, où la lumière pénètre assez faiblement, on

Fig. 2 - Recouvrement animal en pour-cent sur les hourdis enlevés après différentes périodes d'immersion.

a) faces photophiles (supérieure externe et inférieure interne) ;
b) faces sciaphiles (supérieure interne et inférieure externe).



a observé une alternance de dominance algale et animale dans les trois années: après un an la dominance est du polychète *Filograna* sp., après deux ans des algues *Aglaozonia chilosa* et *H. filicina*, après trois ans à nouveau des animaux (l'hydraire *A. rugosum* et le polychète *S. vermicularis*).

La tendance des espèces animales à coloniser les structures d'une manière plus ou moins précoce est résumée au **Tableau 1**. On peut distinguer un certain nombre d'espèces qui préfèrent les substrats plutôt "jeunes" et disparaissent sur les substrats plus "âgés" (par exemple l'hydraire *Bougainvillia ramosa* et les bryozoaires *Tubulipora* sp.1 et *Umbonula ovicellata*), un contingent d'espèces qui s'installent seulement après des périodes d'immersion assez longues (par exemple l'éponge *Terpios fugax*, les hydrides *A. rugosum* et *Eudendrium capillare* et le bryzoaire *Turbicellepora avicularis*). Un autre groupe d'espèces montre une présence assez constante dans le temps sur les

Espèces	12 m		20 m		30 m	
	phot.	sci.	phot.	sci.	phot.	sci.
Eponges						
1 <i>Clathrina</i> sp.			⇐			
2 <i>Crambe crambe</i>	⇒	⇔ ⇒	⇒	⇔ ⇒		
3 <i>Crella</i> sp.						⇒
4 <i>Dysidea</i> sp.						⇒
5 <i>Haplosclerida</i> gen.sp.		⇔ ⇔				⇒
6 <i>Hymedesmia</i> sp. 1		⇒				
7 <i>Hymedesmia</i> sp. 2				⇒		⇒
8 <i>Mycale macilenta</i>					⇒	
9 <i>Phorbas paupertas</i>	⇒			*		
10 <i>Phorbas tenacior</i>					⇒	
11 <i>Pleraplysilla spinifera</i>						⇒
12 <i>Sycon</i> sp.	*	⇔		⇔	⇔	*
13 <i>Terpios fugax</i>	⇒				⇒	⇒
14 <i>Stylopus dujardini</i>			⇒		⇒	
Cnidaires						
15 <i>Aglaophenia</i> sp.		⇒		⇒		
16 <i>Amphinema rugosum</i>	⇒		⇒		⇒	⇒
17 <i>Bougainvillia ramosa</i>		⇔	*	⇔	⇔	⇔
18 <i>Caryophyllia smithi</i>				⇔ ⇔		⇔ ⇔
19 <i>Clytia haemisphaerica</i>	⇔ ⇔		*		⇔	⇔
20 <i>Clytia linearis</i>		⇔ ⇔		⇔	*	
21 <i>Clytia paulensis</i>		⇒			⇔	⇔
22 <i>Eudendrium capillare</i>		⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
23 <i>Halecium mediterraneum</i>		⇒				
24 <i>Obelia bidentata</i>						⇒
25 <i>Obelia dichotoma</i>			⇒	*		⇔
26 <i>Sertularella ellisi</i>		⇒	*	*		*
Bryozoaires						
27 <i>Caberea boryi</i>	⇔	⇔	⇒	⇔	*	⇔
28 <i>Callopora dumerilii</i>						⇔
29 <i>Cardioecia watersi</i>		⇔		⇔ ⇔		⇔
30 <i>Crisia</i> sp.				*	⇔	
31 <i>Escharina vulgaris</i>		⇔		⇔		
32 <i>Nolella dilatata</i>		⇔				
33 <i>Nolella gigantea</i>	⇔ ⇔	*	⇔ ⇔	⇔		
34 <i>Pentapora fascialis</i>		⇒				*
35 <i>Plagioecia sarniensis</i>		*		⇔		*
36 <i>Rhynchozoon</i> sp. 2 (sensu Hayward)				⇔		*
37 <i>Savignyella lafontii</i>		⇔				
38 <i>Schizobrachiella sanguinea</i>	⇔ ⇔	⇔ ⇔	⇔ ⇔	⇔	*	⇒
39 <i>Schizomavella auriculata</i>	⇔	⇔		*	⇒	*
40 <i>Schizomavella linearis</i>		⇔		⇔		⇒
41 <i>Schizoporella longirostris</i>	⇔ ⇔	⇔	⇔ ⇔	⇔ ⇔		⇔
42 <i>Sertella harmeri</i>			⇔	⇔ ⇔	⇒	⇔
43 <i>Sertella septentrionalis</i>		⇔		⇔		
44 <i>Tubulipora plumosa</i>		⇔		⇔		
45 <i>Tubulipora</i> sp. 1	⇔		⇔		⇔	
46 <i>Tubulipora</i> sp. 2		⇔				⇔
47 <i>Turbicellepora avicularis</i>	⇒	⇒		⇔		
48 <i>Umbonula oviceolata</i>	*	⇔	⇔	⇔		
Annélides Polychètes						
49 <i>Apomatus similis</i>		⇒				
50 <i>Filograna</i> sp.	⇒	⇔ ⇔	⇔	⇔		⇔ ⇔
51 <i>Hydroides pseudouncinata</i>						⇒
52 <i>Josephella marenzelleri</i>	*	⇔			⇔	
53 <i>Pomatoceros triqueter</i>	⇔ ⇔	⇔	⇔	⇔	⇔	⇔ ⇔
54 <i>Protula</i> sp.		⇔		⇔		*
55 <i>Serpula concharum</i>		⇔ ⇔	⇔	⇔	⇔ ⇔	*
56 <i>Serpula vermicularis</i>	⇒	⇔	⇔	⇔ ⇔	⇔	⇔ ⇔
57 <i>Serpula</i> sp.	⇒		⇔ ⇔		⇔	
58 <i>Spirobranchus polytrema</i>	⇔	⇔ ⇔	⇔ ⇔	⇔	⇔	⇔ ⇔
59 <i>Vermiliopsis infundibulum</i>						⇒
Mollusques						
60 <i>Anomia ephippium</i>	⇔ ⇔	⇔ ⇔		⇔	⇔	⇔ ⇔
61 <i>Bittium reticulatum</i>	*				⇔	
62 <i>Chama griphoides</i>	*	⇒		⇔	⇔	⇒
63 <i>Spondylus gaederopus</i>		⇒		⇔		
64 <i>Vermetidae</i> gen. sp.	⇔	*	⇔	⇔		
Tuniciers						
65 <i>Didemnum candidum</i>	⇔	⇔ ⇔		⇔		⇒
66 <i>Halocynthia papillosa</i>		⇔		⇔		⇒
67 <i>Pyura squamulosa</i>		⇒		⇔ ⇔		⇔

Tableau 1 - Caractéristiques d'installation des espèces les plus représentatives. La liste comprend les espèces relevées sur les hourdis enlevables avec un recouvrement d'au moins 1% sur une face, ou sur au moins deux faces. Pour chaque espèce est indiquée sa tendance à s'installer précocement (⇐), tardivement (⇒) ou à être constamment présent (⇔) sur les surfaces photophiles ou sciaphiles aux trois profondeurs. Le double signe (⇐ ⇔ ou ⇔ ⇐) indique une espèce constante qui va respectivement diminuant ou augmentant quantitativement dans le temps. Le signe * indique une tendance peu claire ou une présence sporadique.

hourdis (par exemple le bryzoaire *Schizobrachiella sanguinea* et les polychètes *Filograna* sp. et *S. polytrema*).

A ce stade des investigations il nous est permis d'affirmer que les peuplements qui se sont fixés sur les récifs artificiels évoluent encore d'une manière lente et graduelle, avec des différences dues aux situations particulières qui se produisent dans les structures, en fonction du développement algal, de l'effet de la sédimentation et de la distance de la côte rocheuse. La colonisation paraît avancer selon ce que les écologistes ont défini par un "modèle facilitatif" (Dean & Hurd, 1980), c'est à dire que l'installation de certaines espèces a besoin que d'autres espèces, plus "précoces", leur aient préparé le terrain ; le maintien de ces dernières sera à son tour défavorisé par l'installation des espèces "tardives". Ce mécanisme correspond à une succession temporelle des espèces, qui est plus évidente dans les premières années d'immersion des récifs. La présence d'un certain contingent d'espèces permanentes sur les substrats "jeunes" et "âgés" indique que certaines situations peuvent déboucher sur un "modèle inhibitoire", dans lequel la structure de la communauté est déterminée par les premières espèces qui s'installent sur les substrats, et qui empêchent que d'autres espèces viennent s'y installer à leur tour.

En conclusion, les récifs artificiels de la Réserve de Monaco, ont démontré qu'ils étaient un excellent support pour l'étude expérimentale de la colonisation du benthos marin et pour la création de zones d'abri et de concentration de poissons, mollusques et crustacés sur des fonds pas trop riches en

Photo 5

Les rascasses aiment beaucoup les cavités des récifs enrichies par la communauté benthique (-30 m).



refuges naturels (ils répondent donc bien aux buts poursuivis). Par contre, ils ne semblent pas pouvoir jouer un rôle pour accroître le rendement de la pêche du point de vue commercial. Dans la mer de Monaco, et en général en mer Ligure occidentale, la proximité des hauts-fonds à la côte, due à l'é étroitesse du plateau continental, empêche une forte concentration des matières organiques sur les bas-fonds, qui est en général la base du développement dans les récifs des hautes biomasses animales exploitables par la pêche commerciale.

Bibliographie.

- BALDUZZI A., S. BELLONI, F. BOERO, R. CATTANEO, M. PANSINI & R. PRONZATO, 1982. Prime osservazioni sulle barriere artificiali della Riserva sottomarina di Monaco. *Naturalista Siciliano*, Ser. 4, 6 suppl.(3): 601-605.
- BALDUZZI A., F. BOERO, R. CATTANEO, M. PANSINI & R. PRONZATO, 1985. Etude du benthos sur les structures immergées dans la Réserve de Monaco. *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, n° spécial 4: 163-165.
- BALDUZZI A., F. BOERO, R. CATTANEO-VIETTI, M. PANSINI & R. PRONZATO, 1986. Long-term photographic records from the artificial reefs of Monaco (1980-1985). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 30(2): 264.
- BALLERINI F., 1988-89. Primi anni di insediamento delle comunità fotofile sulle strutture artificiali della Riserva sottomarina di Monaco (1981-1984). Università di Genova, tesi di laurea in Scienze Biologiche: 1-120.
- BARNES H., 1955. Surface roughness and the settlement of *Balanus balanoides*. *Arch. Soc. Zool. Bot. Fenn.*, Vanamo, 10(2): 164-168.
- BOERO F., 1982. The benthic populations of the submarine reserve of Monaco: 2. Hydroids. *Journée Etud. Récifs artif. et Maricult. suspend.*, Cannes, C.I.E.S.M.: 85-86.
- BOMBACE G., 1989. Artificial reefs in the Mediterranean Sea. *Bull. mar. sci.*, 44(2): 1023-1042.
- CATTANEO R., 1982. The benthic populations of the submarine reserve of Monaco: 3. Opisthobranch Molluscs. *Journée Etud. Récifs artif. et Maricult. suspend.*, Cannes, C.I.E.S.M.: 87-88.
- DEAN T.A. & HURD L.E., 1980. Development in an estuarine fouling community: the influence of early colonists on later arrivals. *Oecologia*, 46: 295-301.
- DOUMENGE F. Le barriere artificiali nel contesto della maricoltura mondiale. *Atti del convegno "Le barriere artificiali nella gestione razionale della fascia costiera marina"*, Loano 8-9 luglio 1994. (sous presse).
- HUVÉ, 1953. Etude expérimentale du peuplement de surfaces rocheuses immergées en Méditerranée occidentale. *C.r. hebdom. Séanc. Acad. Sci.*, Paris, 236: 419-422.
- MCARTHUR R.H. & WILSON E.O., 1967. The theory of island biogeography. Princeton, University Press.
- MEIER M.H., 1989. A debate on responsible artificial reef development. Part I. In support of public and private sector artificial reef building *Bull. Mar. Sci.*, 44(2): 1051-1054.
- OLIVIERI M., 1987-88. Primi anni di insediamento delle comunità sciafile sulle strutture artificiali della Riserva sottomarina di Monaco (1981-1984). Università di Genova, tesi di laurea in Scienze Biologiche: 1-109.
- PANSINI M., 1982. Les peuplements benthiques de la réserve sous-marine de Monaco: 1. Spongiaires. *Journée Etud. Récifs artif. et Maricult. suspend.*, Cannes, C.I.E.S.M.: 83-84.
- PANSINI M. & R. PRONZATO, 1981. Etude des Spongiaires des substrats artificiels immergés durant quatre ans. *Vie milieu*, 31(1): 77-82.
- RIGGIO & PROVENZANO, 1982. Le prime barriere artificiali in Sicilia. *Ricerche e progettazioni. Naturalista Siciliano*, Ser. 4, 6 suppl.(3): 627-659.
- WILSON O.T., 1925. Some experimental observations of marine algal succession. *Ecology*, 6: 302.



VERS UNE VISITE DE LA RÉSERVE SOUS-MARINE DE MONACO EN IMAGES DE SYNTHÈSE ?

par

Jean de VAUGELAS⁽¹⁾ et AquaScience-UNSA⁽²⁾

Introduction

Tous les articles publiés dans cet ouvrage vous convaincront aisément : la Réserve Sous-Marine de Monaco est belle, bien entretenue et choyée, des expériences passionnantes s'y déroulent, des spécialistes dévoués y consacrent temps et compétences. Bien, tout cela. Très bien même. Mais, ce monument, quand le visite-t-on ? Nombreux sont les amateurs d'espèces et d'espaces protégés qui aimeraient "faire un tour" dans cette réserve sous-marine, véritable petit sanctuaire de la vie marine méditerranéenne.

La réponse à ce désir du public de mieux connaître le patrimoine naturel monégasque a été de multiplier les occasions de populariser la Réserve Sous-Marine, par tous les moyens de communication appropriés : photos, films, conférences, congrès scientifiques, expositions, etc. Toutes ces actions, menées depuis des années par M. Debernardi et son équipe, ont contribué au renom de cette Réserve Sous-Marine, sans doute la mieux étudiée et la mieux protégée de toutes celles du littoral de la Côte d'Azur.

Cependant, on se prend à rêver à plus ... Le caractère d'inviolabilité étant ce qui définit un sanctuaire, l'imagination humaine s'évertue à essayer de concilier l'impossible : rendre ce sanctuaire accessible à tous, tout en le préservant. Les questions fusent : et si l'on pouvait se balader sans rien toucher, sans abîmer ? Et si l'on pouvait pénétrer au coeur même de ces récifs artificiels dont chaque anfractuosité héberge une créature étrange et fascinante ? Et si ... ? Et si ... ?

A l'aube d'une révolution technologique qui sait faire revivre les dinosaures (*Jurassic Park*), inventer des androïdes plus vrais que nature (*Terminator*) ou créer des espaces cybernétiques (*Festival Imagina de Monaco*), il semble que cette Réserve Sous-Marine nous pose un défi : organiser une visite virtuelle ! Si nous ne pouvons accéder

au réel, recréons-le ! Recréer le réel, c'est le réinventer de toute pièce, c'est créer un monde "virtuel".

Virtuel, elle. *adj.* (1505, rare av. 2^{ème} moitié du XVII^{ème} ; lat. scolast. *virtualis*, du latin *virtus* "vertu"). *Philo.* ou *littér.* "Qui n'est qu'en puissance, qui est à l'état de simple possibilité dans un être réel", ou (plus cour.) "Qui a en soi toutes les conditions essentielles à sa réalisation".

Un monde virtuel doit donc avoir en lui toutes les conditions essentielles à sa perception par un visiteur, pour peu que celui-ci soit muni du sésame technologique indispensable. Pour que ce visiteur puisse se déplacer dans cet environnement virtuel (ici la Réserve Sous-Marine) il faut :

- 1) réaliser une maquette informatique,
- 2) créer au mieux l'illusion de la réalité, visuelle et sonore,
- 3) équiper le visiteur de lunettes et de gants spéciaux lui permettant de se déplacer dans cet espace artificiel.

C'est cette idée, ou tout au moins l'embryon de celle-ci, qui a été proposée par l'association *AquaScience-UNSA*, club de plongée scientifique de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, aux responsables de la Réserve Sous-Marine de Monaco.

1) Maître de Conférences au Laboratoire Environnement Marin de l'Université de Nice-Sophia Antipolis et Président d'AquaScience-UNSA.

2) Club de Plongée Scientifique de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 02. Tél. (33) 93 82 39 57 ; Fax. (33) 93 52 99 87 ; E-Mail : vaugelas@naxos.unice.fr

Réaliser une “maquette informatique” ...

Une maquette est une représentation fidèle d'un objet, en réduction. Plutôt que d'employer du bois et du plâtre comme dans le maquettisme traditionnel, il est possible de réaliser une “maquette informatique” directement dans l'ordinateur, à l'aide de logiciels d'images de synthèse. On obtient ainsi un double virtuel du sujet. C'est ainsi que sont conçues et testées, depuis de nombreuses années, les pièces d'une automobile ou d'un avion, bien avant leur réalisation par des machines outils.

Une fois l'objet créé, le logiciel permet de le faire pivoter dans l'espace, de l'observer sous toutes ses faces, de le regarder de près ou de loin, de le photographier et même de filmer ses mouvements et déplacements. L'assemblage de nombreux objets permet de reconstituer des scènes et plusieurs scènes de véritables milieux. Les mondes “virtuels” sont donc des reconstitutions complètes, en images de synthèse, de milieux complexes.

Créer l'illusion de la réalité ...

Pour être réaliste, le monde “froid” des objets créés dans l'ordinateur doit être “habillé” : couleurs, textures, transparences, jeux de lumière contribuent à donner l'illusion de la réalité. Les meilleurs artistes et techniciens de ces effets spéciaux produisent pour le cinéma des images plus vraies que les originales, partout où il serait impossible d'utiliser des acteurs réels (reconstitution de mondes disparus, évolution dans des environnements dangereux, création d'êtres aux pouvoirs surnaturels, etc.). D'année en année, les frontières du réalisme sont repoussées.

Des étudiants de l'ESSI, une école d'ingénieurs située à Sophia Antipolis, travaillent à la mise au point d'un système de transfert automatique des images vidéos sur la structure tri-dimensionnelle de la maquette informatique (projet “*Virtual Diver*”). Ceci permettra de recréer en temps réel l'aspect exact du paysage sous-marin, sans avoir recours à des trames et des textures, d'un aspect froid et peu réaliste.

Equiper le visiteur ...

Le grand intérêt des “mondes virtuels” est qu'ils peuvent, moyennant l'utilisation de casques et de gants spéciaux, donner à l'utilisateur l'impression qu'il évolue réellement au sein de ce monde, reconstitué de façon réaliste. Le visiteur a le choix de son parcours, il peut interagir avec le milieu qu'il visite, il se déplace à son gré dans un univers visuel et sonore aussi proche que possible de la réalité. Il pourra “visiter” ainsi la Réserve Sous-Marine de Monaco,

sans déranger son fragile équilibre, et sans même se mouiller. Il participera avec tous ses sens à une aventure ludique, ce qui n'exclue pas l'accès à une connaissance réelle (des commentaires intelligents peuvent accompagner la visite, préciser tel ou tel point, et ce de manière totalement interactive).

Mais, redescendons sur terre, ce projet de visite virtuelle de la Réserve Sous-Marine de Monaco n'en est qu'à ses premiers balbutiements. L'enfant est fragile et on ne sait pas encore s'il survivra ...

Un récif alvéolaire comme point de départ...

La première étape, comme nous l'avons vu, consiste à réaliser la maquette informatique, de la Réserve Sous-Marine et de ses récifs. Pour commencer par le plus simple, nous avons choisi un type de récif très commun dans la Réserve Sous-Marine, le type “hourdi alvéolaire”.

Ce type de récif consiste en un empilement de parpaings sur plusieurs faces avec délimitation d'un puits central (*Planche 1 A*). Le récif pris comme modèle est situé à une profondeur de 14 m, le long du flanc sud-est de la jetée du Sporting (*Planche 1 B*).

La première phase du projet a consisté à relever le plan précis de ce récif, en se basant sur des observations et des mesures en plongée et à réaliser une couverture photographique et vidéo complète (*Planche 1 C*).

Ensuite, un deuxième type de récif “hourdi alvéolaire”, situé à 8 m de profondeur devant les jetées du Larvotto, a été décrit et positionné dans la maquette de la Réserve Sous-Marine (*Planche 1 D*). Celle-ci, encore très sommaire à ce stade puisque les différents milieux (herbier, enrochements, sédiment, etc.) y sont juste esquissés, est cependant suffisamment précise pour pouvoir positionner les récifs au fur et à mesure de leur description (*Planche 1 B*).

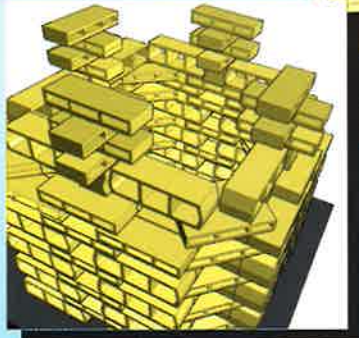
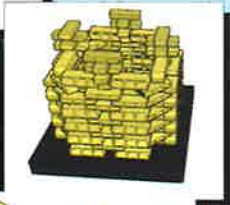
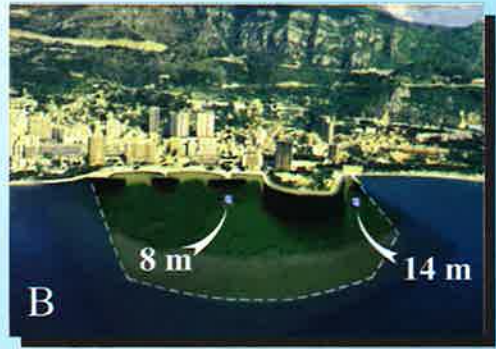
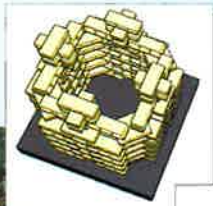
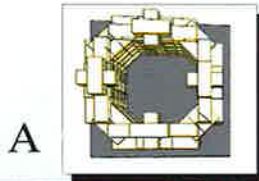
Les autres modèles de récifs (pyramidal, thalame, etc.) sont en cours de description.

Un projet, plusieurs buts ...

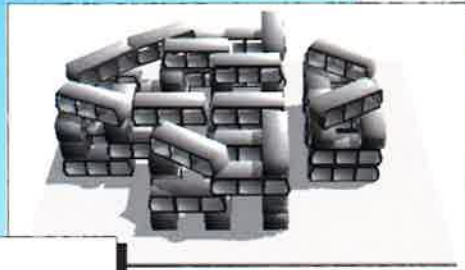
On l'a dit plus haut, l'objectif final de ce projet serait de produire une maquette informatique tri-dimensionnelle de toute la Réserve Sous-Marine et de permettre la visite de celle-ci grâce aux images de synthèse et aux mondes virtuels. Mais, plus prosaïquement et à plus court terme, trois autres buts sont visés :

– fournir aux biologistes qui suivent depuis des années l'évolution de ces récifs un support visuel de référence,

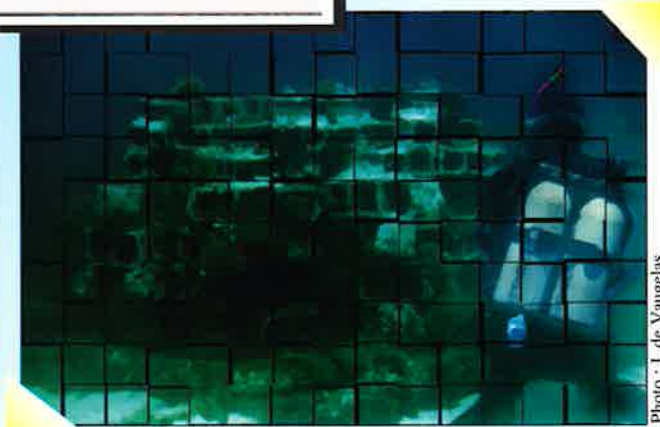
**MODELISATION EN IMAGES DE SYNTHÈSE
DES RECIFS ARTIFICIELS DE LA
RESERVE DE MONACO**



Récif type "hourdi alvéolaire" (prof. 14 m)



Récif type "hourdi alvéolaire" (prof. 8 m)



– donner aux animateurs de la Réserve Sous-Marine des vues originales de leurs récifs, pour illustrer leurs articles ou leurs conférences,
– proposer, pour les besoins de communication et de valorisation, une approche novatrice qui situe la Réserve Sous-Marine de Monaco dans le prolongement de la vitrine technologique qu’est devenu, année après année, le festival international des images de synthèse de Monaco, *IMAGINA*.

Notre souhait serait que cet article, écrit à l’occasion des 20 ans de la Réserve Sous-Marine, établisse une transition entre le passé (la création du sanctuaire), le présent (la préservation de cet espace fragile) et le futur (la connaissance sans les nuisances).

Des sponsors et mécènes partageant notre vision future permettront peut être un jour à tous de se promener librement dans la Réserve Sous-Marine de Monaco.

Remerciements

Ce projet n’aurait pu voir le jour sans le soutien actif de MM. Debernardi et Allemand. Qu’ils en soient ici remerciés, ainsi que l’Association Monégasque de Protection de la Nature qui a assuré le financement de cette étude préliminaire. Nous tenons aussi à remercier les plongeurs de la Réserve Sous-Marine pour leur aide sur le terrain ainsi que les photographes d’AquaScience, David Luquet et Grigor Obolensky pour leurs superbes photographies. La possibilité d’utiliser le matériel informatique du Laboratoire Environnement Marin Littoral (Prof. A. Meinesz) et du Laboratoire de Mathématiques (J.-M. Lacroix) de l’Université de Nice-Sophia Antipolis a été déterminante pour mener à bien cette première phase du projet. Le projet “Virtual Diver” de l’ESSI est animé par le Prof. Peter Sander, que nous tenons également à remercier ici.

EXPÉRIENCE DE REPEUPLEMENT EN OURSINS COMESTIBLES “*PARACENTROTUS LIVIDUS*”

par
Gilles GRAS ⁽¹⁾

En 1982, alors tout jeune étudiant en deuxième année de DEUG de Biologie des Organismes et des Populations, j'ai découvert la plongée sous-marine dans les eaux claires de l'archipel du Frioul à Marseille.

C'est cette découverte qui a guidé mes 6 années universitaires qui ont suivies et pendant lesquelles je me suis petit à petit spécialisé en Biologie Marine. Par la suite, d'autres événements ont confirmé ce besoin d'étudier et de protéger le milieu marin.

Le cours de Biologie Marine dispensé par Madame Marie-Berthe Régis durant mon année de licence à l'Université de St Jérôme n'a fait qu'accentuer cette passion, accentuée encore par sa magnifique collection d'oursins du monde entier.

L'année de maîtrise d'Océanographie à la Station Marine d'Endoume, fût décisive car essentielle pour le choix des thèmes de recherche des années de troisième cycle qui allaient suivre.

Déjà, amateur averti d'oursins de part leurs qualités gustatives, j'étais, en plongée attiré par ces animaux aux couleurs et biotopes si variés, alliant simplicité et sophistication extrême. Ce fût donc avec une grande fierté que je rejoins l'équipe de Madame Marie-Berthe Régis dans le Centre d'Etude des Ressources Animales Marines dirigé par le professeur Nardo Vicente pour y démarrer mes recherches sur les stocks et l'exploitation de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*.

C'est dans ce cadre que pendant trois ans (1985 à 1988) j'ai eu le privilège de travailler avec l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature, dans la réserve marine de Monaco pour y effectuer des expériences de repeuplement et de réimplantation d'oursins.

Généralités

Les oursins appartiennent, dans le règne animal, à l'embranchement des Echinodermes (*Ekhinos* : hérisson et *derma* : peau) comprenant des formes marines à symétrie rayonnée, dont les téguments renferment des plaques calcaires dermiques. Connus depuis l'ère primaire, les échinodermes sont actuellement représentés par cinq classes : Crinoïdes, Astérides, Ophiurides, Echinides, Holoturides.

Les oursins sont couverts de piquants articulés qui leur ont valu les noms vulgaires de “châtaigne de mer” ou de “hérisson de mer”.

On distingue les oursins réguliers à test de forme circulaire et les oursins irréguliers.

Introduction

Les Français ne sont pas seulement des mangeurs de grenouilles, ils sont aussi les premiers consommateurs d'oursins d'Europe. L'espèce *Paracentrotus lividus* est l'une des espèces comestibles des côtes méditerranéennes mais reste l'espèce la plus appréciée par les gastronomes.

La pêche de l'oursin en Méditerranée remonte à l'Antiquité, où, les bourgeois romains appréciaient déjà la finesse de ce délicieux fruit de mer. Aristote lui-même a associé son nom à une partie noble de l'anatomie de l'oursin : “la lanterne d'Aristote”.

Cette pêche s'est perpétuée et a vu ses techniques se perfectionner jusqu'à nos jours. Depuis 2000 ans, il est le *caviar* de la Méditerranée ; aujourd'hui, il risque de devenir la perle rare de la Provence et de la Côte d'Azur. L'oursin comestible est en danger.

(1) Université de St Jérôme - Marseille.

Réglementation

La durée de la saison de pêche est très stricte. La réglementation générale autorise la pêche du 1^{er} septembre au 30 avril. En fait, elle est beaucoup plus complexe et variable d'un quartier maritime à l'autre.

Pendant les périodes autorisées, la pêche commerciale est possible tous les jours de la semaine, du lever du soleil jusqu'à midi, sauf le dimanche (quartier maritime de Marseille par exemple). Cependant, quelques dimanches très particuliers échappent à cette règle et notamment pendant les fêtes de Noël ou durant le "mois de l'oursin" à Carry le Rouet.

Pour le public, la réglementation est bien connue, qui ne connaît pas la règle des mois en "bre". Pourtant, des myriades de plaisanciers bravent les interdictions durant la période estivale et ramassent des quantités considérables d'oursins.

En ce qui concerne les lieux de pêche, des règles locales propres à chaque quartier maritime régissent le littoral : zones insalubres, zones à pollution industrielle, zones de réserve marine, zones d'activités particulières, etc... Se renseigner avant toute pêche est indispensable, pour éviter de se retrouver en situation d'infraction, pour respecter les zones marines protégées et pour s'assurer de produits de bonne qualité.

Il faut rappeler que la pêche en apnée reste le seul moyen autorisé pour les plaisanciers.

Méthode de pêche professionnelle

Une dérogation dans certains quartiers maritimes a autorisé la pêche des oursins à l'aide du scaphandre autonome, remplaçant ainsi la pêche traditionnelle à "la grappe". Celle-ci avait le très grand avantage de permettre un repeuplement automatique, car la profondeur maximale que pouvait atteindre le pêcheur et sa perche était de 6 mètres, par mer très calme. Les oursins se trouvant au dessous étaient ainsi épargnés, et pouvaient continuer à se reproduire.

La pêche actuelle, en scaphandre autonome, permet aux pêcheurs de ratisser complètement une zone de plusieurs centaines de mètres carrés et de tout prélever. Toutefois, la grappe, sorte de crochet à trois branches favorise le calibrage des oursins, ce qui permet en principe au pêcheur consciencieux de ne choisir que des oursins de bonne taille (environ cinquante millimètres de diamètre sans les piquants).

Le temps passé en plongée est très long : trois à quatre heures pendant lesquelles huit mètres cubes d'air sont parfois consommés par le plongeur. La très grande distance à couvrir et la lourde monaguettes (poche en filet qui permet le transport et qui peut contenir jusqu'à trente douzaines d'oursins) nécessitent une parfaite condition physique.

Sur chaque bateau, l'équipage est constitué de plongeurs et d'un matelot qui reste à bord et qui s'occupe de récupérer les monaguettes pleines, du conditionnement des oursins en poubelles ou cagettes et de la sécurité des plongeurs.

De manière générale, les équipages travaillent à la commande, c'est-à-dire que les quantités pêchées sont commandées par avance et destinées aux écaillers et restaurants. La pêche est conditionnée sur le bateau et livrée immédiatement après le retour au port.

Il n'y a donc pas de pesée officielle des pêches ; les statistiques établies par les Affaires Maritimes sont donc approximatives et peu fiables.

L'Etat des stocks depuis 1985

Les oursins de Méditerranée sont menacés. Une maladie infectieuse communément appelée "maladie des oursins chauves" et qui entraîne la chute des piquants, la perforation du test puis la mort de l'animal a ravagé la population d'oursins comestibles pendant les années 80.

Cette maladie aujourd'hui disparue mais dont l'impact a été très important, ne suffit pas à elle seule, à expliquer la quasi disparition de l'espèce dans de nombreuses zones des côtes françaises. Il faut aussi accuser la pollution des eaux et la destruction de l'équilibre littoral et des herbiers de posidonies par les constructions de toutes sortes sur le domaine marin (marinas, ports de plaisance, etc..).

Enfin, il faut évoquer la pression de pêche qui se fait de plus en plus forte. Les braconniers qui prélèvent des quantités importantes d'oursins, les plaisanciers de plus en plus nombreux durant la période estivale qui ramassent tout, y compris les juvéniles et les pêcheurs professionnels qui surexploitent les stocks naturels rendent l'avenir de l'espèce très incertain.

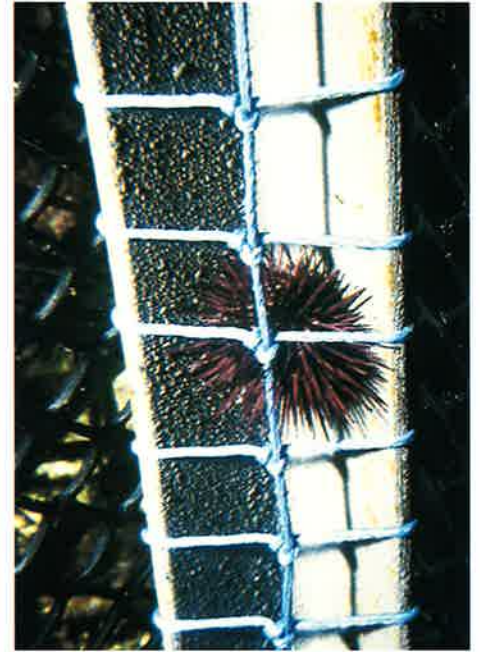
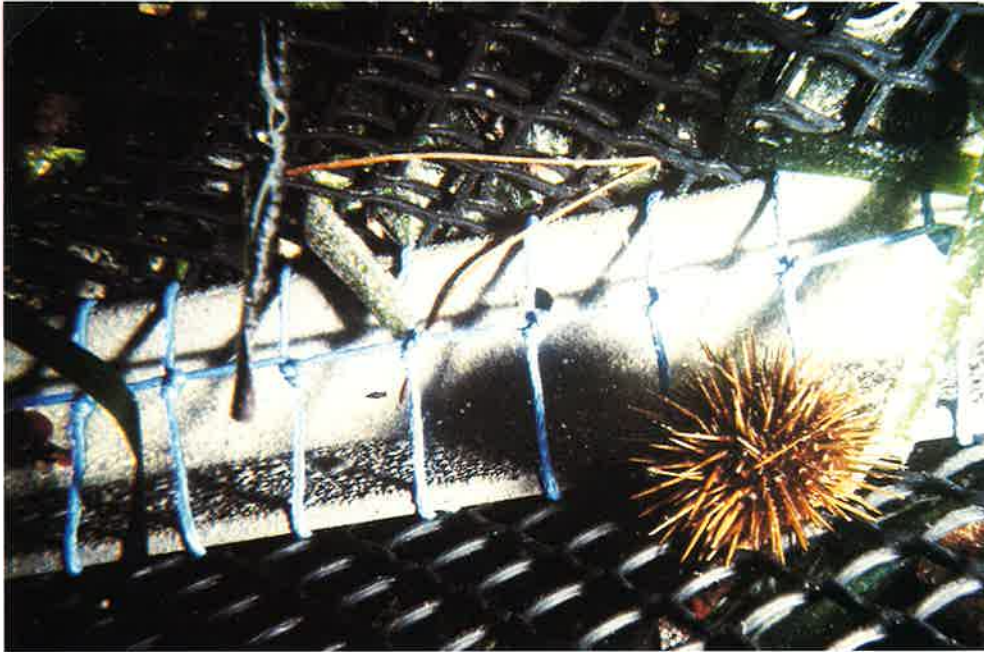
"Les oursins de Méditerranée sont en péril".

Devant ce constat de la disparition de l'oursin comestible, il s'est produit une prise de conscience très forte des scientifiques, des collectivités locales, des Affaires Maritimes et des pêcheurs professionnels pour arriver à une meilleure gestion des stocks.

J'ai ainsi été amené à entreprendre une étude des stocks de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans le golfe de Marseille pendant plus de trois ans, afin d'évaluer l'évolution de cette ressource.

Parallèlement, une étude identique a été menée dans le golfe de St Tropez, dans un secteur compris entre les Sardinaux (Ste Maxime) et Cap Cartaya (Ramatuella).

Ces 2 études avaient pour but de recenser les populations de *Paracentrotus lividus*, de déterminer les habitats préférentiels et de découvrir les nurseries naturelles : autrement dit, les endroits où les larves, amenées par les courants, vont dans le plancton se métamorphoser puis se fixer sur le sol pour y mener une vie benthique et s'y développer.



*Mission des 18 et 19 mars 1986
Paracentrotus lividus dans les cages
de la Réserve de Monaco.*



*Mission
du 18 mars 1986
Paracentrotus lividus
lors de leur
mise en place
dans les cages.*

Photos PHILIPPE DELMAS

Ces études ont permis de réaliser de véritables cartographies des densités de populations.

L'Expérience de repeuplement à Monaco en 1987

Des expériences de repeuplement ont été effectuées à Marseille après la campagne de pêche par les pêcheurs professionnels, les Affaires Maritimes et les scientifiques afin de renouveler les stocks dans les zones exploitées.

Au Frioul et sur la Côte Bleue, 300 000 jeunes oursins prélevés dans un secteur du massif des calanques, où la pêche est interdite en raison de l'insalubrité des eaux, ont été transportés vers des zones dépeuplées.

Les scientifiques ont pu suivre leur évolution, leur taux de survie et leur dispersion autour du site de repeuplement. Cette bataille du repeuplement en oursins dans la région marseillaise nous a amenés, en 1987, à effectuer la même expérience mais dans une zone non exploitée par la pêche : la Réserve de Monaco.

Paracentrotus lividus



Photo J.M. MILLE

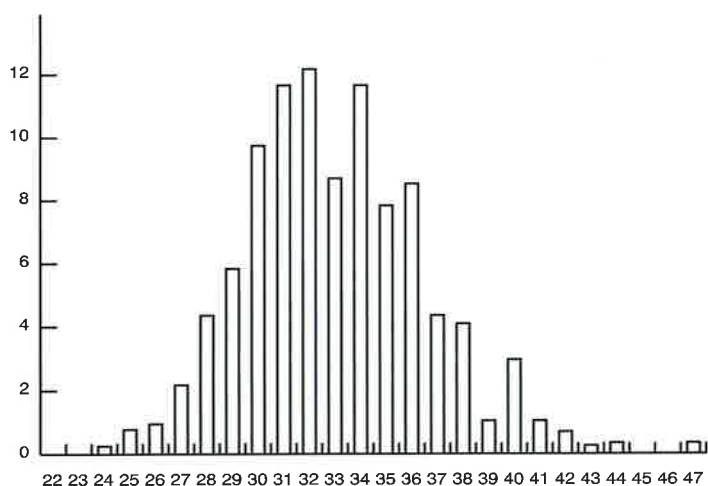


Figure 1
structure
de la population totale.

Site et méthode de prélèvement

Nous avons choisi le site de Marseille-Veyre comme lieu de prélèvement car à trois mètres, les densités de *Paracentrotus lividus* observées étaient de 50-55 individus par mètre carré, et à 6 mètres de 30-35 individus par mètre carré, permettant ainsi une collecte facile et rapide.

La pêche a été réalisée en scaphandre autonome par des pêcheurs professionnels qui allient rapidité et dextérité. En effet, il est important de ne pas blesser les animaux prélevés.

Transfert à Monaco

Quatre heures après la fin de la pêche, les oursins ont été transportés à Monaco et avant de les immerger, ils ont été mesurés (2000 environ) afin de connaître la structure de

la population et de pouvoir suivre, ultérieurement, la croissance dans ce nouveau site "d'accueil".

Nous disposons de 2 bateaux : "la Posidonie" qui a assuré le transport des bacs contenant les oursins vers les sites de rejet, et un zodiac pour la sécurité des plongeurs. Les *Paracentrotus lividus* ont été rejetés dans 3 biotopes :

- un herbier de posidonies à 6 mètres
- un éboulis fin à 6 mètres
- une des digues protégeant la plage du Larvotto entre 1 et 3 mètres.

Résultats et discussion

Jour du rejet

Structure de la population

Le diamètre d'environ 2000 individus a été mesuré et les données ont été reportées sur un histogramme de fréquences (Figure 1). Le diamètre moyen des individus prélevés était de 35 mm et les tailles s'échelonnaient de 24 à 50 mm.

Par la méthode des différences logarithmiques qui met en évidence les sous-populations gaussiennes d'une population, nous pouvons observer 2 sous-populations dans les classes de taille 30 et 40 mm (Figure 2).

Rejet et observations

Après le rejet des 6000 individus dans les sites choisis, nous avons immédiatement suivi, en plongée, leur comportement.

Malgré le soin apporté lors du rejet, de nombreux oursins étaient soit éparpillés sur le substrat dans une position contraire à "leur norme physiologique", soit regroupés en amas d'une vingtaine d'individus.

5 minutes : tous les individus avaient déjà retrouvé leur position physiologique normale et ils agitaient intensément leur podias.

10-15 minutes : apparition du comportement de couverture, phénomène habituel qui permet à *P.lividus* de recouvrir le pôle apical de son test d'algues et de débris divers ; l'activité des podias est toujours aussi intense.

20 minutes : tous les *P.lividus* étaient vivants et possédaient une activité intense des podias.

30 minutes : les *P.lividus* étaient de plus en plus mobiles. On discernait 2 types de comportement: les individus isolés s'enfouissaient plus profondément dans la matre, tandis que les individus regroupés en amas se recouvraient de feuilles de posidonies.

40-70 minutes : on assistait toujours à la dispersion des oursins en amas, mais on n'observait pas plus d'émission de produits génitaux que de boulettes fécales.

24 heures : on pouvait déjà noter 3 comportements bien différents selon la nature du biotope où le rejet a été effectué :

- les oursins rejetés sur la digue ou dans les éboulis n'étaient plus visibles, ce qui dénotait une activité intense.
- dans la matre, ils étaient très bien enfouis et n'offraient que très peu de prise aux prédateurs.
- dans l'herbier, les oursins, toujours en amas, n'étaient pas encore dispersés mais ils commençaient à brouter les feuilles de posidonies.

Etude de la population 2 mois après le rejet

Digue de la plage (1-3m)

Nous avons observé très peu d'individus ; en effet, les gros blocs aménagent des cavités profondes rendant toute observation et comptage impossibles. Il est donc difficile de conclure sur le choix de ce site.

Eboulis (6m)

Les oursins observés sous les galets, recouverts de débris divers montraient un comportement normal. L'histogramme des classes de taille (Figure 3) montre une structure irrégulière anormale due à une très forte mortalité consécutive à la transplantation. Le diamètre moyen de cette population n'est plus que de 29mm et les densités de l'ordre de 2 individus/m².

La méthode des droites de Battacharya met en évidence 4 sous-populations dans les classes de taille 25, 29, 35 et 37mm (Figure 4).

De part et d'autre de l'éboulis, on a pu observer de nombreux individus isolés, ce qui dénote une certaine migration et une colonisation progressive de l'espace.

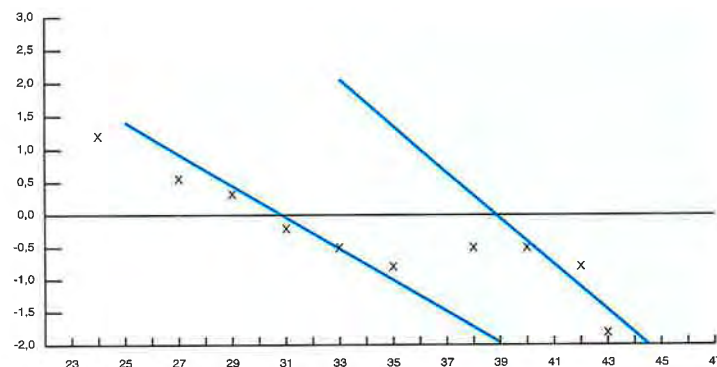


Figure 2
droites de battacharya
pour la population totale.

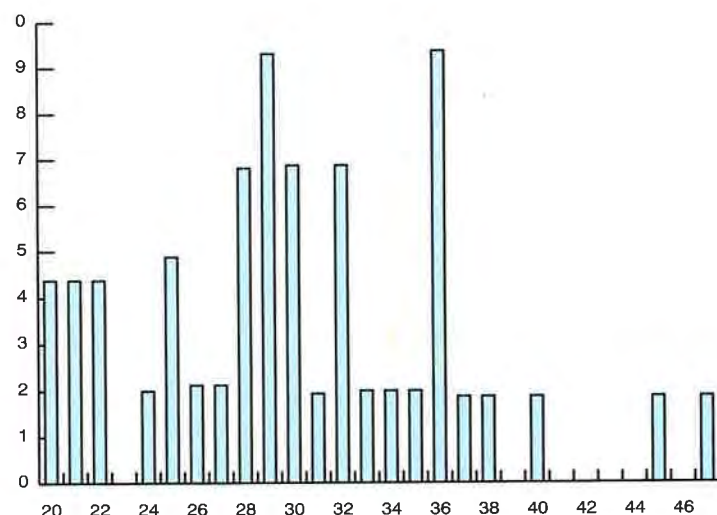


Figure 3
structure
de la population de l'éboulis.

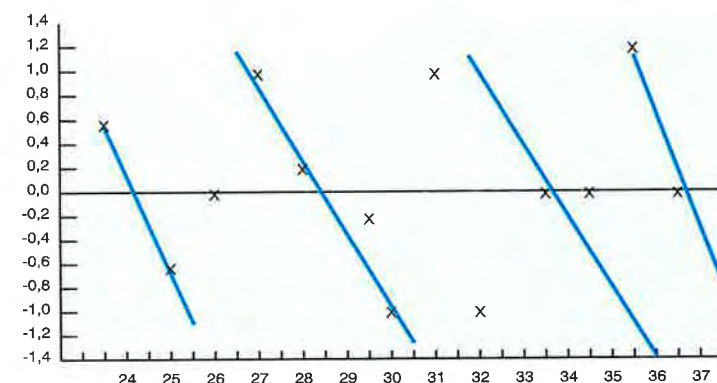


Figure 4
droites de Battacharya
pour la population de l'éboulis.

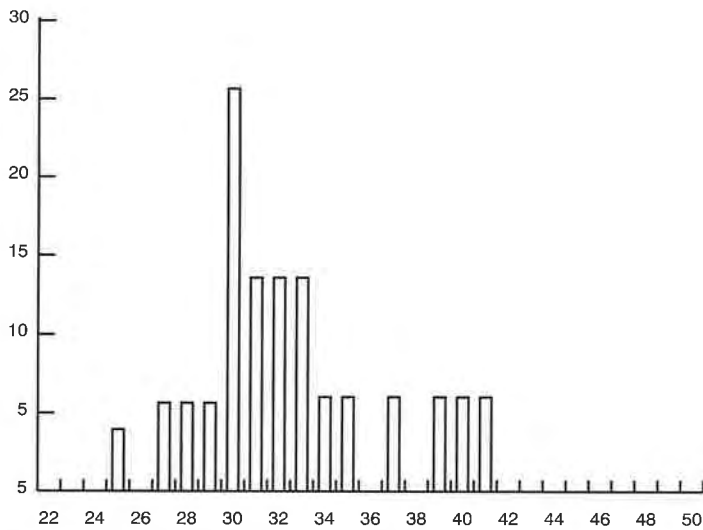


Figure 5
structure
de la population de l'herbier.

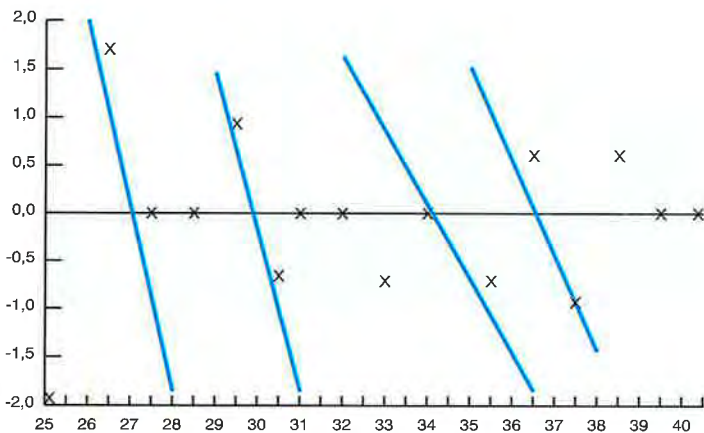


Figure 6
droites de Battacharya
pour la population de l'herbier.

Herbier (6m)

Les densités observées étaient de 1 individu/m² et le diamètre moyen de la population de 30mm. Sur ce site également, on observait un déplacement des individus en direction du milieu environnant. Tous les individus dont le diamètre dépassait 45mm étaient morts (Figure 5).

La méthode des droites de Battacharya met en évidence 4 sous-populations dans les classes de taille 27, 30, 34 et 37mm (Figure 6).

Si l'on compare le nombre d'oursins rejetés au nombre d'oursins retrouvés 2 mois après, on enregistre une mortalité importante ; sur les 6000 individus rejetés en avril 1987, on peut estimer que 35 à 40% sont morts. Il est difficile d'apprécier le pourcentage d'oursins morts des suites du

transport de celui des oursins morts par prédation mais il est certain que ce dernier facteur a joué un rôle très important. En effet, dans les minutes qui ont suivi les rejets, nous avons assisté à une arrivée massive de prédateurs (girelles, sars) qui, immédiatement, s'étaient attaqués aux oursins et 24 heures après le rejet, nous avons trouvé de très nombreux test complètement déchiquetés.

Toutefois, il semble que cette prédation spectaculaire se soit limitée à ces premières 24 heures, car le deuxième jour les poissons avaient disparu.

L'observation sur l'ensemble de la réserve sous-marine montrait une dispersion progressive des oursins à partir des sites repeuplés et une occupation de plus en plus uniforme de l'espace.

Nous pouvions penser que la situation s'était stabilisée et que le taux de mortalité était maintenant normal.

Conclusion

Deux mois après le rejet massif d'oursins dans la réserve de Monaco, malgré une mortalité initiale très importante, il semble que les oursins se soient très bien adaptés à leur nouveau milieu, qu'ils colonisaient progressivement.

Nous pouvions espérer dès le mois d'août, une ponte de la plupart des individus de 30-35mm et la fixation éventuelle des larves dès les premiers mois de l'automne.

Nous pensions donc pouvoir noter la présence de nombreux juvéniles dont les tailles s'échelonnent autour de 5 à 10mm dans le courant de l'hiver 87-88.

Cette étude préliminaire visait une action à long terme dans le but d'étudier le comportement des individus transplantés, leur dispersion dans le milieu et le repeuplement par l'arrivée de larves issues des géniteurs introduits dans la réserve.

Dix ans après l'expérience de repeuplement

Les études scientifiques sur les stocks d'oursins comestibles menées dans la Réserve marine de Monaco pendant la période 1986-1987 ont abouti à des résultats encourageants.

Les responsables de cette zone protégée ont constaté depuis, un accroissement important du nombre d'oursins dans l'Herbier de Posidonies et dans les enrochements des terre-pleins. Une étude complémentaire devrait permettre de vérifier comment s'est poursuivie cet accroissement. L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature qui a engagé ces expériences a bien montré l'intérêt qu'elle porte à cette espèce menacée dont on peut espérer qu'elle pourra survivre et se développer dans la réserve à l'abri de toute action de pêche.

LA DÉTOXICATION DES OURSINS COMESTIBLES

par

Philippe DELMAS⁽¹⁾ *Marie-Berthe REGIS*⁽¹⁾
Jean-Marie PERES⁽²⁾ *Nardo VICENTE*⁽¹⁾

Dynamique au cours du temps des concentrations en cuivre, plomb, cadmium et zinc chez l'oursin comestible, Paracentrotus lividus (Lam.), placé en stabulation dans la réserve sous-marine de Monaco dans le cadre d'opérations de repeuplement.

Introduction

Malgré sa résistance relative à certaines catégories de polluants, l'oursin comestible, *Paracentrotus lividus*, tend à se raréfier en tant que ressource halieutique, sur le littoral provençal. En effet, cette espèce a été victime, d'une part d'une épidémie de nécrose dermique (maladie de l'"oursin chauve") (Fenaux et al., 1983, Jangoux et Maes, 1988), d'autre part d'une pêche intensive touchant des individus de plus en plus jeunes (Gras 1985, 1987). Cet épuisement des stocks a conduit à la mise en place d'une législation mieux structurée (Le Direac'h, 1987; Régis, 1989) et à la recherche de solutions susceptibles d'augmenter l'exploitation de cette espèce sans risquer sa disparition. L'élevage d'oursins étant encore à un stade expérimental (Le Gall et Bucaille, 1987), les "oursiniers" du Quartier des Affaires Maritimes de Marseille ont réalisé, en 1984 et 1987, des opérations de repeuplement des zones exploitées à partir de stocks localisés dans des secteurs interdits à la pêche. Au cours de ces opérations, le nombre d'oursins transplantés étant de 100.000 à 300.000 individus (Le Direac'h, 1987), le site de récolte devait comporter des populations suffisamment importantes pour permettre des prélèvements massifs. Le choix s'est porté sur l'entonnoir de Cortiou, réceptacle des

Photo 1
Paracentrotus lividus dans l'une
des cages de stabulation lors
de l'expérience de 1988.

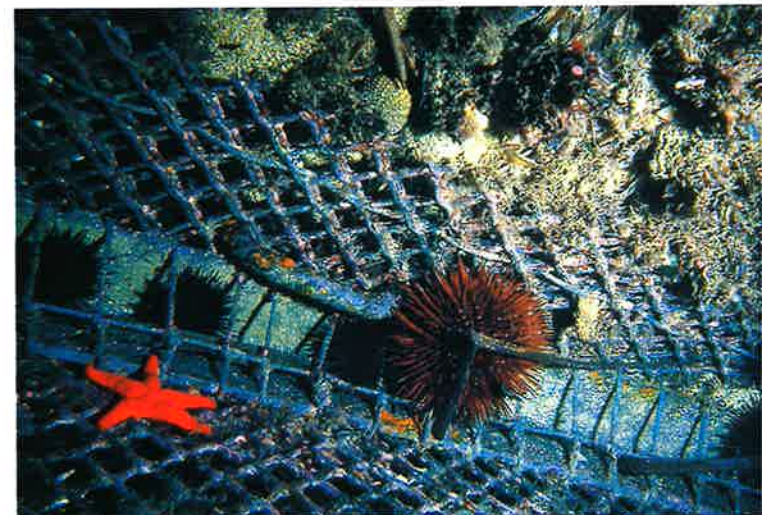
Photo 2
Oursins hors de la cage
en situation non protégée - 1988

Photo 1



Photos Ph. DELMAS

Photo 2



(1) C.E.R.A.M., U.E.R. Aix-Marseille III,
Av. Escadrille Normandie-Niemen (case 341),
F., 13397 Marseille CEDEX 20.

(2) Station Marine d'Endoume, Rue de la Batterie des Lions,
F., 13007 Marseille

LES RÉSERVES MARINES/ LA RÉSERVE DU LARVOTTO

eaux usées de l'agglomération marseillaise, où les densités moyennes de *P. lividus* étaient alors de 50 individus/m² (Delmas, 1992). Une opération semblable, avec des oursins prélevés également dans le secteur de Cortiou, a été conduite en 1986 par Gras (1987) dans la réserve sous-marine de Monaco, où 6000 *P. lividus* ont été implantés dans l'herbier de posidonies et sur une des digues protégeant les plages du Larvotto. Cette expérience faisait suite à une première tentative de réintroduction de l'espèce, réalisée en juillet 1985, au niveau du récif artificiel situé à -8m en face des plages. En effet, à cette date, nous avons observé qu'il n'y avait pas de *P. lividus* dans la réserve, tant sur le récif que dans l'herbier environnant (Delmas, 1985).

L'intérêt de ces opérations de repeuplement était d'obtenir, en 5 mois, des oursins commercialisables, dont les glandes sexuelles ou gonades soient bien développées, puisqu'il s'agit de la partie consommée, mais aussi, et surtout, de favoriser le réensemencement en augmentant la densité des populations. Comme ces *P. lividus* provenaient de sites soumis à une pollution complexe, nous avons décidé de mesurer les concentrations de quatre métaux lourds qui sont reconnus comme ayant une action néfaste, aussi bien sur le poids des gonades que sur la qualité des cellules sexuelles et le développement larvaire. Il s'agit du cuivre, du cadmium, du zinc, et du plomb dont les concentrations, au delà d'un certain seuil, sont susceptibles de perturber le métabolisme des oursins aussi bien au cours de leur vie en pleine eau, dans le plancton, que de leur vie sur le fond (Régis et al., 1988).

Déroulement des opérations et résultats

Deux stations de prélèvement ont été sélectionnées dans le secteur de Marseille-Cortiou. Elles représentent les points extrêmes de la zone généralement prospectée par les "oursiniers" lors des opérations de repeuplement. Il s'agit de la Calanque de l'Escu (Station 1) et de la Calanque de Marseilleveyre (Station 2) situées respectivement à 1200 m et 2800 m à l'Ouest de l'émissaire dans le sens d'étalement du panache de dilution (Fig.1).

Le site de stabulation (secteur considéré comme non pollué dans lequel les animaux peuvent éliminer les substances toxiques accumulées dans leur organisme) a été sélectionné en fonction de la qualité de ses eaux, mais aussi de la surveillance exercée sur les lieux, afin d'éviter le pillage des installations par des plongeurs peu scrupuleux. La Réserve sous-marine de Monaco répondait à ces deux critères. De plus, nous avons pu, sur ce site, bénéficier de l'assistance technique de l'équipe de plongeurs de l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature, qui contrôlait régulièrement l'état de nos installations.

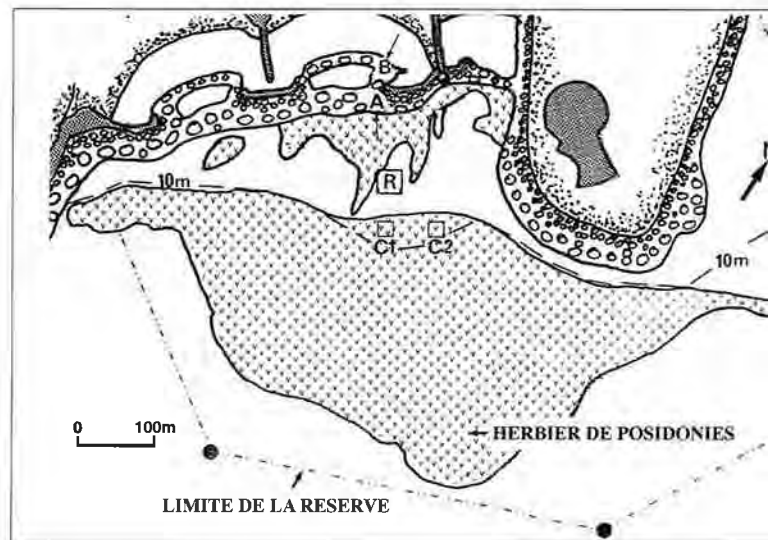
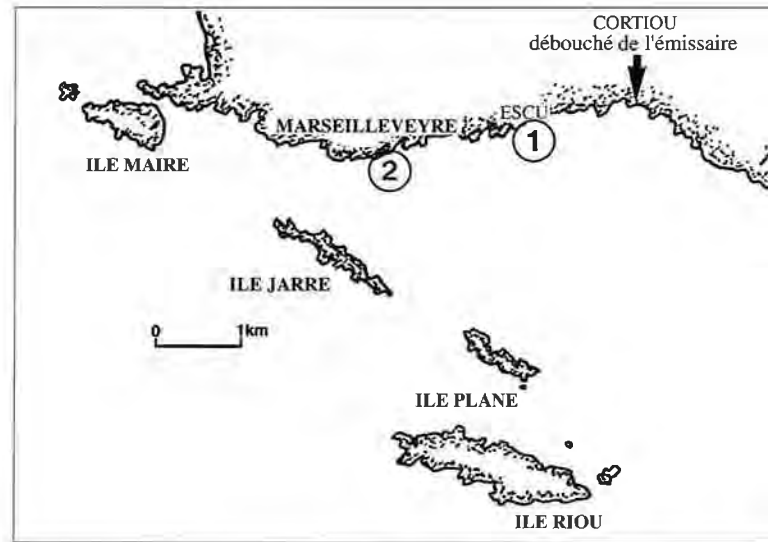


Fig. 1
Localisation des stations
de prélèvement dans
l'entonnoir de Cortiou.

Fig. 2
Localisation des cages de stabulation
(C1 et C2) et des points de comptage
de *P. lividus* (A et B) dans la Réserve
sous-marine de Monaco.
(R : Récif artificiel situé à -8m).

Deux expériences de stabulation ("désintoxication") ont été réalisées de juin à novembre 1986 et de mai à septembre 1988. Elles ont été conduites en corrélation avec l'opération de repeuplement en *P. lividus* de la réserve sous-marine de Monaco (Gras, 1987). Afin d'éviter tout effet de prédation et de fuite, deux cages sans fond ont été construites et amarrées sur l'herbier de posidonies, à -10m de profondeur, au large des plages du Larvotto (Fig.2). Pour

chaque expérience, 400 *P. lividus* ont été prélevés en plongée, en scaphandre autonome, dans chacune des deux stations choisies sur le site de Cortiou. Ils ont été transportés le jour même à Monaco et immergés dans les cages (*photo 1*). Les *P. lividus* provenant de la calanque de l'Escu (St.1) étaient des jeunes de diamètre compris entre 25 et 30 mm, ceux de la calanque de Marseillevyre (St.2) étaient des adultes de diamètre compris entre 35 et 45 mm. Lors de la première expérience, deux prélèvements ont été effectués, en juillet et en novembre 1986 après le transfert de juin ; au cours de la deuxième expérience, les prélèvements ont été mensuels. Les concentrations en métaux lourds ont été dosées dans les glandes sexuelles et le tube digestif, nous les avons comparées à celles mesurées sur des *P. lividus* du Parc National de Port-Cros, considéré comme un site de référence de milieu peu pollué en Méditerranée Nord-occidentale.

Au cours de ces expériences, nous avons également observé la croissance du "squelette" calcaire, ou test, formant l'"enveloppe" de l'oursin. En effet, à la station 1, nous avons constaté que les *P. lividus* cessaient de grandir vers l'âge de 5-6 ans (25-30 mm de diamètre) (Delmas, 1992), correspondant à la première phase de maturation des cellules sexuelles. Afin d'expliquer ce phénomène, nous avons émis l'hypothèse suivante (Delmas, 1992): jusqu'à l'âge de 5 ans, les *P. lividus* utiliseraient l'énergie disponible pour croître et résister aux agressions liées à la présence de polluants. Dès l'âge de 5 ans, l'apport nutritionnel serait utilisé en priorité pour l'élimination des substances toxiques et le développement des glandes sexuelles au détriment de la croissance. Les expériences de stabulation dans la Réserve sous-marine de Monaco devaient nous permettre de confirmer cette hypothèse.

Les concentrations en métaux observées au début de l'expérience de 1986 chez les *P. lividus* prélevés dans les deux stations sont du même ordre de grandeur que les valeurs moyennes mesurées dans les sédiments du secteur pollué de Marseille-Cortiou (Arnoux, 1987): le zinc est l'élément dominant, puis, par ordre décroissant, viennent le plomb, le cuivre et le cadmium. Après un mois de stabulation, les concentrations en cuivre, plomb et cadmium demeurent encore élevées chez les oursins dans les deux cages (*Fig.3 et 4*). En fin de stabulation (5 mois), elles sont, sauf pour le cuivre, inférieures à celles observées dans la baie de Port-Man (Parc National de Port-Cros) où les peintures antissalissures recouvrant les coques de navires libèrent dans l'eau des éléments métalliques (Augier et al., 1987).

Au cours de cette première expérience, nous avons observé une croissance du test des oursins de la cage 1 (station 1) dont le diamètre moyen a augmenté significative-

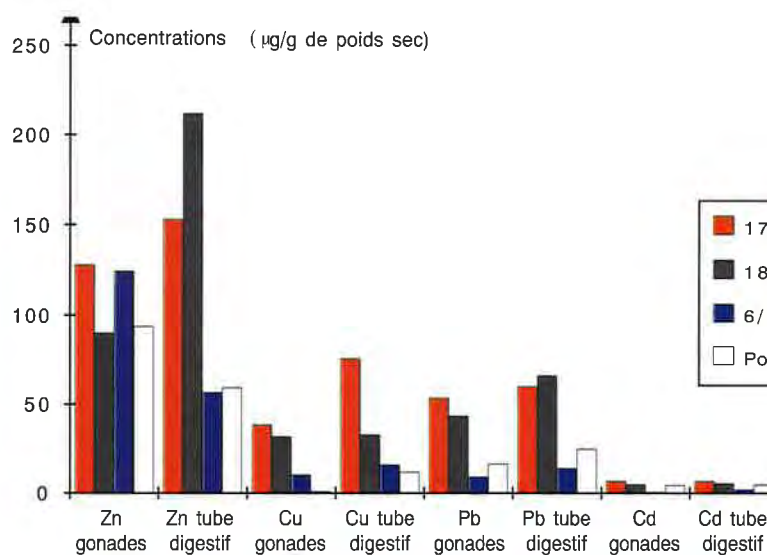


Fig. 3
Dynamique des concentrations en zinc (Zn), cuivre (Cu), plomb (Pb) et cadmium (Cd) dans les gonades et le tube digestif des *P. lividus* de la cage 1. Expérience de 1986.

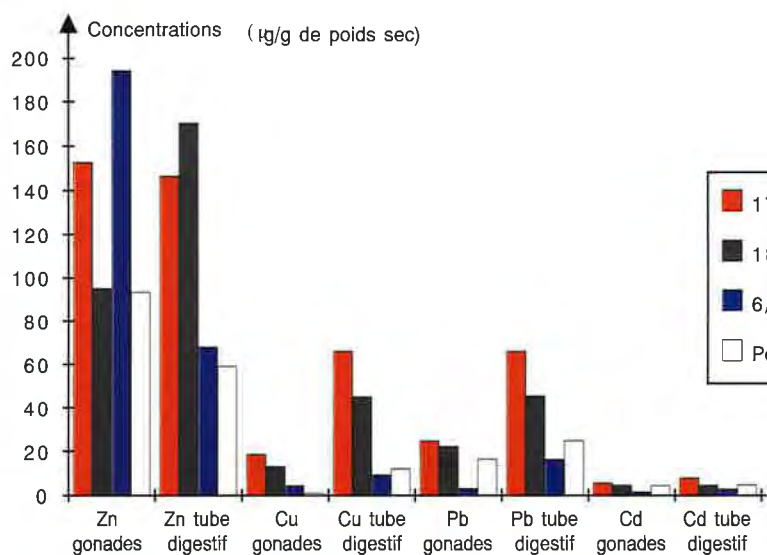


Fig. 4
Dynamique des concentrations en zinc (Zn), cuivre (Cu), plomb (Pb) et cadmium (Cd) dans les gonades et le tube digestif de *P. lividus* de la cage 2. Expérience de 1988.

ment en cinq mois de 2,8 mm. Le "nanisme" dont ils semblaient atteints (Delmas 1992) ne serait donc pas irréversible. Cette observation conforte l'hypothèse selon laquelle les processus de désintoxication, qui en milieu pollué doivent fonctionner de manière quasi-permanente, sont en partie responsables d'un déficit dans le bilan énergétique, limitant la croissance déjà ralentie en raison de la préparation de la première maturité sexuelle.

Lors de l'expérience de 1988, nous avons travaillé avec des oursins relativement moins "contaminés" qu'en 1986 en raison de la mise en fonction, en novembre 1987, de la station d'épuration des eaux de Marseille laquelle retient de 64%(Cu) à 79%(Pb) des métaux étudiés. Les oursins témoins provenant du Parc National de Port Cros ont été prélevés sur une paroi rocheuse verticale tournée vers le large et soumise à un mode battu ; l'influence des peintures antissalissures y est inexistante.

La dynamique du cadmium, en raison de trop faibles concentrations au début de l'expérience, n'a pu être observée de manière significative.

Le cuivre est le seul métal pour lequel la dynamique soit semblable dans les deux cages (Fig. 5 et 6), donc indépendante de l'âge et de l'origine des individus. Le processus de décontamination qui s'amorce dans le tube digestif dès le deuxième mois, est régulier et très efficace, puisqu'en fin d'expérience le cuivre, dans les organes étudiés, ne présente plus que des concentrations très faibles et même nulles.

La dynamique du plomb pourrait être liée au métabolisme des *P.lividus* qui doit être plus élevé chez les adultes de la cage 2 que chez les jeunes de la cage 1. Ainsi, chez les oursins de la cage 1, les concentrations en plomb diminuent progressivement pour se rapprocher des valeurs observées chez les témoins de Port-Cros (Fig.5). Dans la cage 2, malgré une adaptation immédiate aux eaux monégasques, les oursins paraissent avoir des difficultés pour éliminer le plomb, qui doit se trouver stocké sous une forme non toxique dans des cellules pouvant transiter d'un compartiment à l'autre de l'animal.

De tous les métaux étudiés, c'est le zinc qui est le moins bien éliminé par les oursins. En effet, quelle que soit l'expérience considérée, la concentration de ce métal, qui évolue de manière inverse dans les glandes sexuelles et le tube digestif (Fig.3, 4 et 6), est toujours élevée en fin d'expérience. Il semble que le zinc puisse être échangé entre différents compartiments de l'animal : glandes sexuelles, tube digestif, mais aussi, probablement test ou piquants. Il est donc possible qu'il participe en tant qu'oligoélément à certains processus physiologiques de l'oursin. Cette hypothèse est confortée par les observations de Fenaux et al. (1983) réalisées lors d'une étude sur la maladie de "l'oursin chauve" : l'analyse comparée des concentrations en zinc sur des

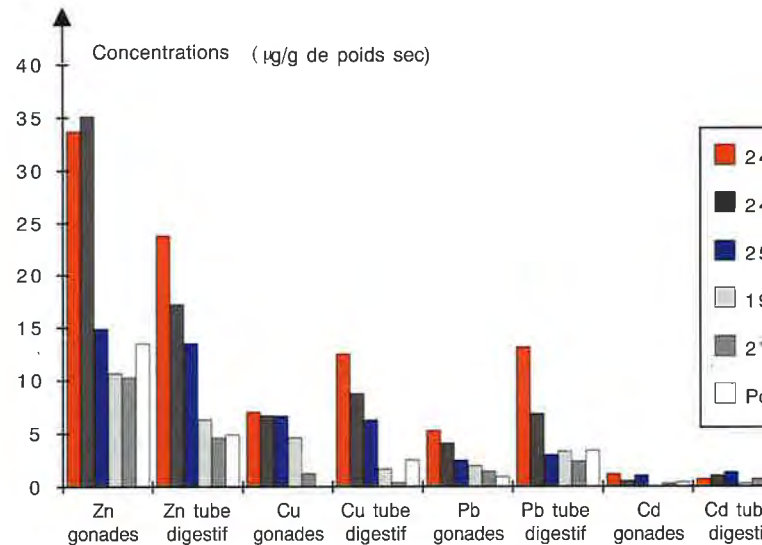


Fig. 5
Dynamique des concentrations en zinc (Zn), cuivre (Cu), plomb (Pb) et cadmium (Cd) dans les gonades et le tube digestif des *P. lividus* de la cage 1.

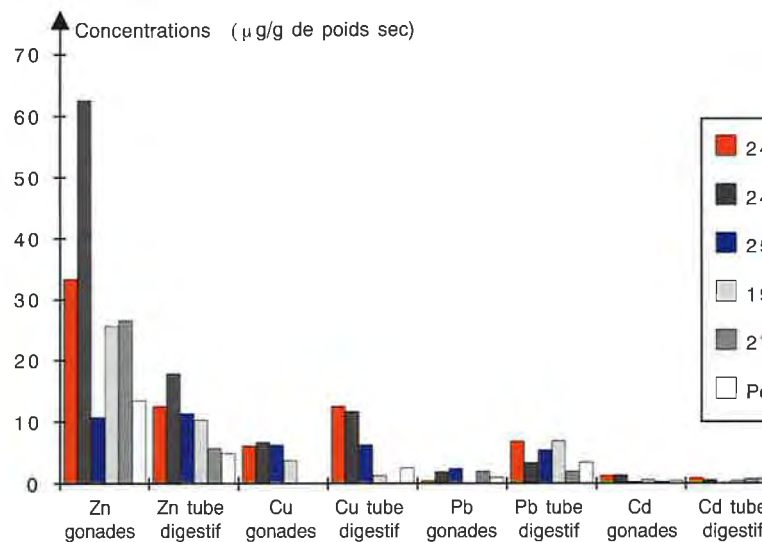


Fig. 6
Dynamique des concentrations en zinc (Zn), cuivre (Cu), plomb (Pb) et cadmium (Cd) dans les gonades et le tube digestif des *P. lividus* de la cage 2.

fragments sains et sur des fragments nécrosés de tests d'oursins malades, avait montré des proportions de 2 à 4 fois plus élevées sur les fragments nécrosés. De même, chez des oursins en voie de cicatrisation, les tissus en cours de régénération présentaient des concentrations en zinc toujours supérieures. Or, ce métal a été décrit en tant qu'activateur d'un enzyme (catalyseur biologique) nécessaire à la synthèse du calcaire (Schapira, 1959; Gendron et Vicente 1986). Il entre également dans la constitution d'enzymes indispensables aux phénomènes de division cellulaire (Schapira, 1959). On peut donc supposer que le zinc interviendrait dans l'édification des plaques calcaires du test de l'oursin, hypothèse qui semble confirmée par nos observations sur la croissance lors de l'expérience de 1988 :

- Chez les oursins de la cage 1, la plus forte diminution de la concentration en zinc, observée en juillet (*Fig. 5*), coïncide avec une phase de croissance significative entre juin et juillet, laquelle se poursuit jusqu'en septembre (augmentation du diamètre des oursins de 3,2 mm). Chez ces oursins, la concentration en zinc dans les glandes sexuelles diminue les mois suivants pour se stabiliser à environ 10 mg/g, valeur qui correspond à celle observée en juillet chez les oursins de la cage 2.

- Chez les oursins de la cage 2, la plus forte diminution de la concentration en zinc dans les glandes sexuelles, observée en Juillet (*Fig.6*), coïncide avec une phase de croissance significative (augmentation du diamètre des oursins de 2,7 mm) observée entre Juillet et Août. Par la suite,

Photo 3
Prédation d'oursins
par sars et girelles sur enrochements - 1988.



Photos Ph. DELMAS.

Photo 4
Oursins adultes
dans les enrochements - 1995.





Photo Ph. DELMAS.

Photo 5

Groupe de *Paracentrotus lividus* dans touffe de posidonies, au niveau de la digue (Fig. 2, A) d'une des plages du Larvotto.

la concentration en zinc dans les glandes sexuelles augmente à nouveau et la croissance ne se poursuit pas.

Le zinc, probablement stocké dans des cellules mobiles présentes dans les glandes sexuelles, pourrait être transporté vers les zones d'édification de nouvelles plaques du test, où il favoriserait les divisions cellulaires et la synthèse de calcaire. Chez les oursins de la cage 2, la croissance ne se poursuivant pas au cours des mois suivants, une partie du zinc serait à nouveau stockée ce qui expliquerait l'augmentation de sa concentration dans les glandes sexuelles à partir d'août.

Les résultats des expériences de stabulation, corrélées à des expériences de repeuplement, s'étant révélés positifs, il convenait d'observer l'état des populations d'oursins comestibles dans la réserve sous-marine de Monaco environ 10 ans après. Nous avons donc effectué, en janvier 1995, une évaluation des densités de *P. lividus* dans la Réserve sous-marine de Monaco. Les comptages ont été effectués en plongée en scaphandre autonome, à l'aide d'un cadre de 1 m² déplacé au hasard sur les rochers et les éboulis au niveau de la digue d'une des plages (Fig.2).

En 1986, deux mois après l'implantation de 6000 *P. lividus* dans la Réserve sous-marine de Monaco, Gras (1987) indiquait "que malgré une mortalité initiale très importante, les oursins s'étaient bien adaptés à leur environnement qu'ils colonisaient progressivement". Cet auteur prévoyait l'apparition de juvéniles dans le courant de l'hiver 87-88.

Nos observations réalisées en 1995 confirment les prévisions de Gras. En effet, nous avons compté, sur l'éboulis faisant suite à la digue orientée vers la plage (Fig. 2, B), des densités moyennes de 3 *P. lividus* /m² (Photo 5). Sur les blocs d'endiguage, orientés vers le large (Fig.2, A), et donc soumis à un mode plus agité, les densités moyennes sont de 1,7 individus/ m². Ces valeurs correspondent à un peuplement équilibré, semblable à celui décrit par Harmelin et al. (1980) dans le Parc National de Port-Cros : 3,4 ind./m². Le diamètre moyen de ces oursins est compris entre 40 et 60 mm, ce qui pourrait correspondre à des individus nés entre 1987 et 1988.

Conclusion

Ces expériences, réalisées dans la Réserve sous-marine de Monaco, ont prouvé l'efficacité de la stabulation en ce qui concerne l'élimination du cuivre, du plomb et du cadmium dans les glandes sexuelles et le tube digestif de *P.lividus* provenant d'un secteur pollué.

En 1986, en fin d'expérience, les concentrations en cuivre et cadmium (Fig.3 et 4) étaient en deçà des normes sanitaires établies par le GIPM (1973) pour les mollusques et les poissons (Cu: 5 (poissons) à 40 mg/kg (mollusques), Cd: 1 (poissons) à 5 (mollusques) mg/kg). Par contre, les concentrations en plomb avaient encore, sauf dans les glandes sexuelles des *P.lividus* de la cage 2 (Fig.4), des valeurs supérieures à ces normes (< 6 mg/kg). Après élimination des métaux, ces oursins, transplantés massivement dans la Réserve sous-marine de Monaco (Gras, 1987), ont dû se reproduire comme le prouvent nos observations de 1995.

En 1988, après cinq mois de "désintoxication", les concentrations en plomb cuivre et cadmium (Fig. 5 et 6) étaient toutes en deçà des normes établies par le G.I.P.M.

Ainsi, si une opération de repeuplement à des fins commerciales avait eu lieu en avril 1988, les concentrations métalliques dosées dans l'organisme de *P.lividus* n'auraient pas représenté un facteur limitant pour une éventuelle exploitation des stocks en septembre.

Si le plomb, le cuivre et le cadmium sont éliminés avec une dynamique assez régulière, il n'en est pas de même pour le zinc qui reste toujours, quelle que soit l'expérience considérée, le métal le plus concentré dans l'organisme des oursins. Ce métal pourrait, en effet, intervenir dans la croissance de *P.lividus* en favorisant l'édification de nouvelles plaques du test.

Enfin, chez les oursins de la calanque de l'Escu (cage 1) placés en stabulation à Monaco, nous avons observé, quelle que soit l'expérience, une croissance relativement rapide. Ces observations confirment donc l'hypothèse selon laquelle, à la calanque de l'Escu, les réserves énergétiques dont disposaient les oursins étaient insuffisantes pour assurer à la fois la résistance aux polluants, le développement des glandes sexuelles et la croissance qui était alors partiellement inhibée.

Bibliographie

ARNOUX A., 1987. - Rapport sur l'analyse de polluants dans les sédiments et les organismes, site de Cortiou. Campagne de prélèvement de Juillet 1987- Décembre 1987. Document ville de Marseille. 86 p. + 35 Planches. (Diffusion limitée).

AUGIER H., RAMONDA G., SANTIMONE M., 1987. - Teneurs en métaux lourds des oursins comestibles *Paracentrotus lividus* (Lamarck) dans les zones à grande activité touristique de l'île de Port-Cros. In. Actes Colloque Intern. sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, Carry-le-Rouet, Fr. 21-22 Février 1987, C.F. Boudouresque (ed.), GIS Posidonie, Marseille: 271-284.

DELMAS PH., 1985.- Réintroduction de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmck) dans la Réserve de Monaco. A.M.P.N., C.R. des activités 1984/1985: p.17.

DELMAS PH., 1992.- Etude des populations de *Paracentrotus lividus* (Lam.) (Echinodermata, Echinoidea) soumises à une pollution complexe en Provence Nord-Occidentale: densités, structure, processus de détoxification (Zn, Cu, Pb, Cd, Fe). Thèse Doc., Université Aix-Marseille III, France, 203p. multigr.

FENAUX L., VAGO C., VIVARES C., 1983.- Recherche sur les nécroses dermiques de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lam.) Rapport au Conseil Régional Provence Alpes Côte d'Azur, Contrat 62028: 32 p. (Diffusion limitée).

GENDRON F. ET VICENTE N., 1986.- Approche de l'action physiopathologique des peintures antissalissures à base d'organo-étains et de l'oxyde de tributylétain sur la composition en cuivre et en zinc de l'huître *Crassostrea gigas*. In Actes du VIe colloque de la Soc. franç. de malacologie et colloque "Contamination, intoxication et perturbation des mollusques marins", Wimerieux, 4-8 Novembre 1985. *Haliotis*, 15: 327-334.

G.I.P.M., 1973.- Rapport pour une politique de lutte contre la pollution des mers. Groupe Interministériel d'étude des problèmes de pollution de la mer. La documentation Française: 44 p. multigr.

GRAS G., 1985.- Exploitation de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmck) dans le Quartier Maritime de Marseille: zones de pêche, densité des populations, indices physiologiques, DEA Ecol. médit. opt. Ecol. litt. Univ. Aix-Marseille III, France, 36 p. multigr. et annexes. (Diffusion limitée)

GRAS G., 1987. - Tentative de repeuplement en oursins comestibles de la réserve sous-marine de Monaco: transfert massif de *Paracentrotus lividus* en provenance du Golfe de Marseille. Compte rendu des activités 1986-1987 de l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature (Diffusion limitée): 26-29.

HARME LIN J.G., BOUCHON C., DUVAL C., HONG J.S., 1980. - Les échinodermes de substrat dur de l'île de Port-Cros. Eléments pour un inventaire quantitatif. *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros*, 6: 25-38.

JANGOUX M. ET MAES P., 1988. - Les epizooties chez les oursins réguliers (Echinodermata). In. Actes Colloque Intern. sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, Carry-le-Rouet, Fr. 21-22 Février 1987, C.F. Boudouresque (ed.), GIS Posidonie, Marseille: 299-307.

LE DIREAC'H J.P., 1987.- La pêche des oursins en Méditerranée : Historique, techniques, législation, production. In. Actes Colloque Intern. sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, Carry-le-Rouet, Fr. 21-22 Février 1987, C.F. Boudouresque (ed.), GIS Posidonie, Marseille: 335-362.

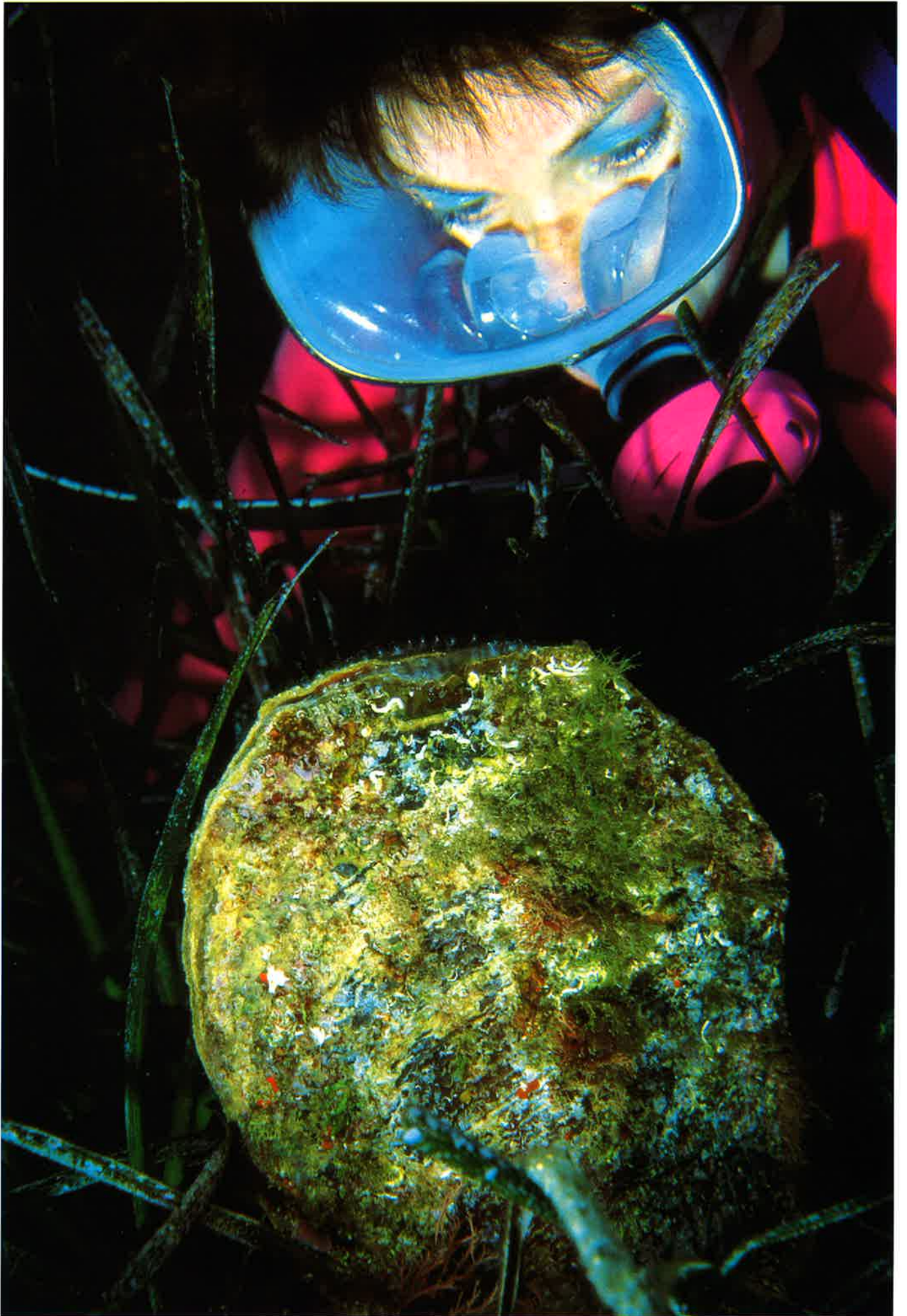
LE GALL P. ET BUCAILLE D., 1987. - Intérêt d'un élevage intensif de

l'oursin violet, *Paracentrotus lividus*. In. Actes Colloque Intern. sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, Carry-le-Rouet, Fr. 21-22 Février 1987, C.F. Boudouresque (ed.), GIS Posidonie, Marseille: 399-405.

RÉGIS M.B., DELMAS P. ET GRAS G., 1988. - Distribution et densité des populations de *Paracentrotus lividus* (Lam.) du littoral méditerranéen français: potentiel d'eutrophie des eaux et présence d'altéragènes chimiques. In. *Echinoderm Biology, proc. of the sixth Intern. Conf. Echinoderm.*, Victoria, 22-28 August 1987, R.P. Burke et al. (eds.), Balkema, Rotterdam: 483-492.

RÉGIS M.B., 1989. - Impacts et résultats de la campagne "Sauvons l'oursin comestible: *Paracentrotus lividus*" (Echinodermata, Echinoidea). In. Actes du VI e Séminaire Int. sur les Echinodermes, Ile des Embiez, (Var, France), 19-22 Septembre 1988, M.B. Régis (ed.), *Vie Mar.*, H. S. 10: 150-157.

SCHAPIRA G., 1959. - Biochimie générale. Flammarion Médecine-Sciences eds.: 355 p.



LA RÉIMPLANTATION DE LA GRANDE NACRE DE MÉDITERRANÉE *Pinna nobilis* L.

par

Béatrice DE GAULEJAC ⁽¹⁾ et *Nardo VICENTE* ⁽²⁾

Pinna nobilis L. dénommée communément nacre ou jambonneau est le plus grand coquillage bivalve de Méditerranée et sans doute l'un des plus grands au monde avec les bénitiers tropicaux du genre *Tridacna*. En effet, la nacre peut atteindre et dépasser quelquefois la taille de 100 cm. Des individus d'une telle taille se rencontrent encore occasionnellement sur les rivages corses.

C'est une espèce endémique de la Méditerranée au même titre que l'herbier de Posidonie auquel elle est inféodée, et elle peut se rencontrer parmi les Cymodocées en milieu lagunaire. Sa grande taille et sa capacité de filtration font de *Pinna nobilis* un indicateur biologique de la qualité du littoral méditerranéen, au même titre que *Posidonia oceanica* (Vicente et de Gaulejac, 1993). Elle fixe notamment les polluants métalliques et radioactifs.

Elle disparaît en même temps que l'herbier, agressée par diverses nuisances humaines. Les aménagements gagnés sur la mer : endigages, plate-formes, plages artificielles, en détruisant les posidonies, entraînent la disparition des nurseries de *Pinna*. Les jeunes individus en effet s'implantent le plus souvent par petits fonds, et ce sont ceux-là même qui sont détruits par les restructurations des rivages. Les rejets d'eaux usées avec leurs principes toxiques : détergents, herbicides, métaux lourds affectent les oeufs, les larves et les jeunes individus.



(1) Attachée d'études et de recherches au CERAM. Docteur es'Sciences.

(2) Professeur de Biologie Marine - Directeur du CERAM. Centre d'Etude des Ressources Animales Marines (CERAM), Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, 13397 MARSEILLE CEDEX 20

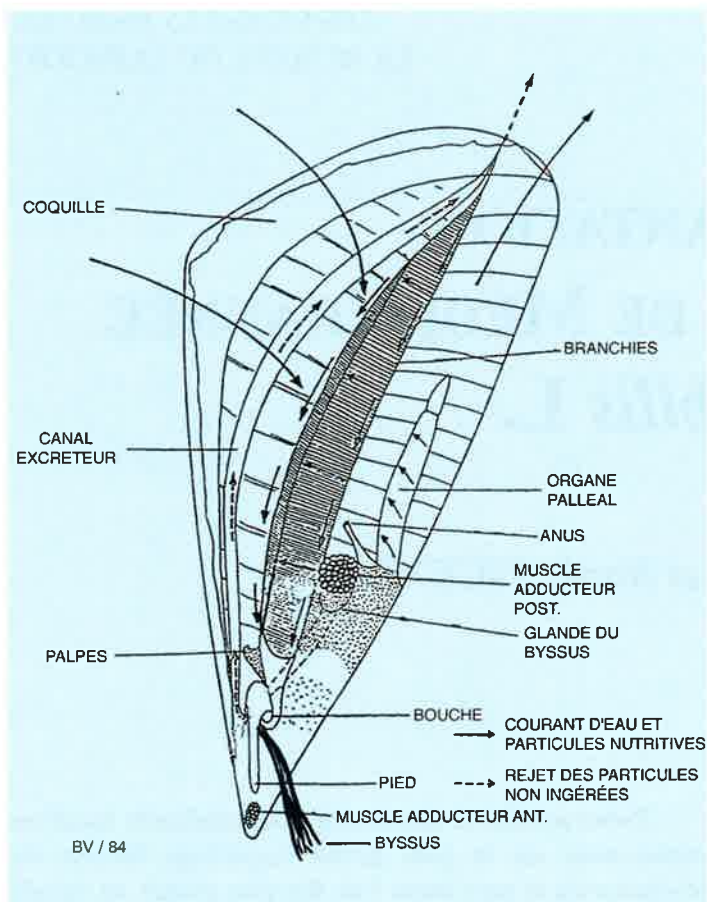


Fig. 1. - Anatomie de *Pinna nobilis*.



Les ancres des navires et les chaluts cassent les coquilles fragiles. Avec l'avènement de la plongée sous-marine en scaphandre autonome, la nacre est devenue un objet de convoitise et de souvenir souvent présent dans les boutiques de la Côte d'Azur. Enfin, les prédateurs peu nombreux (poules, daurades, sars) s'attaquent essentiellement aux jeunes individus.

L'espèce était exploitée en diverses régions de la Méditerranée, jusqu'au début du siècle. Il en était ainsi en Italie du Sud, en Sicile, à Malte, où la nacre était utilisée pour la fabrication des boutons. Le byssus très grand et soyeux, servait à tisser des gants, des écharpes et des bonnets. D'aucuns prétendent que la mythique Toison d'or fut confectionnée avec le byssus de *Pinna*.

Peu à peu les populations se sont rarifiées sur tout le littoral méditerranéen de la côte septentrionale, et sa protection est devenue nécessaire (Vicente et Moreteau 1991). C'est ainsi que par Arrêté du 26 novembre 1992 le Ministère de l'Environnement a interdit la capture, la vente et tout autre action pouvant nuire à la pérennité de l'espèce.

Pinna nobilis est aujourd'hui protégée en France et par la volonté de S.A.S. le Prince Rainier, dans la réserve marine de Monaco.

Sur les rivages de la Principauté de Monaco l'espèce semblait absente lors de la création de la Réserve sous-marine en 1976. Ce fait avait été constaté après de nombreuses plongées (Hignette 1983). Or cette réserve constitue un endroit privilégié à l'abri du prédateur humain pour implanter l'espèce, et suivre sa croissance.

Premières réimplantations

C'est en 1979 que Michel Hignette alors responsable de l'Aquarium de Monaco eut l'heureuse idée d'implanter 26 individus en provenance de Corse et de la région toulonnaise où l'on trouvait encore en abondance des nacres adultes. Ces nacres furent plantées dans le sédiment par 15 m de fond après avoir été mesurées et marquées avec des étiquettes en matière plastique, fixées par un fil de nylon traversant la coquille près de la charnière. Sur ces 26 nacres, trois ans plus tard il en restait 16 vivantes, qui ont été mesurées après avoir été déplantées.

Pinna nobilis qui vit plantée dans le sédiment par sa pointe effilée, peut s'enfoncer plus ou moins selon l'hydrodynamisme du milieu ; elle s'accroche par son byssus aux grains de sable et aux rhizomes de *Posidonies*. Elle tend à s'incliner valves entrouvertes dans le sens du courant pour mieux capter les particules nutritives.

La déplantation doit se faire avec précaution après avoir creusé le sable tout autour de la pointe, sans sectionner le byssus ni ébrécher l'extrémité de la coquille. De la sorte, après observation et mesure, l'animal peut être replanté sans problème.

La croissance constatée dans la Réserve de Monaco apparaît beaucoup plus faible que celle d'une population étudiée au Parc National de Port Cros (Vicente et al, 1980). Plusieurs raisons peuvent être invoquées : le changement de biotope, le stress provoqué par la collecte, le transport et le marquage, de même que la quantité de nourriture disponible dans la Réserve.

Au même moment Hignette découvrait à plus grande profondeur, vers 24 m, sur fond sablo-vaseux de jeunes *Pinna* d'une taille de 15 cm, dont l'âge était d'environ 1 an et demi, d'après la table de vie de Moreteau et Vicente (1980) établie pour les nacres de Port-Cros. Cette découverte permettait d'émettre l'hypothèse que la population implantée s'était reproduite, mais aussi bien pouvait-il s'agir d'un recrutement larvaire extérieur, favorisé par les courants entrant dans la Réserve.

Nouvelles implantations en 1990

A la demande de Eugène Debernardi, Président de l'AMPN nous avons tenté dans un premier temps de retrouver les nacres implantées par Hignette en 1979. Seules les valves d'une *Pinna* morte ont pu être retrouvées à la pointe du Sporting Club. Lors de leur implantation les nacres avaient une taille de 35 à 60 cm, et donc un âge estimé entre 4 et 10 ans, or la durée moyenne de vie de l'espèce est de 15 ans. Il est donc plausible de penser que les individus ont disparu par mort naturelle.

A notre initiative nous avons procédé à de nouvelles réimplantations. Pour cela nous avons prélevé dix individus dans l'étang de Diana en Corse orientale où une population de nacres était étudiée depuis 1989 (de Gaulejac). Ces 10 individus, après transport dans des bidons en matière plastique opaque, remplis d'eau de mer saturée en oxygène, ont été réimplantés dans la Réserve.

La hauteur totale des individus réimplantés variait entre 28,5 et 38 cm. Deux sites de réimplantation avaient été choisis :

- derrière la pointe du Sporting Club, entre 13 et 15 m de fond, à proximité d'un récif artificiel,
- avant la pointe du Sporting Club, face à la plage, entre 14 et 16 m de fond, en bordure des éboulis.

Chaque individu a été marqué à l'aide d'une plaque en aluminium gravée d'un numéro et fixée par un collier en matière synthétique autour de la coquille, au niveau du sédiment. Par ailleurs un flotteur "repère" dépassant l'herbier de Posidonie permet de repérer le lieu d'implantation.

Les individus ont été plantés sur un tiers environ de leur longueur, et la hauteur au dessus du sédiment (Hs), a été mesurée ainsi que la plus grande largeur (Lc). Ces mesures sont effectuées à l'aide d'un compas à pointes sèches, et d'un mètre ruban de couturière, qui permet de noter l'écartement des pointes. Une dernière mesure concerne la largeur de la coquille au niveau du sédiment (lc). Ces paramètres sont utilisés pour évaluer la hauteur totale de la coquille sans déplanter l'animal. (Moreteau et Vicente 1982).

Une plongée de contrôle, le lendemain de la réimplantation nous a permis de vérifier le bon état des animaux qui

avaient repris leurs fonctions de filtration, valves entrebaillées montrant l'étalement des branchies jusqu'au sommet de la coquille, et se refermant vivement à l'approche du plongeur.

D'autres secteurs de la réserve ont été prospectés et cinq nacres ont été découvertes entre 7 et 15 m de profondeur. Leur hauteur totale estimée est comprise entre 21 et 52 cm. Cet éventail de tailles montre que le recrutement de *Pinna nobilis* se fait dans de bonnes conditions et régulièrement depuis 7 ans environ dans la Réserve de Monaco.

L'observation de coquilles de *Pinna* présentes à l'état naturel dans la Réserve montre que leur morphométrie est identique à celle rencontrée en milieu ouvert comme à Port Cros (Vicente et al 1980), ou à la Réserve naturelle de Scandola en Corse. Elles sont plus larges et plus effilées que la coquille des *Pinna* de l'étang de Diana (de Gaulejac et Vicente 1990) milieu lagunaire côtier aux conditions édaphiques très différentes de la mer ouverte (de Gaulejac 1993).

Evolution de la population implantée

Trois mois après leur implantation, les 10 nacres introduites dans la Réserve ont été observées vivantes à côté de leur "flotteur repère". Quatre individus solidement ancrés au sédiment se sont enfoncés de 2 à 4 cm dans le sable, indiquant une reprise de l'activité du byssus. L'observation d'une croissance de la coquille qui se manifeste par un voile de calcite transparent d'un demi-centimètre de hauteur au sommet des valves, indique un bon état de santé, et une activité biologique normale (nutrition, croissance).

La survie de tous les individus implantés dans la Réserve est le témoignage de bonnes conditions du milieu, et indique une faible présence de prédateurs et en particulier du poulpe (*Octopus vulgaris*) qui provoque habituellement de fortes mortalités en d'autres secteurs où il est abondant. Peu ou presque pas de poulpes ont été rencontrés lors de nos plongées dans cette zone de la Réserve ou dans l'Herbier de Posidonie. Cette mortalité peut aller jusqu'à 80% des animaux implantés ou des juvéniles présents (de Gaulejac 1989).

Le suivi de cette petite population, permet de comparer la croissance des individus implantés avec celle d'autres *Pinna* introduites en d'autres secteurs du littoral méditerranéen (Archipel des Embiez, Parc Régional de la Côte Bleue ...) de même qu'avec celle des populations présentes naturellement. La découverte de *Pinna nobilis* de tailles variables dans la Réserve de Monaco montre que le recrutement s'effectue naturellement, et que les conditions de milieu sont favorables à l'espèce.

L'introduction d'espèces protégées comme *Pinna nobilis* dans les lieux privilégiés de notre littoral peut per-

LES RÉSERVES MARINES/ LA RÉSERVE DU LARVOTTO



Préparation
de la sortie en mer
pour l'implantation
des *Pinna nobilis*.

Photo
E. DEBERNARDI

mettre la reconstitution de populations nouvelles. C'est le cas pour la Réserve marine de Monaco depuis sa création. Un écosystème équilibré s'est reconstitué et participe à l'équilibre du littoral, comme c'est le cas pour les autres sites préservés.

L'implantation de *Pinna* adultes, aptes à la reproduction devrait amplifier le recrutement des juvéniles, et favoriser l'expansion de cette espèce menacée.

Les secteurs protégés permettent à la flore et à la faune de se régénérer pour le plus grand bien des zones de pêche voisines qu'ils contribuent à alimenter et à conforter.

Tous les utilisateurs du milieu marin doivent être conscients de l'intérêt que présentent de telles réserves pour la sauvegarde de la Méditerranée. Chacun, qu'il soit plai-

sancier, pêcheur, aménageur ou scientifique, ne peut que tirer des bénéfices substantiels dans son domaine, s'il consent à réserver quelques hectares d'où toute activité prédatrice, polluante ou contraignante (digués, ports, usines, égouts) doit être exclue.

Si l'homme dans son intelligence souvent orientée vers des objectifs de spéculation ou de rentabilité économique peut comprendre cela, il aura tout à gagner en retrouvant au cours des premières années du troisième millénaire, une Méditerranée vivante et généreuse qui ne pourra qu'améliorer son développement économique et culturel.

Encore faut-il y mettre le prix, et rendre à cette mer, berceau de notre civilisation un petit peu de ce qu'elle nous a donné avec tant de générosité, depuis des millénaires.

Bibliographie

De GAULEJAC, B. 1989 - Ecologie de *Pinna nobilis* L. Mollusque eu lamellibranche en baie de Calvi. DEA Environnement marin Fc. Sci. St-Jérôme. Marseille, pp 37.

De GAULEJAC, B. 1993 - Etude écophysiological du Mollusque Bivalve méditerranéen *Pinna nobilis* L. Reproduction, croissance, respiration. Thèse de l'Université d'Aix-Marseille III, pp. 220.

De GAULEJAC, B. et VICENTE N. 1990 - Ecologie de *Pinna nobilis* L.

mollusque bivalve sur les côtes de Corse. Essais de transplantation et expériences en milieu contrôlé. Haliotis, 10 : 83-100.

HIGNETTE, M. 1983 - Croissance de *Pinna nobilis* L. (Mollusque eu lamellibranche) après implantation dans la Réserve sous-marine de Monaco. Rapp. Comm. Port. Mer. Médit., 28 : 3 : 237-238.

MORETEAU, J.C. et VICENTE N. 1980 - Etude morphologique et croissance de *Pinna nobilis* L. (Mollusque eu-lamellibranche) dans le parc national sous-marin de Port-

Cros (Var-France). Vie Marine, 2 : 52-58.

MORETEAU, J.C. et VICENTE, N. 1982 - Evolution d'une population de *Pinna nobilis* L. (Mollusca, Bivalvia) Malacologia, 22 (1-2) : 341-345.

VICENTE, N., MORETEAU, J.C. et ESCOUBET, P. 1980 - Etude de l'évolution d'une population de *Pinna nobilis* L. (Mollusque eu-lamellibranche) au large de l'anse de la Palud (Parc national de Port-Cros) Trav. sc. parc Nat.de Port-Cros, 6 : 39-67.

VICENTE, N. et MORETEAU, J.C. 1991 - Statut de *Pinna nobilis* L. en Méditerranée (Mollusque eu-lamellibranche). In "Les espèces marines à protéger en Méditerranée". Boudouresque, C.F. Avon, M. et Gravez, V. édit., Gis Posidonie publ., Fr., 159-168.

VICENTE, N. et de GAULEJAC, B. 1993 - *Pinna nobilis* L. (Mollusque Bivalve), indicateur biologique du littoral méditerranéen. In "qualité du milieu marin. Indicateurs biologiques et physico-chimiques" Boudouresque, C.F., Avon, M. et Pergent-Martini, C. édit., GIS Posidonie publ., Fr : 141-150.

LES POSIDONIES DE LA RÉSERVE...

par

le Professeur Alexandre MEINESZ ⁽¹⁾

Petit historique en guise d'introduction ...

Janvier 1975. Jeune assistant au Laboratoire d'Ecologie marine de l'Université de Nice, alors dirigé par le Professeur Raymond Vaissière, j'étais amené à rédiger un rapport sur mes études réalisées dans le cadre de la réserve sous-marine expérimentale de Beaulieu-sur-Mer. C'était la première réserve sous-marine de petite surface créée en Méditerranée (quelques dizaines d'hectares). Avec mes collègues du Laboratoire d'Ecologie marine, nous avons constaté ce qu'on appelle maintenant l'effet réserve (Lafaurie et Meinesz, 1974). Cinq années après la création de la réserve, les poissons étaient très nombreux et se laissaient approcher aisément. Dans cette petite zone protégée, j'avais pu réaliser le premier récif artificiel de la région, sous la forme de ragues à Sars en assemblant, en plongée, des dalles de calcaire. L'effet de colonisation avait été spectaculaire.

Nous venions en outre de commencer nos études sur l'impact des ouvrages gagnés sur la mer, impact irréversible sur la surface exigüe de l'étage infralittoral. Ainsi, entre Menton et Théoule-sur-Mer, nous avons pu estimer que dans la tranche bathymétrique la plus riche du milieu benthique littoral (entre 0 et 20 mètres de profondeur), 13 % de la surface avait été définitivement détruits. 700 hectares avaient ainsi été recouverts ou endigués par 60 ouvrages

construits sur la mer, et, devant l'ensemble du littoral des Alpes-Maritimes et de Monaco, il n'y avait à l'origine qu'un total de 5300 ha de petits fonds entre 0 et -20m (Meinesz et Lefèvre, 1978).

Ces deux études préliminaires m'avaient conduit à lancer un appel à toutes les autorités locales : il fallait des mesures de compensation, mettre en place un réseau de petites réserves sous-marines, y construire des récifs artificiels, y transplanter des végétaux sous-marins.

A Monaco, venait de s'achever le terre-plein de Fontvieille. J'avais pris l'initiative d'adresser à son Altesse Sérénissime le Prince Rainier mon rapport d'études en soulignant l'utilité du concept des petites réserves sous-marines.

J'ai eu la satisfaction de recevoir une réponse très encourageante (20/01/1975). En me félicitant pour mes travaux le Prince me fit part de son souhait de créer une réserve sous-marine dans les eaux territoriales monégasques au large du Rocher de Monaco, sous le Musée Océanographique.

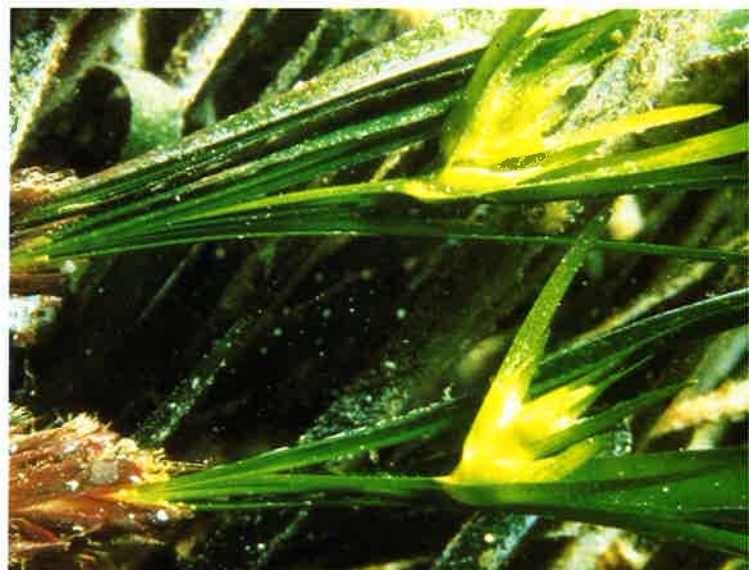
(1) Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis, 06108 Nice Cédex 2



Une touffe
de Posidonies

Photos A. MEINESZ

Fleurs
de Posidonies



J'avais eu l'occasion de plonger sous le Musée. La pente y est très forte et sur le substrat rocheux la vie peu diversifiée. Les effluents de Monaco et des communes françaises limitrophes étaient alors rejetés non loin de là et les grands travaux réalisés à Fontvieille avaient généré beaucoup de vase. Le site, peu accessible, se prêtait mal à une démonstration utile pour la faune et la flore marines.

Nous avons par ailleurs constaté que devant les plages du Larvotto se trouvait le principal herbier de Posidonies de la Principauté. La pente est douce et on y trouve des substrats et des écosystèmes variés : des tumulus de roches protégeant les endigages, l'herbier de Posidonies, les intermattes de sable et, plus bas, le sable vaseux de l'étage circalittoral.

Conscient de l'intérêt que le Prince Rainier portait à ma démarche et aux études menées à l'Université de Nice, je suggérais, pour créer cette réserve, la zone s'étendant devant les plages du Larvotto.

Quelques mois plus tard le projet de réserve sous-marine fut mis à l'étude et sa réalisation confiée à l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature créée spécialement à cet effet.

Ce petit historique montre simplement que l'herbier de Posidonies de la Réserve de Monaco a été déterminant dans la création de cette réserve.

Posidonia oceanica n'est pas une algue mais une plante à fleurs. C'est l'élément majeur des écosystèmes ben-

thiques littoraux de toute la Méditerranée. Si on trouve plus de 1000 espèces différentes d'algues macroscopiques, on n'y trouve que 5 espèces de plantes à fleurs, dont la Posidonie, qui représente à elle seule près de 80 % de la biomasse végétale sous-marine de la Méditerranée. La plante est de grande taille par rapport aux algues. Elle est pérenne, et constitue des peuplements denses support d'une vie intense. Pour toutes ces raisons l'herbier de Posidonies a été comparé à la forêt : c'est la forêt sous-marine.

Les Posidonies de la Principauté

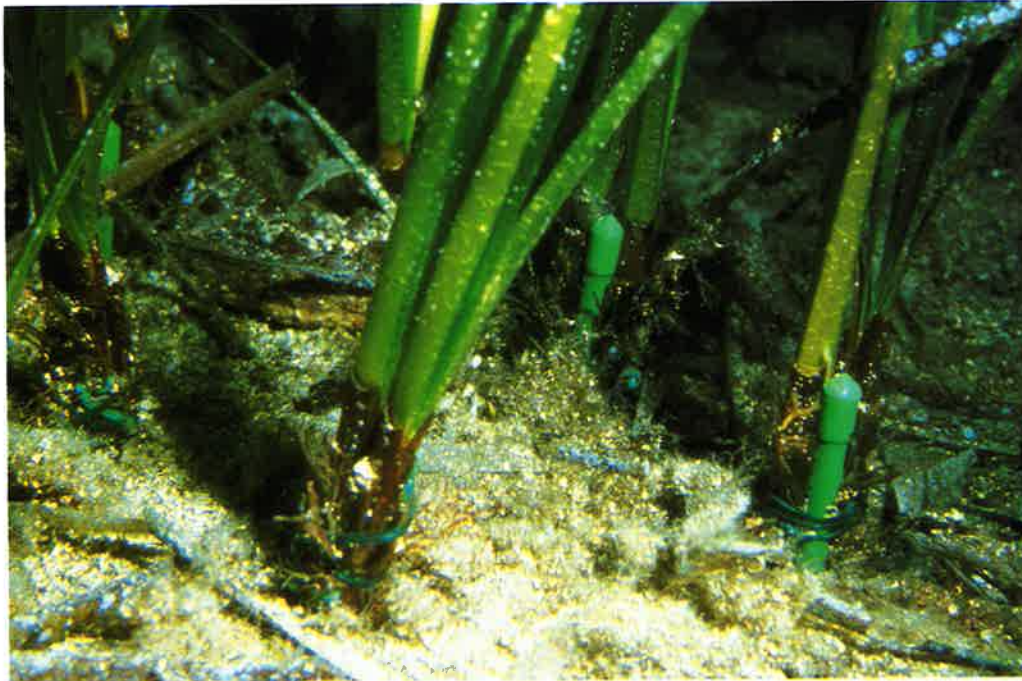
Il y a un siècle le domaine maritime devait être couvert par les herbiers de Posidonies. Mais petit à petit leur superficie s'est rétrécie en raison des pollutions urbaines générées par la Principauté, les communes environnantes et les emprises réalisées sur le littoral entre Cap d'Ail et Roquebrune Cap Martin. Il faut cependant souligner qu'on en trouve encore dans la partie Est de part et d'autre du terre plein du Sporting. Ainsi, plus de 90 % de l'Herbier se situe dans le périmètre de la Réserve, au quartier du Larvotto. Quelques dizaines de mètres carrés subsistent aussi dans la zone comprise entre le tombant du Loew's et le petit port du Portier, où se trouve la réserve à Corail.

Le balisage de la limite inférieure de l'herbier de Posidonies

Notre premier souci en liaison étroite avec l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature a été de repérer la limite inférieure de cet herbier, de la photographier, de la baliser. Cette opération a été menée le 30 octobre 1977 avec un club de plongée des Alpes-Maritimes : le Moana. La limite inférieure de l'herbier s'arrête entre 23 et 25 mètres de profondeur. Sa majeure partie a été photographiée de 5 en 5 mètres. Depuis, des plongées de suivi montrent que la situation est stable ce qui est déjà

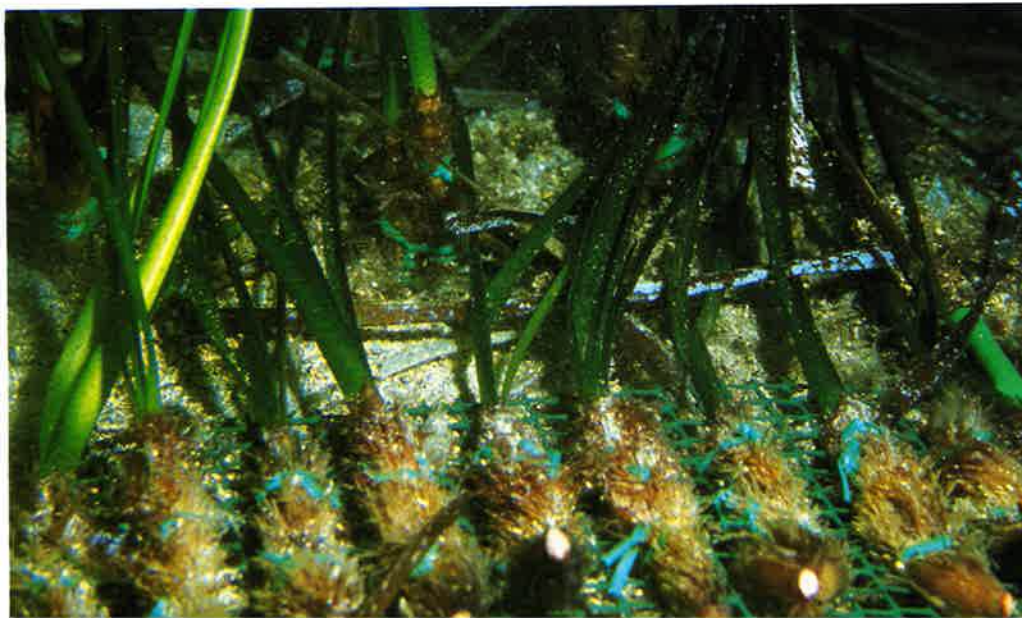
satisfaisant. La progression théorique au niveau de la limite inférieure est de toute façon très lente : de l'ordre de quelques centimètres par an. Par contre les régressions peuvent être brutales : des reculs de plusieurs mètres ont été observés dans la région PACA en un an.

Vers la limite Ouest de la Réserve, la limite inférieure de l'herbier forme un angle droit : elle rejoint la côte. Elle est parallèle au déversoir d'orage. Ainsi, épisodiquement, à la suite d'orages violents, les surverses du réseau d'égoûts conduisent à la mer des eaux troubles chargées de limons qui envasent les parages de l'extrémité de l'émissaire. Ces conditions ne sont pas favorables aux Posidonies qui ne peuvent ainsi se réinstaller durablement dans ce secteur.



*Boutures,
transplantées
avec tuteurs*

Photos A. MEINESZ



*Boutures,
transplantées
fixées sur
des grillages*

La carte de l'herbier de Posidonies

La carte de l'herbier a été dressée en 1984 à bord du petit sous-marin de la Marine Nationale "le Griffon". Pendant que le sous-marin évoluait au-dessus de la limite de l'herbier, la position de l'engin était relevée toutes les minutes. La carte sur laquelle figure la route du sous-marin correspond ainsi à la situation de la limite de l'herbier.

La carte des contours profonds de l'herbier a ainsi pu être dressée (Falconetti et Meinesz, 1989)

La transplantation de Posidonies

Une fois cette carte dressée et les contours les plus fragiles (limite inférieure) bien surveillés l'on pouvait envisager des études plus fondamentales sur la Posidonie. A Monaco, des expérimentations *in situ* étaient facilitées grâce à la stricte protection de l'herbier mis en réserve.

Des centaines de publications scientifiques traitent de la Posidonie. Beaucoup de biologistes ont consacré des années d'études sur sa biologie (sa croissance, son développement, sa reproduction), sur ses exigences écologiques comme sur la vie intimement liée aux longues frondaisons qui ondulent sous le courant. Mais, vers la fin des années

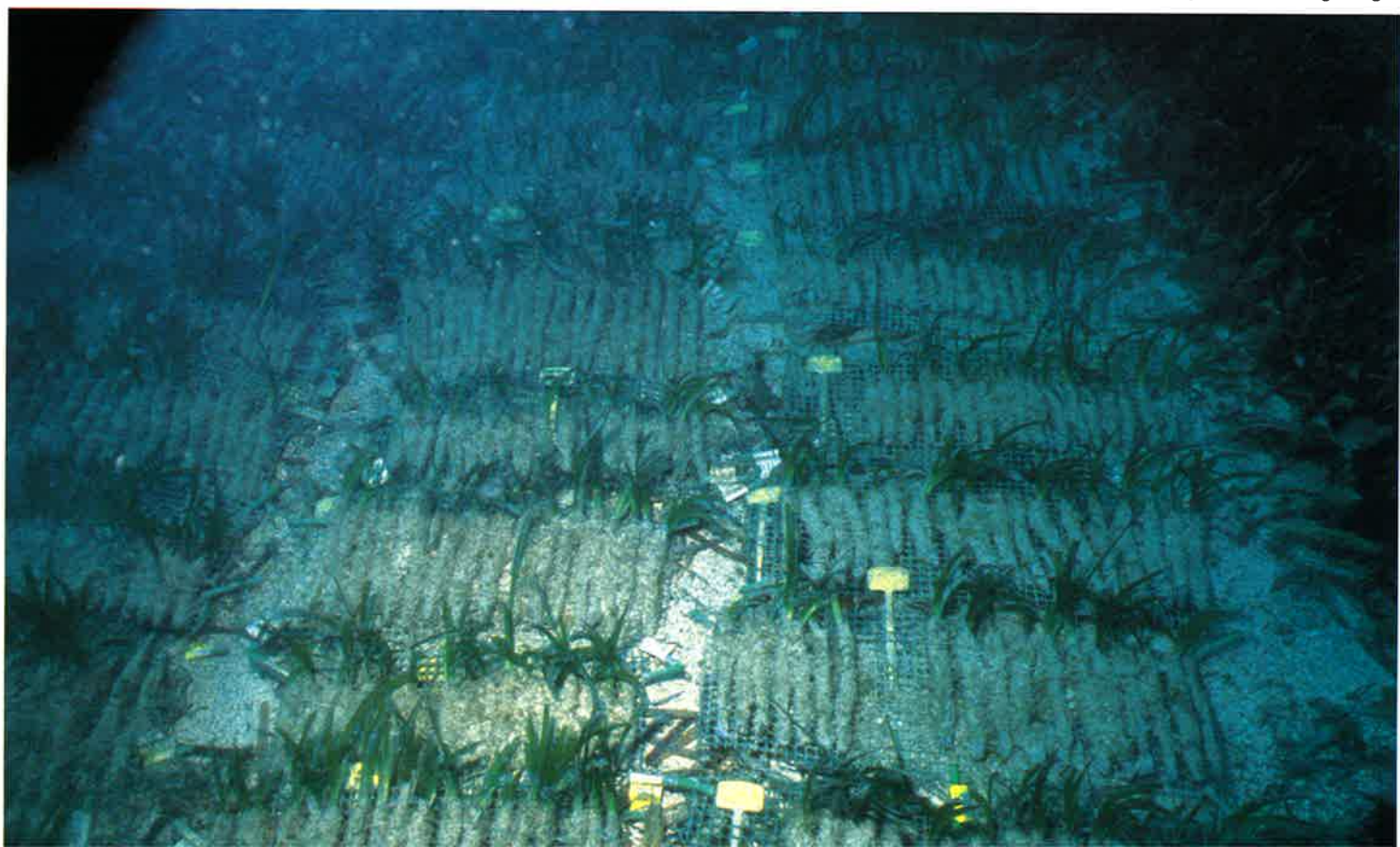
1970 un thème de recherche avait quelque peu retenu l'attention des biologistes : il s'agissait des caractéristiques de la reproduction végétative. Seul un marin pêcheur visionnaire, habitant la presqu'île de Giens, Monsieur Cooper, avait, avec beaucoup de perspicacité, constaté que l'on pouvait replanter des Posidonies comme on bouture des Géraniums.

Il était utile de décrire scientifiquement tous les paramètres qui favorisent la reproduction végétative (la reprise des boutures).

Les Posidonies ne sont pas des Géraniums, elles repoussent mal et, ne l'oublions pas, nous sommes sous l'eau. Les boutures étant soumises à la pression de l'hydrodynamisme, il faut qu'elles soient artificiellement fixées.

Mes premières tentatives de transplantations, datent de l'époque où je testais toutes les techniques susceptibles de restaurer la vie-marine littorale. Réalisées devant les plages de Nice en 1977, elles furent plutôt décevantes. Nous avons suivi le développement de ces boutures pendant cinq années. Les rares boutures survivantes poussaient très bien. Pourquoi elles et pas les autres ? Il fallait comprendre pour quelles raisons la plupart des boutures ne poussaient pas et dépérissaient après leur implantation.

Réserve des Lavazzi :
5000 boutures
fixées sur des grillages



Pendant trois années (1985 à 1988) nous avons multiplié les tentatives de transplantation avec l'aide du Conseil général des Alpes-Maritimes. De 1988 à 1992, nous avons sélectionné toute une série de paramètres susceptibles d'agir sur la reprise des boutures. Une de nos étudiantes fut chargée d'étudier ces paramètres dans le cadre d'un DEA, puis d'une thèse (Molenaar, 1992).

Plus de 6000 boutures furent transplantées à Nice, à Villefranche-sur-Mer, à Port-Cros et dans les réserves de Corse. Chacune d'elles était marquée et ses caractéristiques relevées. L'évolution de ces boutures fut suivie tous les trois mois pendant trois années. Tous les plongeurs de notre Laboratoire furent mobilisés pour cette étude.

Après ces trois années d'expérimentations laborieuses, nous avons défini le rôle d'un grand nombre de paramètres : le choix des boutures selon leur orientation d'origine (orthotropes ou plagiotropes), l'orientation des boutures implantées (dressées ou couchées), la saison de transplantation, la taille des boutures, le nombre de faisceaux foliaires par bouture (Caye et Meinesz, 1989 ; Meinesz *et al.*, 1990, 1991a, 1991b, 1992, 1993 ; Molenaar *et al.*, 1993).

Si l'on tenait compte des enseignements donnés par ces expériences, l'on obtenait de bons résultats de reprise mais avec parfois des taux importants d'échecs inexplicables. Un dernier paramètre fut étudié : la profondeur de récolte des boutures et la profondeur de transplantation. Ce paramètre se révéla déterminant : les Posidonies prélevées en profondeur et implantées au-dessus de cette profondeur reprenaient très bien. A l'inverse, des Posidonies prélevées près de la surface et transplantées plus bas reprennent mal, sinon pas du tout. Si la différence de profondeur dépasse les 15 mètres, le taux de reprise se situe entre 0 et 5 % (Molenaar et Meinesz, 1992).

Avec la connaissance de ce dernier paramètre nous avons pu proposer une méthode qui garantit une reprise de plus de 90 % des boutures transplantées sur un site favorable à leur développement.

Nous avons voulu approfondir ces recherches et connaître les raisons de l'importance du facteur "déplacement bathymétrique des boutures".

Pour cela, nous devions disposer d'un site d'expérimentation très protégé (pas d'ancrage), facile d'accès, non loin de notre Université. La Réserve de Monaco répondait à ces critères et nous avons ainsi encore eu l'opportunité de collaborer avec les responsables de celle-ci pour la réalisation de ces expériences. Les boutures récoltées devant la Pointe de la Vieille ont été transplantées à différentes profondeurs dans la Réserve de Monaco. L'analyse des pigments photosynthétiques (chlorophylles) et des réserves glucidiques de la plante fut réalisée tous les mois après leur implantation. Exposés dans le cadre d'un DEA et publiés

(Génot *et al.*, 1994) les résultats sont clairs : vers la surface les boutures sont pauvres en réserves glucidiques. Elles sont toujours en position d'en fabriquer suffisamment par photosynthèse. En profondeur, elles ont tendance à accumuler les glucides : à certaines saisons elles puisent dans ces stocks pour pallier au déficit en énergie lumineuse. Quand on coupe un rhizome de Posidonie (on détache une bouture), le fragment coupé reçoit un stress et utilise toutes ses réserves pour la cicatrisation du tissu coupé (attaqué par des bactéries marines). De même il doit reconstituer ses racines et réorienter ses faisceaux de feuilles pour capter au mieux la lumière. Seules les boutures prélevées en profondeur à la fin du printemps et au début de l'été, et transplantées plus près de la surface, ont suffisamment de réserves pour la reprise, également favorisée par une meilleure exposition à la lumière.

Conclusion

L'herbier de Posidonies de la Réserve de Monaco est resté stable pendant les vingt années de sa protection. Cet espace protégé où les Posidonies sont en équilibre avec les conditions du milieu nous a permis d'étudier certains paramètres qui régissent le bouturage de la plante. En l'absence de reproduction sexuée régulière, nous pensions que cette voie de reproduction végétative devait être prépondérante pour la survie et la progression de la plante. Nos expériences tendent à prouver qu'elle doit être peu efficace : les rhizomes arrachés par les tempêtes sont surtout arrachés près de la surface, là où l'hydrodynamisme est le plus actif. Les boutures entraînées par les mouvements de l'eau tendent à être emportées vers le fond. Le sens de ce déplacement bathymétrique est peu favorable à la reprise de ces boutures potentielles.

Pour la progression des Posidonies, il ne reste que la lente reptation des rhizomes en place : ils peuvent reconquérir les espaces ... au rythme de 3 à 10 cm par an.

Les techniques de transplantations de Posidonies sont ainsi utiles.

Devant la Principauté, il y a peu d'espaces favorables pour que ces techniques puissent être appliquées. Mais, dans la région PACA, on connaît des zones où des centaines d'hectares de Posidonies ont été détruits par une pollution aujourd'hui maîtrisée. Le biotope est redevenu favorable à la plante mais, on le sait, il faudra des siècles, voire des millénaires, pour qu'elle s'y réinstalle. Les techniques de transplantation de Posidonies pourront accélérer la reconquête de ces fonds par la forêt sous-marine.

Mais les Posidonies de la Réserve de Monaco, comme celles de toute la Méditerranée, sont maintenant menacées

par une autre atteinte inattendue, qu'on ne peut ignorer. Il s'agit d'une pollution biologique : une espèce d'algue tropicale introduite, au comportement envahissant, est entrée en concurrence avec la Posidonie. *Caulerpa taxifolia* a déjà envahi les petits herbiers de Posidonies reliques du Loews

et des Spélugues, elle est maintenant au contact avec les herbiers de la Réserve de Monaco.

Espérons que la Nature ou l'Homme, puisse relever ce nouveau défi et que les Posidonies ne soient pas classées, d'ici une génération, au chapitre des espèces disparues !

Bibliographie

- CAYE G. et MEINESZ A. 1989 : Cultures en milieu artificiel de *Posidonia oceanica* à partir de graines. *Proc. 2nd International Workshop on Posidonia beds - Ed. : GIS -Posidonie*, 2 : 293-299.
- CAYE G. et MEINESZ A. 1992 : Analyse des modalités de la multiplication végétative et de la reproduction sexuée de *Posidonia oceanica* et de ses conséquences sur la constitution génétique des herbiers. *Comm. Int. Exp. Sc. Med. Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 33 : 32.
- FALCONETTI C. et MEINESZ A. 1989 : Charting the seaward limit of *Posidonia* meadows and of circular biocoenoses along the coast of Monaco. *Oceanologica acta*, 12 (4) : 443-447.
- GENOT I., CAYE G., MEINESZ A. et ORLANDINI M. 1994 : Role of Chlorophyll and carbohydrate contents in survival of *Posidonia oceanica* cuttings planted to different depths. *Marine Biology*, 119 : 23-29.
- LAFURIE M. et MEINESZ A. 1974 : Création d'un parc sous-marin de repeuplement expérimental. *Comm. intern. mer Médit. (CIESM)*, 22 (6) : 103-105.
- MEINESZ A., CAYE G., LOQUES F. et MACAUX S. 1990 : Analyse bibliographique sur la culture des phanérogames marines. *Posidonia newsletter* Ed. *GIS Posidonie*, 3(1) : 2-67.
- MEINESZ A., CAYE G., LOQUES F. et MOLENAAR H. 1991a : Growth and development in culture of orthotropic rhizomes of *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, 3 : 367-377.
- MEINESZ A., CAYE G., LOQUES F. et MOLENAAR H. 1991b : Restoration of Damaged areas with transplantation of seaweeds and seagrasses in the mediterranean : review and perspectives. 1st Marine Phytobenthos studies and their applications, *Oebalia*, 17 (1 suppl.) : 131-142.
- MEINESZ A., CAYE G., LOQUES F. et MOLENAAR H. 1993 : Polymorphism and development of *Posidonia oceanica* transplanted from different parts of the Mediterranean into the National Park of Port-Cros. *Botanica Marina*, 36 : 209 - 216.
- MEINESZ A. et LEFEVRE J.R. 1978 : Destruction de l'étage infralittoral des Alpes Maritimes (France) et de Monaco par les restructurations du rivage. *Bulletin d'Ecologie*, 9 (3) : 259-276.
- MEINESZ A., MOLENAAR H., BELLONE E. et LOQUES F. 1992 : Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. I. Effects of rhizome length and time of year on development in orthotropic transplants. *PSZNI Marine Ecology*, 13(2) : 163-174.
- MOLENAAR H., 1992. Etude de la transplantation de boutures de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, phanérogames marines. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance. Thèse de l'Université de Nice -Sophia Antipolis. Ed. Lab Environnement Marin Littoral-Univ. Nice Sophia Antipolis. 1-221.
- MOLENAAR H. et MEINESZ A. 1992 : Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. II. Effects on growth and development of transplanting orthotropic rhizomes between different depths. *PSZNI Marine Ecology*, 13(2) : 175-185.
- MOLENAAR., MEINESZ A. et CAYE G. 1993 : Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. Survival and development in different morphological types of transplanted cuttings. *Botanica Marina*, 36 : 481-488.

LA RÉSERVE À CORAIL ROUGE

par

Denis ALLEMAND ⁽¹⁻²⁾ **Eugène DEBERNARDI** ⁽¹⁾

Pierre GILLES ⁽¹⁻³⁾ **Nadia OUNAIS** ⁽¹⁻³⁾

Didier THERON ⁽¹⁻³⁾ **Thierry THEVENIN** ⁽¹⁻³⁾

Présentation

La création de cette réserve a eu pour objectif initial la protection de l'unique tombant coralligène existant dans les eaux territoriales de la Principauté. La réserve a été créée par Ordonnance Souveraine n° 8681 du 19 août 1986 (complétée par l'Ordonnance Souveraine n° 10426 du 9 janvier 1992). Elle est située dans le tombant de la pointe Focignana avec une superficie de 1 hectare pour une profondeur maximale de 38 mètres.

Le Corail Rouge :

Mystérieuse mais fascinante espèce !

Le corail rouge fascine les hommes depuis les temps préhistoriques. Les premières utilisations du corail remontent en effet au Paléolithique supérieur (env. 20 000 Av. J.C.). Plus tard, les Sumériens, les Égyptiens, les Phéniciens, les Grecs et les Romains le représenteront sur des peintures murales, sur des vases, ou l'utiliseront pour la réalisation de bijoux et d'objets divers. La religion chrétienne fera de la couleur rouge du corail le symbole du sang du sacrifice du Christ. Le moyen-âge lui confèrera des pouvoirs magiques, accentués par sa localisation dans les profondeurs marines : il met en échec le mauvais, protège les récoltes, donne à la terre sa fertilité, défend les navires contre la foudre, éloigne la haine de la maison. Le commerce antique échangeait le corail de Méditerranée contre l'ambre de la mer du Nord. Il était d'usage de porter dans sa bourse quelques morceaux de corail comme talisman contre les sorcières. Il fut aussi employé à des fins médicales où ses vertus sont supposées nombreuses. Sous forme de poudre par exemple, il était introduit dans la bouillie des bébés afin de les protéger contre les épidémies (Liverino, 1983 ; Spinosa, 1990 ; Ascione, 1993).

Malgré cette utilisation plusieurs fois millénaire, la nature réelle du corail rouge est restée longtemps mystérieuse et de nombreux et vifs débats ont opposé les partisans d'un corail végétal aux partisans du corail animal voire

minéral. Il faut attendre le XVIII^e siècle avec les travaux d'un jeune médecin marseillais, Jean-André Peyssonnel, pour que la nature animale du corail rouge soit enfin reconnue : il écrit à Réaumur, «j'observais ce que nous croyons être la fleur de cette prétendue plante n'est au vrai qu'un insecte semblable à une petite ortie... J'avais le plaisir de voir remuer les pattes de cette ortie, et ayant mis le vase plein d'eau où le corail était à une douce chaleur auprès du feu, tous les petits insectes s'épanouirent» (McConnel, 1990 ; Weinberg, 1993).

Le corail rouge (*Corallium rubrum*) est une espèce typiquement méditerranéenne, principalement localisée en Méditerranée occidentale, où ses peuplements apparaissent potentiellement continus. En Méditerranée orientale, sa répartition semble ponctuelle : côte yougoslave, Mer Égée. Sa répartition déborde en quelques points sur la façade atlantique : côte Sud du Portugal, côtes africaines (Iles Canaries, Mauritanie, Sénégal, Iles du Cap vert). Actuellement, les zones de pêche sont principalement localisées sur les côtes d'Afrique du Nord et d'Espagne, en Corse (Bonifacio) et en Sardaigne. La répartition bathymétrique du corail rouge est assez large : de quelques mètres de profondeur à 300 mètres environ. Dans les zones de faible profondeur il est typique des grottes et surplombs à faible éclaircissement. Plus bas, on le rencontre fixé sur les falaises ou à même le sol (Laborel et Vacelet, 1961 ; Zibrowius *et al.*, 1984 ; FAO 1984, 1989).

D'autres espèces de coraux précieux *Corallium* vivent dans les mers du Japon (corail rose ou rouge: *C. japonicum*, *nobile*), et Atlantique (corail blanc : *C. johnsoni*)... Cet animal appartient à un vaste embranchement zoologique relativement primitif, les Cnidaires. Cet embranchement est

(1) AMPN.

(2) Observatoire Océanologique Européen du Centre Scientifique de Monaco.

(3) Aquarium du Musée Océanographique de Monaco.

LES RÉSERVES MARINES/ LA RÉSERVE À CORAIL

assez polymorphe et regroupe des animaux à priori aussi différents que les méduses, l'hydre d'eau douce, les coraux constructeurs de récifs (scléactiniaires), les anémones de mer, le corail noir (*Antipathes*), les gorgones...

Parmi les Cnidaires, le nom «corail», primitivement donné au «corail rouge», a par la suite été donné abusivement à des genres différents : corail noir (*Antipathes*, à squelette non minéralisé), coraux constructeurs de récifs, corail bleu, coraux mous... Mais alors que ses cousins tropicaux constructeurs de récifs ont besoin de lumière pour vivre et élaborer leur imposant squelette, le corail rouge préfère l'ombre. En contrepartie son taux de calcification fait piètre figure : quelques millimètres par an par rapport à plusieurs centimètres pour les coraux tropicaux !

L'anatomie du corail rouge est relativement simple (Grillo *et al.*, 1993; Allemand, 1993) : les tissus recouvrent le squelette axial comme un doigt de gant (**Dessin 1**). Le squelette résulte donc d'une sécrétion externe centrifuge (par couches concentriques). Seul ce squelette a une valeur commerciale : il est formé de carbonate de calcium (CaCO_3), cristallisé sous la forme de calcite. Il possède également une fraction organique représentant environ 1,5 % du poids total du squelette (Allemand *et al.*, 1994). Cette fraction organique, constituée de protéines et de mucopolysaccharides complexes, jouerait un rôle clé dans le contrôle des processus de calcification et constituerait de plus une charpente conférant à la structure calcifiée, des propriétés mécaniques exceptionnelles (la pression de rupture d'une telle structure est 10 fois supérieure à celle d'un béton !). La couleur rouge du corail est uniquement due à la pigmentation de son squelette par des substances du type carotène (Merlin et Delé, 1983). La morphologie des tissus est classique de l'embranchement : deux couches de tissus (formées chacune d'une seule épaisseur de cellules) ensèrent une couche gélatineuse sans cellule. Un lacs de petits canaux, parcourent la mésogée, comme un système circulatoire dont la fonction est encore mal comprise. Ces petits canaux communiquent avec de gros canaux situés parallèlement au squelette axial et avec les polypes qui constituent les bouches du corail (et non pas un animal à lui tout seul, comme on le croit souvent). Ces polypes, qui portent 8 tentacules peuvent se rétracter complètement dans de petites loges, disparaissant totalement à la vue. Les cycles d'ouverture / fermeture des polypes, tout comme leur fonction exacte sont là encore mal connus (Russo *et al.*, 1993). Leur fermeture ne signifie pas en tout cas que le corail est mort. La mésogée contient aussi des petits grains de calcaire, appelés spicules, situés près de la surface externe de l'animal, et qui pourraient jouer un rôle dans la protection mécanique contre l'abrasion.

Les organes génitaux du corail se trouvent à l'intérieur des polypes. Normalement, les sexes sont séparés, bien que

Dessin 1
Corail Rouge



Extrait
LACAZE-DUTHIERS, 1864

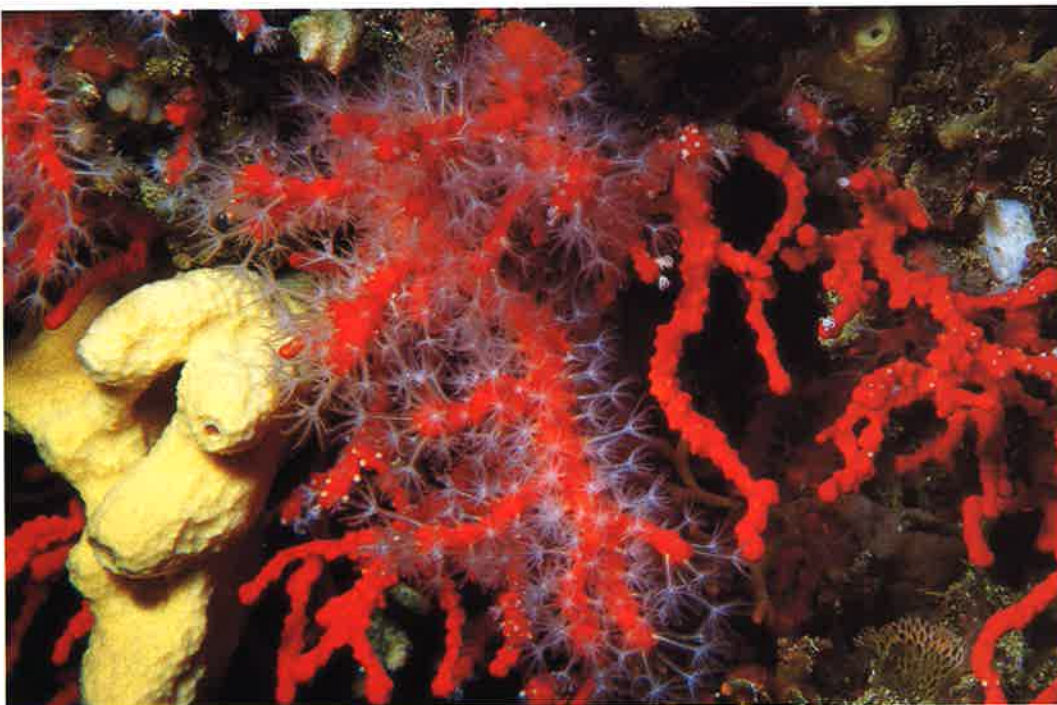
la présence de pieds hermaphrodites, quelquefois signalés, puisse s'expliquer par la fusion de deux colonies. La maturation des cellules reproductrices mâles s'effectue en un an. Elle commence au début de l'été. Par contre, la maturation des gonades femelles s'effectue sur deux ans. Celle-ci débute lentement la première année pour être pleinement réalisée au début de l'été de la 2^{ème} année (Vighi, 1972). Un même polype femelle possède donc des cellules sexuelles à deux stades différents de maturation. Après leur émission par le polype mâle, les spermatozoïdes nagent à la rencontre du polype femelle. La fécondation se réalise à l'intérieur du polype. La jeune larve, appelée planule, se développe pen-

dant 20 à 30 jours dans le polype avant de sortir en pleine eau : elle est à ce stade ciliée, vermiforme et blanchâtre. L'émission des larves s'échelonne entre le mois de juillet et le début du mois d'octobre suivant la profondeur. Les larves nagent de 4 à 15 jours, d'abord en direction ascendante, à la recherche d'un plafond de grotte. Si elles ne trouvent rien, leur nage devient descendante, jusqu'à ce qu'elles rencontrent un substrat favorable à leur métamorphose, dont les mécanismes et le contrôle sont totalement inconnus. Il semble d'autre part que la larve soit insensible à la lumière, suggérant ainsi que la répartition du corail rouge vis-à-vis de la lumière résulte soit d'une absence de site propice à la métamorphose dans les zones éclairées, soit d'un problème de croissance des jeunes colonies (par compétition avec les algues par exemple). Après sa métamorphose, la jeune larve commence à édifier un squelette : une nouvelle colonie de corail est née. La maturité sexuelle des premiers polypes sera atteinte au bout de 2 ans environ.

On estime actuellement que la quantité annuelle de corail rouge pêchée en Méditerranée est de 70 tonnes. Si l'espèce corail rouge ne semble pas en danger, par contre, sa haute valeur économique, ou tout simplement son attrait sur les plongeurs amateurs a provoqué la surexploitation des zones de faibles profondeurs, aboutissant à sa totale disparition en beaucoup d'endroits sur nos côtes. La pêche professionnelle se pratiquait traditionnellement jusqu'à il y a peu de temps encore grâce à des engins traînants. La Croix de Saint-André est constituée d'une croix de bois ou plus récemment d'acier à laquelle sont attachés des filets. Traînée par le bateau sur des fonds d'une cinquantaine de mètres, la



Photos JEAN-MICHEL MILLE



croix brise les colonies de corail dont les morceaux se prennent dans les filets. Un tel équipage remonte de 1 à 2 tonnes de corail par an. Mais les dégâts sur le fond sont importants, et surtout non spécifiques. Par contre, les nombreux petits morceaux restants sur le sol peuvent permettre le bouturage. Actuellement la majorité de la pêche est effectuée en scaphandre autonome, un plongeur pouvant collecter ainsi jusqu'à 5 tonnes de corail annuellement en 200 plongées environ. Cette méthode apparaît beaucoup plus sélective. Le corailleur ne voulant pas détruire le banc de corail qu'il exploite, ne ramassera que les grosses branches (supérieures à 7 mm de diamètre) dont la valeur marchande est plus importante. Malheureusement, les nouvelles techniques de bijouterie permettent, à partir de fragments de squelette réduit en poudre, de reconstituer grâce à des résines synthétiques un morceau de corail. Ces méthodes risquent rapidement de provoquer le ramassage des colonies de petites tailles, jusqu'ici non commercialisables.

Un autre facteur potentiel de disparition de l'espèce est la pollution dont les conséquences sur le corail rouge sont en fait mal connues. D'après les corailleurs, il semblerait qu'il soit peu sensible aux polluants puisque ceux-ci en collectaient près de l'émissaire de Cortiou à Marseille. Rivoire (1987) a signalé au large de La Ciotat un fort pourcentage de colonies mortes entre 50 et 150 mètres de profondeur sur les versants Est, exposés au courant Ligure. Ce phénomène de mortalité catastrophique ne semble pas avoir d'équivalent à plus faible profondeur. La cause n'a jamais été élucidée, mais une étude ultérieure (Harmelin *et al.*, 1991) a démontré que l'épisode de mortalité était corrélé à la présence de métaux lourds et d'hydrocarbures. Si l'action des polluants sur le corail rouge est peu connue, par contre l'effet des micro-particules, rejetées par exemple lors de travaux en mer, semble extrêmement nocif en étouffant les colonies.

Afin de reconstituer les stocks dans les zones où le corail a été surexploité, ou même de coloniser des zones favorables, deux types de résolution ont été pris par les pays du bassin méditerranéen : création de réserves sous-marines et culture du corail. Malheureusement, le nombre de pays possédant des réserves à corail est encore faible : à part la Principauté de Monaco, seules la Yougoslavie et la Tunisie possèdent des réserves permanentes, la Sardaigne et l'Espagne ne possédant que des réserves temporaires. En ce qui concerne la culture du corail, le problème est complexe et nécessite des expérimentations : l'aquaculture réelle ne paraît pas actuellement rentable, étant donné la faible vitesse de croissance du corail (de l'ordre de 6 mm/an). Par contre il est intéressant d'utiliser les excellentes facultés de régénération du corail en pratiquant le bouturage. Les petites branches de faibles valeurs commerciales pourraient être utilisées dans ce but. Une première expérience, tentée près de Banyuls sur mer en 1979 par Steven Weinberg, a montré que le bouturage du

corail rouge directement dans le milieu était possible mais dépendait fortement des conditions de lumière. Poursuivant ces expériences, l'AMPN a décidé de construire des grottes artificielles afin de recréer le milieu naturel du corail rouge et dans lesquelles le bouturage pourrait être effectué. Cette méthode permet ainsi une semi-culture en milieu contrôlé. Les expériences pour être concluantes sont réalisées à la profondeur où le corail vit naturellement. Ces expériences décrites ci-après constituent ainsi une première dans ce domaine, dont les résultats sont attendus impatientement.

La coralliculture

La disparition du corail rouge des zones de faibles profondeurs de nos côtes a fait surgir de nombreuses préoccupations au niveau de la gestion de cette ressource et a stimulé la recherche sur la biologie de cette espèce, encore fort méconnue (cf. ci-dessus et Allemand, 1993). Afin d'apporter des solutions à ce problème, deux consultations techniques ont été tenues sous l'égide de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization - F.A.O.) et du Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée (C.G.P.M.) (FAO, 1984, 1989). Lors de la II^e Consultation Technique sur le corail rouge de Méditerranée (Torre del Greco - Naples - 27 / 30 septembre 1988), la délégation italienne, en la personne du Professeur Ricardo Cattaneo-Vietti, proposait qu'un programme de recherches coordonnées soit engagé afin d'étudier les méthodes pouvant conduire à terme à une production artificielle de cette espèce.

L'Algérie, l'Espagne, Malte, la Tunisie et la Yougoslavie ont adhéré au principe d'une action commune à laquelle notre Association, par la voix de son Président, a tenu à apporter son concours. Ce programme a été approuvé par le Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée dans sa XIX^e session (Livourne - Italie - 27 février / 3 mars 1989). Le Président de l'AMPN, membre du CGPM, proposait pour sa part de réaliser une étude *in situ* de transplantation de corail rouge, du suivi de sa croissance et de son développement en conditions contrôlées (FAO, 1989). L'expérience qui allait s'engager avait pour objectifs :

- l'étude de l'adaptation et du développement de colonies de corail transplantées de leur substrat naturel sur un substrat artificiel placé dans un milieu naturel à une profondeur quasiment identique,
- le suivi de la croissance de ces colonies déplacées à l'intérieur de grottes artificielles,
- la reproduction éventuelle du corail dans ces nouvelles conditions d'implantation,
- le suivi du développement de ces colonies et les mesures de croissance.

Le corail ayant une prédilection pour les zones obscures (grottes, tombants abrités de la lumière naturelle, etc.), il était indispensable que l'expérience envisagée se déroule dans un environnement aussi proche que possible de la réalité. Le recours à des grottes artificielles permettant un suivi scientifique fut alors décidé par l'AMPN. Deux expériences de coralliculture allaient être réalisées de 1988 à 1995. Pour la première expérience, l'AMPN eut recours à des grottes en béton qui furent immergées fin 1988. Cette première expérience a permis de démontrer que :

- le corail transplanté survit parfaitement et s'adapte à un substrat artificiel,
- sa reproduction reste effective dans ces grottes artificielles, qui jouent un rôle de collecteur de larves.

Devant le succès de cette première expérience, le Président de l'AMPN proposait la mise à l'étude d'un prototype de grotte artificielle réalisée dans un matériau plus léger, et donc plus facilement transportable, tout en permettant un suivi scientifique plus aisé. Les premiers résultats de cette seconde expérience, présentés ici pour la première fois, confirment les résultats acquis et permettent d'envisager d'autres modes de multiplication du précieux corail rouge.

Première expérience de coralliculture

Les grottes artificielles en béton.

La première expérience de coralliculture a été réalisée en 1988 en utilisant des "grottes à corail" en béton aux dimensions (3 x 2 x 2,2 m). La construction de ces grottes a été précédée d'une série d'essais sur une maquette immergée dans un aquarium de manière à définir autant que possible le meilleur positionnement des ouvertures dans les parois pour assurer un courant d'eau optimal à l'intérieur du volume. Elles ont été calculées pour tenir compte des impératifs des plongeurs appelés à travailler (*Figure 1*)

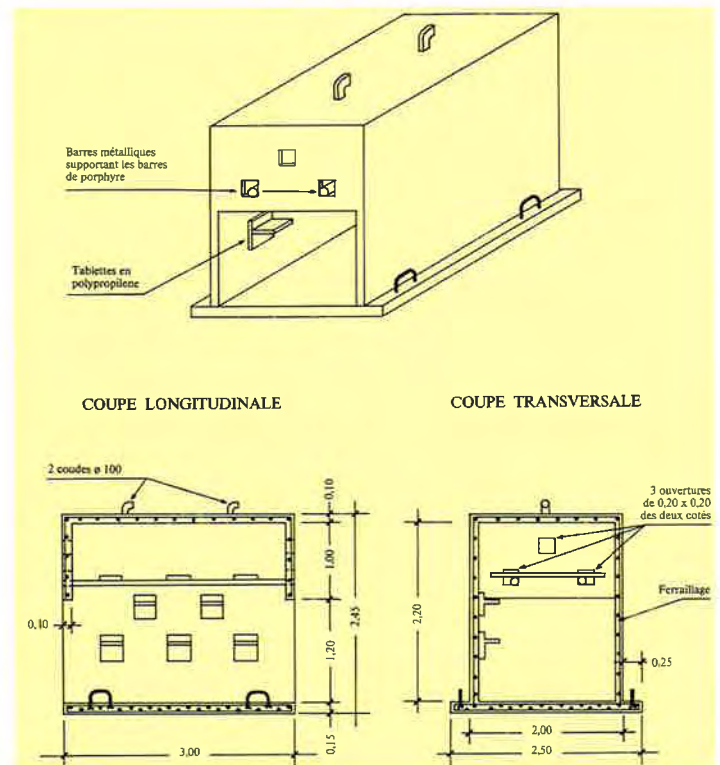
Vue générale de la grotte.

Photo JEAN-MICHEL MILLE



Figure 1
Grotte artificielle
à corail rouge

Projet d'exécution
Georges Meozzi (A.M.P.N.)
7 novembre 1988
Echelle : 1/50^e



(Debernardi, 1992). Dès le mois de décembre 1988, la Direction de la Société «Entreprise des Grands Travaux Monégasques» commençait le moulage de 4 grottes en béton d'un poids unitaire de 8 tonnes, dont elle prenait en charge une part importante du coût de construction. Grâce au bienveillant concours des Services Techniques du Département des Travaux Publics, ces grottes pouvaient être immergées le 21 décembre 1988. L'immersion eut lieu dans un premier temps dans le port de Monaco afin de nettoyer le béton des grottes. Le 13 janvier 1989, les grottes furent transférées à leur emplacement définitif :

- 2 dans la réserve à corail, au pied du tombant du Loew's à 300 m à l'Est de l'entrée du port, par 38 m de fond,

- 2 à la limite Sud de la réserve principale (quartier du Larvotto) à environ 600 m à l'Est des précédentes et à 27 m de profondeur.

Les grottes de chacun de ces deux groupes ont été disposées perpendiculairement l'une à l'autre afin d'étudier l'éventuelle action des courants marins.

Des colonies de 3 à 8 cm de hauteur et d'environ 8 mm de diamètre ont été recueillies sur le tombant du Loew's tout proche. Elles furent d'abord fixées avec des boulons sur des panneaux de polypropylène à l'intérieur des grottes. Chaque panneau (60 x 19 x 3 cm) recevait ainsi 6 branches de corail.

Certains panneaux étaient placés en position verticale (le corail étant alors horizontal), d'autres en position horizontale (le corail étant alors «tête en bas»). Six mois après le début de l'expérience plus de 50 % des colonies avaient été perdues à cause du système de fixation qui avait provoqué soit la rupture de l'axe calcaire, soit la nécrose du tissu, avec pour conséquence de faire tomber les colonies, le serrage n'étant plus assuré. Cependant, les résultats étaient prometteurs puisque les colonies transplantées restées en place étaient saines et actives.

Un second procédé de fixation fut alors élaboré avec l'aide des responsables de l'aquarium du Musée Océanographique de Monaco. Les colonies furent cette fois fixées à l'aide d'une résine époxy spéciale neutre polymérisant à prise sous l'eau (UW Pâteux, DEVCON Ltd, Irlande). Dans ce cas, les colonies semblent avoir parfaitement toléré la transplantation, le pourcentage de colonies actives étant proche de 100 %. Des supports en porphyre furent également utilisés dans cette seconde série d'expériences réalisées avec la résine Devcon...

Résultats

Les colonies ont montré une bonne capacité d'adaptation compte tenu des conditions de luminosité, d'hydrodynamisme et de sédimentation optimales dont elles ont bénéficiées dans les grottes artificielles. Un an après le début de l'expérience, de nombreux organismes ont proliféré dans ces grottes sans pour autant gêner les colonies de corail transplantées qui restent même en mesure de s'opposer autour de leur base au développement de ces organismes (Cattaneo-Vietti *et al.*, 1992).

En avril 1991, deux ans après le début de l'expérience, de nombreuses jeunes colonies (10 à 15/m²) ont été observées sur le plafond de l'une des grottes. En février 1992, 150 jeunes colonies ont été dénombrées à l'intrados de la voûte de la grotte située à l'ouest du site du tombant du Loew's. Quelques petites colonies à peine visibles pouvaient être repérées sur les deux parois verticales principales. En janvier 1993, ces colonies présentaient un taux de croissance élevé qui pouvait aller jusqu'à 10 à 15 mm par an. Cependant, la plupart des colonies avaient une forme trapue, avec deux ou trois ramifications. Ce taux de croissance est beaucoup plus important que celui observé dans des expériences similaires conduites en laboratoire, où six mois après la fixation de la larve aucune augmentation de taille n'a pu être observée (Chessa *et al.*, 1992). Ceci démontre que la maîtrise de nombreux paramètres fait encore défaut pour réaliser une culture *in vitro* du corail rouge. D'autres jeunes colonies se sont également fixées sur la résine Devcon et sur les plaques de polypropylène.

Ces observations sembleraient démontrer que le substrat offert aux jeunes larves de corail leur convient et leur

assure des conditions suffisantes pour permettre leur fixation et leur développement ultérieur.

Rôle des grottes à corail.

En conclusion, étant donné le faible taux de croissance du corail rouge à l'état adulte, il ne semble pas que ce type de grotte soit approprié pour une réelle culture du corail rouge. Par contre, les bons résultats obtenus, tant en ce qui concerne la «manipulation» des colonies, que le succès de la fixation en si peu de temps, permet d'être optimiste pour une future utilisation de ces grottes comme «diffuseurs» de larves dans des programmes de recolonisation. En effet, les organismes marins, qu'ils vivent en pleine eau à l'état adulte comme les méduses, ou sur le sol comme le corail rouge ou l'oursin par exemple, possèdent une phase de leur cycle de vie planctonique, c'est-à-dire de vie en pleine eau, généralement au grès des courants. Cette phase, qui correspond à la fécondation des gamètes, au développement larvaire et à la métamorphose, est la phase du développement où la mortalité est la plus élevée (souvent proche de 99 %). Certains programmes de repeuplement (poissons, oursins...) court-circuitent cette étape, en réalisant la phase planctonique en laboratoire et rejetant des individus nouvellement métamorphosés dans le milieu ("ranching"), augmentant ainsi considérablement les chances de vie des individus remis à la mer. Les grottes à corail développées par l'AMPN peuvent être considérées comme procédant de la même philosophie : dans le milieu naturel, les larves de corail émises par les colonies adultes (cf. ci-avant) présentent une nage ascendante jusqu'à ce qu'elles trouvent un substrat adéquat pour que la métamorphose se réalise. Si ce substrat n'est pas trouvé (ou si la jeune larve sans protection rencontre un prédateur), la larve ne pourra se métamorphoser et mourra. Les grottes à corail, en constituant un piège, retiennent les larves qui n'auront d'autre possibilité que de se fixer et se métamorphoser sur le plafond. Dans ce cas, leur pourcentage de survie pourra être très élevé. Les grottes se comporteront alors comme collecteurs et diffuseurs de larves, et producteurs de jeunes colonies.

Seconde phase de l'expérience de coralliculture

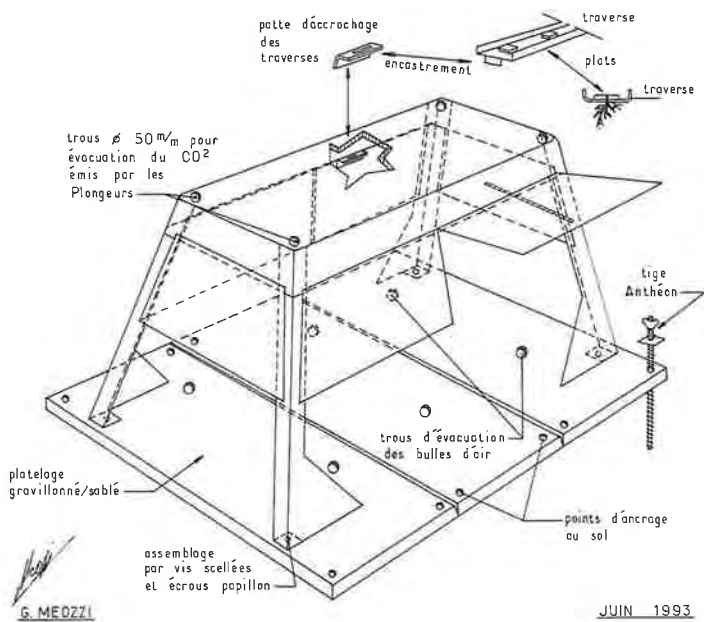
Les résultats très encourageants des premières expériences de coralliculture dans des grottes artificielles nous ont amenés à essayer d'affiner et d'optimiser la conception de ces grottes. En effet, même si les colonies de corail implantées survivaient bien et se reproduisaient, le suivi scientifique de l'expérience et la manipulation dans cette grotte demeuraient difficiles.

L'objectif de la seconde phase a donc été d'améliorer le concept de ces grottes en réalisant une structure beaucoup plus légère, qui puisse être facilement transportée sur le site,

PROTOTYPE DE GROTTTE A CORAIL

Conception: G. MEOZZI et A.M.P.N.
DIRECTION de l'AQUARIUM
Musée Océanographique de MONACO

Réalisation: Société EZAPLAST
Moyenne Corniche
06360 Eze Village



Vue de Face

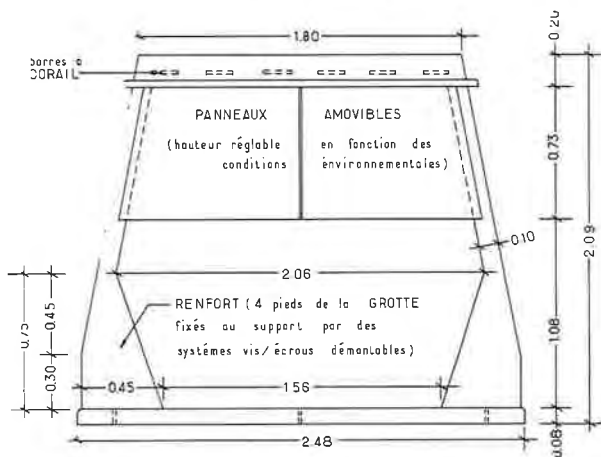


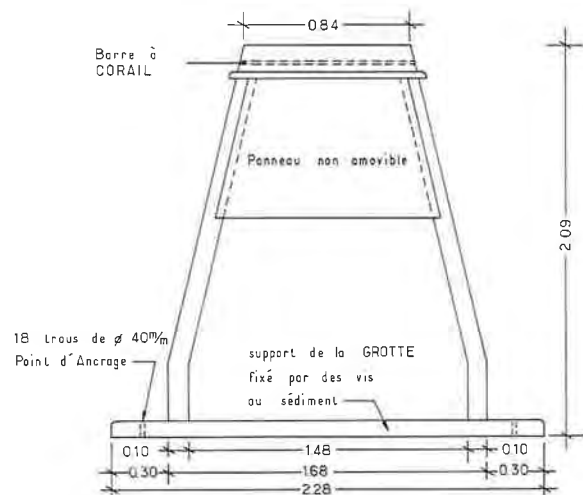
Figure 2
et Photo 5

immergée et éventuellement déplacée. Ainsi, un prototype de grotte artificielle en fibre de verre et résine polyester a été réalisé par la Société Ezaplast en conformité des dessins de Georges Méozzi notre dessinateur. Cette grotte est en partie démontable, légère (160 kg) et munie de 6 barres également en résine polyester, destinées à recevoir les colonies de corail. L'accès des plongeurs aux colonies a été facilité par la présence de panneaux amovibles permettant ainsi le travail à l'intérieur de la grotte comme à l'extérieur. Cette seconde phase d'expérimentation a été suivie par l'équipe de l'aquarium du Musée Océanographique de Monaco.

Implantation de la grotte et des colonies de corail

Le 23 juillet 1993, la grotte a été immergée à 39 m de profondeur, au pied du tombant du Loews, en aplomb de la

Vue de Côté



DETAIL d'une BARRE à CORAIL

barre de Polyester munie de 6 blocs de Porphyre troué : 0.80 x 0.15 x 0.06



VUE de PROFIL

renversée en forme de Goutlière



LES RÉSERVES MARINES/ LA RÉSERVE À CORAIL

zone la plus riche en corail (zone Est). Les barres ont été immergées plus tard, le 28 juillet 1993, après y avoir fixé les colonies de corail. (*Figure 2 - Photo 5*).

Le but de l'expérience a été de tester la survie et la croissance des colonies de corail prélevées en milieu naturel et transplantées dans cette grotte expérimentale sous forme de colonies entières, mais également sous forme de boutures (sections réalisées à partir de colonies entières), ce qui n'avait pas été testé lors de la première expérimentation. Les boutures sont obtenues à partir de sections effectuées à l'aide d'une pince coupante sur des colonies entières. Ainsi, une quarantaine de colonies ont été récoltées à Marseille dans une zone riche en corail rouge, afin de préserver le tombant coralligène du Loews. Parmi elles, 18 colonies entières ont été sélectionnées. 18 autres ont permis de réaliser 36 boutures de 2 types : 18 apex (partie supérieure des branches de corail) et 18 bases (partie inférieure des branches). Chaque série de 18 colonies a été identifiée et répartie sur 2 barres, soit un total de 9 colonies par barres.

Les colonies entières et les boutures ont été fixées avec de la résine époxy (DEVCON) comme lors de la première expérience (*Photo 6*). Avant l'immersion, les différentes colonies ont été numérotées et mesurées :

- hauteur maximale pour les colonies entières (ou colonies mères), ainsi que la longueur d'une de leurs branches,
- hauteur des boutures.

Chaque colonie a également été photographiée. Les mesures et les photos réalisées au début de l'expérience sont primordiales. Elles facilitent par la suite le repérage et le suivi de chaque colonie. En effet, la croissance est un paramètre très difficile à appréhender et les mesures effectuées peuvent s'avérer insuffisantes. Il est difficile de prévoir la façon dont se développeront les branches de corail, la colonie peut croître en hauteur et acquérir une structure buissonnante.

Résultats

Un mois après l'implantation des colonies de corail dans la grotte, une plongée de contrôle a montré que la



Photo 6
Fixation
des colonies
sur carré
de porphyre
à la résine
Devcon.

Photo 7 - Une série de colonies entières aux polypes ouverts, un an après l'immersion.



transplantation était parfaitement réussie : les colonies entières et les boutures (sections) étaient vivantes et actives et présentaient un grand nombre de polypes déployés.

Un an après le début de l'expérience, les colonies de corail transplantées sont toujours vivantes (*Photo 7*). Les



Avant



Photo 8

*Détail d'un apex
un an après immersion.
On peut observer l'apparition de
nouvelles ramifications.*

mesures de croissance ont été effectuées le 22 novembre 1994 en plongée après avoir remonté les colonies par 6 m de fond, afin de faciliter les mesures tout en évitant de mettre à sec les colonies. La croissance s'est avérée plus difficile à appréhender pour les colonies entières que pour les apex et les bases (*Photos 8-9-10*).

Globalement, après un an passé dans la grotte, les trois types de colonies (colonies mères, apex et bases) présen-



Avant

Photo 9 - Détail d'une section



Un an après immersion



Avant



Photo 10
Détail
d'une
colonie

Un an après
immersion

Photo 11 - Organismes colonisateurs tapissant le plafond de la grotte (éponges, vers tubicoles, madréporaires...)



Photo 12 - Jeunes colonies de corail (indiquées par des flèches) fixées sur les barres de résine de polyester. La photographie a été prise un an après immersion.



LES RÉSERVES MARINES/ LA RÉSERVE À CORAIL

taient une nette croissance, estimée à 1 cm en moyenne. De nombreux organismes ont colonisé la grotte : Bryzoaires, vers tubicoles (*Protula* sp.), éponges, Madréporaires (*Caryophyllia* sp.). Nous avons noté plus particulièrement une très importante prolifération d'un Alcyonaire, très certainement *Alcyonium coralloïdes*, sur le plafond de la grotte (*Photo 11*). Une ponte de poulpe a même été signalée à proximité des barres, occasionnant quelques dégâts, certaines colonies ayant été décollées ou sectionnées.

La grotte remplit ainsi également un rôle de récif artificiel. Outre la croissance incontestable des colonies de corail implantées, de nombreuses nouvelles jeunes colonies ont été observées sur le plafond de la grotte mais également sur de nombreuses barres, aussi bien sur celles supportant les colonies entières, que celles supportant les boutures (apex et bases) (*Photo 12*).

Conclusion

Les résultats de cette seconde expérience entérinent ceux déjà obtenus dans les premières grottes en ce qui concerne la fixation des colonies, leur survie et leur croissance. Ce nouveau modèle de grotte artificielle semble très bien adapté à l'implantation, à la croissance et à la repro-

duction de colonies. Cependant, comparée au premier modèle de grotte, cette seconde version semble mieux adaptée à l'implantation des colonies et au suivi scientifique. En effet, outre sa légèreté, sa nouvelle conception a permis d'améliorer les conditions hydrodynamiques de la grotte et a entraîné un meilleur brassage de l'eau autour des colonies ainsi qu'une sédimentation sur le fond nettement moins importante que dans la première grotte.

Enfin, le succès du bouturage à partir de colonies de corail mères démontre les facultés de reproduction végétative du corail rouge. Ce succès peut laisser présager une future utilisation des grottes non plus seulement comme «diffuseurs» et «capteurs» de larves (reproduction par voie sexuée), mais réellement comme une grotte appropriée pour la multiplication végétative du corail rouge.

Les auteurs et l'AMPN remercient le Dr J.-G. HARMELIN pour son aide à la réalisation de cette expérience, et J.-M. MILLE (AMPN) et Y. BÉRARD (Musée Océanographique) pour la qualité de leurs photos, ainsi que Melle ISABELLE GALGANI pour sa précieuse collaboration.

Bibliographie

- ALLEMAND D. (1993). The biology and skeletogenesis of the Mediterranean Red coral. A review. *Precious Corals and Octocorals Research*, 2 : 19-39
- ALLEMAND D., CUIF J. P., WATABE N., OISHI M., KAWAGUCHI T. (1994). The organic matrix of skeletal structures of the Mediterranean Red Coral, *Corallium rubrum*. *Ann. Inst. Océanogr. Monaco. Biomin* 93. Numéro spécial 14(1): 129-139
- ASCIONE, C. (1993). The art of coral: myth, history and manufacture from ancient times to the present. In: *Il corallo rosso in Mediterraneo: Arte, Storia e Scienza. Red coral in the Mediterranean Sea: Art, History and Science*. Cicogna F. et Cattaneo-Viatti R. (Eds.). Min. Ris. Agr. Al. For. - Roma, pp 11 - 36
- CATTANEO-VIETTI R., BAVESTRELLO G., BARBIERI M., SENES L. (1992). Premières expériences d'élevage de corail rouge dans la réserve sous-marine de Monaco. Association Monégasque pour la Protection de la Nature, *Compte-Rendu des activités 1990-1991*, 35-41
- CHESSA L.A., GRILLO M.C., PAIS A., VITALE L.; 1992: Natural and artificial settlements of red coral, *Corallium rubrum* (L.): preliminary observations. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 33 : 32
- DEBERNARDI E (1992). Expérience de coralliculture dans les eaux territoriales de la Principauté de Monaco. Association Monégasque pour la Protection de la Nature, *Compte-Rendu des activités 1990-1991*, 32-33
- FAO (1984). Rapport de la consultation technique du CGPM (Conseil général des pêches pour la Méditerranée) sur les ressources de corail rouge de la Méditerranée occidentale et leur exploitation rationnelle. Palma de Mallorca, Espagne, 13-16 décembre 1983. *FAO rapport sur les pêches*, n° 306, VIII-142 p.
- FAO (1989). Rapport de la deuxième consultation technique du CGPM (Conseil général des pêches pour la Méditerranée) sur le corail rouge de la Méditerranée. Torre del Greco, Italie, 27-30 septembre 1988. *FAO rapport sur les pêches*, n° 413, VII-162 p.
- GRILLO M.C., GOLDBERG W.M., ALLEMAND D. (1993). Skeleton formation in Mediterranean red coral *Corallium rubrum*. *Mar. Biol.* 117 : 119-128
- HARMELIN J.G., ZIBROWIUS H., ARNOUX A., ROMANA L.A. (1991). Evaluation de l'état des peuplements benthiques du haut fond de St Julien : campagnes Cyana de mars et juin 1990. *IFREMER*, rapport n° DROEM 91-01.
- LABOREL J., VACELET J. (1961). Répartition bionomique de *Corallium rubrum* Lmck dans les grottes et falaises sous-marines. *Rapport CIESM*, 16(2): 465-469
- LACAZE-DUTHIERS H. (1864) *Histoire naturelle du corail*. J.B. Baillière et fils, Paris - XXV +371p.
- LIVERINO B. (1983). *Il corallo, esperienze e ricordi di un corallaro*. Torre del Greco, Banco di credito popolare, IX-230 p.
- McCONNELL A. (1990). The flowers of Coral. Some unpublished conflicts from Montpellier and Paris during the early 18th century. *Hist. Phil. Life Sci.* 12: 51-66
- MERLIN J.C., DELÉ M.L. (1983). Étude par spectroscopie Raman de résonance de la pigmentation des squelettes calcaires de certains coraux. *Bull. Soc. Zool. France*. 108: 289-301
- RIVOIRE G. (1987). Existence de champs de corail rouge et de gorgones morts en profondeur entre Cassis et Nice. Rapport destiné à la direction des affaires maritimes de Méditerranée, (16 p.)
- RUSSO G.F., ZUPO V., PIRAINO S., ULIANICH L., COCOGNA F. (1993). Rearing and experimental aspects of the feeding biology of the red coral. In: *Il corallo rosso in Mediterraneo: Arte, Storia e Scienza. Red coral in the Mediterranean Sea: Art, History and Science*. Cicogna F. et Cattaneo-Viatti R. (Eds.). Min. Ris. Agr. Al. For. - Roma, pp 159 - 179
- SPINOSA A. (1990). Coraux. In: *Camées et Coraux, Antiquités et Objets d'arts*, Fabri edits., pp 36-78
- Vighi M. (1972). Etude sur la reproduction de *Corallium rubrum*. *Vie et Milieu*. 23: 21-32
- WEINBERG S. (1979). Transplantation experiments with mediterranean gorgonians. *Bijdr. Dierk.* 49(1): 31-41
- WEINBERG S. (1993). Coral research through the centuries. In: *Il corallo rosso in Mediterraneo: Arte, Storia e Scienza. Red coral in the Mediterranean Sea: Art, History and Science*. Cicogna F. et Cattaneo-Viatti R. (Eds.). Min. Ris. Agr. Al. For. - Roma, pp 37 - 60
- ZIBROWIUS H., MONTEIRO MARQUES V., GRASSHOFF M. (1984). La répartition du *Corallium rubrum* dans l'Atlantique (Cnidaria : Anthozoa : Gorgonaria). *Téthys*. 11(2): 163-170

LES REBOISEMENTS AUTOUR DE MONACO

par

Mesdames Muriel AGLIARDI⁽¹⁾ Michèle ROBILLON⁽¹⁾,
Messieurs Alexandre BORDERO⁽¹⁾ Denis LAURENS⁽²⁾

L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature et la Division "Jardins" du Service de l'Urbanisme et de la Construction collaborent depuis la création de l'AMPN à des opérations de reboisement sur les versants qui entourent Monaco. La contribution importante de la Division "Jardins" en personnels, matériaux, matériels et plantes a permis d'effectuer ces opérations avec le succès que nous constatons aujourd'hui.

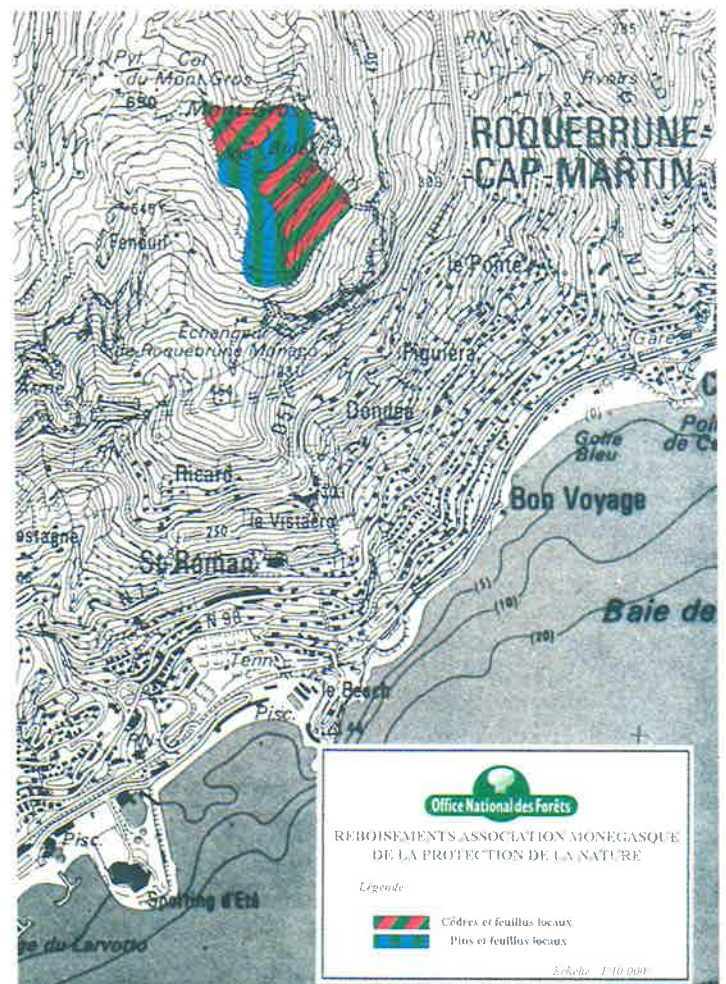
Nous avons reçu également l'assistance précieuse de la Direction Départementale de l'Office National des Forêts qui a suivi ces opérations avec la participation de ses techniciens auxquels, comme à nos jardiniers nous tenons à renouveler l'expression de nos vifs remerciements. La preuve a ainsi été faite qu'une collaboration bien comprise avec le souci d'aboutir apporte toujours des résultats positifs.

Dans notre région, aujourd'hui très urbanisée, la végétation a été grandement fragilisée autrefois par les pâturages d'hiver, les bandites et, plus récemment, par la réalisation de grands équipements.

Elle a été aussi gravement endommagée par les nombreux incendies qui ont affecté le département des Alpes-Maritimes.

La Principauté de MONACO, au travers de l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature, du Service de l'Urbanisme et de la Construction, de Clubs Services et en liaison avec les municipalités des communes limitrophes a entrepris de participer à la reconstitution de la forêt sur ces espaces qui, aujourd'hui, portent une végétation n'exprimant pas toute leur potentialité.

Ces opérations auxquelles ont participé de jeunes scolaires de la Principauté, des adhérents de l'AMPN, des jardiniers du Service des Jardins, des Sapeurs Pompiers et des Carabiniers ont été pour nous l'occasion de sensibiliser, d'associer étroitement garçons et filles à une tâche, certes limitée, mais néanmoins fort utile. Elles nous ont également permis de mettre l'accent sur les difficultés inhérentes à ces



(1) AMPN

(2) Directeur Départemental de l'ONF

*Après le feu...
le reboisement*



*Approvisionnement
du chantier
de reboisement par hélicoptère.*



reboisements en raison des terrains difficiles où nous les pratiquons, et de la fragilité des écosystèmes.

Le milieu

Nous avons délibérément choisi de cristalliser nos efforts de reboisement en des points précis situés à proximité immédiate de la Principauté, qui présentent à la fois un intérêt particulier et des conditions telles que des chances sérieuses de succès peuvent être raisonnablement escomptées.

En outre, la participation des jeunes, nous oblige à choisir des sites suffisamment accessibles, de façon à leur permettre d'intervenir en toute sécurité.

Sites géographiques

Les sites géographiques retenus ont été :

- La Pointe des Douaniers (Commune de Cap d'Ail).
- Les Hauts de Monte-Carlo (Commune de La Turbie).
- Le Mont Gros (Commune de Roquebrune Cap Martin).
- La Tête de Chien (Commune de Cap d'Ail).
- La Route du Col de la Madone (Peille).

Géologie

Du point de vue géologique, ces reliefs littoraux proviennent de roches sédimentaires d'époque secondaire, datés du début du Jurassique au Crétacé.

Les calcaires durs du Jurassique moyen ont notamment donné les grandes falaises rocheuses de la Tête de Chien.

Cet ensemble sédimentaire génère des sols généralement carbonatés, marqués dans certains cas par les épisodes climatiques antérieurs, phases tropicales qui ont généré les "terra rossa" et phases glaciaires à l'origine des grandes colluvium de pente.

Seule exception géologique, le site de la Pointe des Douaniers est connu pour ses poudingues.

Climatologie

Rappelons que le climat méditerranéen est caractérisé essentiellement par une période de sécheresse estivale, mais aussi par des pluies, surtout automnales et printanières, peu fréquentes mais généralement violentes.

Ces caractéristiques rendent particulièrement difficile la reconstitution naturelle des végétations dégradées, notamment en raison de l'érosion intense que subissent les sols. Elles compliquent également les tentatives de reboisement : nécessité de créer des poches de terre, de combattre le stress hydrique estival, de choisir des sujets résistants, etc...

La géomorphologie du site, et la proximité de la mer donnent, dans le contexte méditerranéen, des hivers doux qui différencient la région du restant de la côte méditerranéenne ligure.

Végétation

Ces conditions climatiques "thermoméditerranéennes", présentes depuis le Mont Boron à Nice jusqu'à Menton, permettent le développement, jusqu'à 300 à 500m d'altitude, d'une formation végétale particulière à euphorbe arborescente, olivier sauvage, caroubier, autrefois palmier nain, "*Chamaerops humilis*".

Au dessus de 500m et sur les versants nord, se rencontre le milieu "mésoméditerranéen" caractérisé par le chêne vert, le frêne à fleurs, le chêne pubescent et l'*ostrya* sur les sols les plus profonds ; le pin maritime y est présent.

En versant nord, se rencontrent très rapidement le pin sylvestre, espèce montagnarde, sur les ubacs du Mont Gros par exemple, accompagné de chêne pubescent, d'érable, d'*ostrya*.

Cette végétation naturelle a été dégradée, autrefois par le pâturage d'hiver dans le cadre des "bandites", plus récemment par les grands incendies.

Les opérations de reboisement

Les différents partenaires

L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature intervient dans la préparation des différentes opérations, elle participe à leur financement, au choix du terrain, assure l'encadrement des jeunes enfants et le bon déroulement des opérations.

Le Département des Travaux Publics et des Affaires Sociales participe, pour une large part, aux financements des reboisements, le Service des Jardins mettant à la disposition des organisateurs, du matériel, des équipes de jardiniers et des arbres. Ces jardiniers préparent, dans des conditions souvent difficiles, les trous où seront plantés les arbres. Ils assurent également l'encadrement des jeunes et leur apportent de précieux conseils.

Les Clubs Services ont financé un certain nombre d'opérations et assuré des campagnes de communication en faveur du reboisement, notamment à la suite des incendies de 1986.

La Direction Départementale de l'Office National des Forêts décide du choix des terrains à reboiser, en accord avec les mairies des communes limitrophes de la Principauté. Elle choisit les espèces qui seront plantées, et assure l'entretien et le suivi des zones reboisées, en liaison avec le Service des Jardins de la Principauté.

Jeunes et anciens s'affairent sur le terrain.





*Deux générations
pour un
même geste.*

Les espèces utilisées

* des feuillus locaux :

- L'**érable champêtre** et l'**érable à feuilles d'obier**, présents mais raréfiés, à l'état naturel.
- Le **cormier** (sorbier domestique) et l'**alisier torminal**, intéressant pour l'avifaune.
- Le **chêne vert**, le **chêne pubescent**, l'**ostrya** et le **frêne à fleurs**.

* des conifères, d'origine " exotique " :

- En premier lieu, les **cèdres** :

Le **cèdre de l'atlas**, qui retrouve sur les hauteurs, des conditions de milieu semblables à celles que l'on rencontre dans les chaînons littoraux de l'Afrique du Nord (de l'Atlas Blidéen par exemple, à proximité d'Alger).

- Le **cèdre de l'Himalaya ou Déodar**, botaniquement voisin du précédent, avec feuillage plus clair et aiguilles plus longues qui croît dans un milieu différent : les régions subtropicales d'altitude, de l'Afghanistan et du Cachemire. La croissance de cette espèce est assez satisfaisante au Mont Gros et à la Grande Corniche, semblant tirer parti des brouillards fréquents qui atténuent la sécheresse estivale.

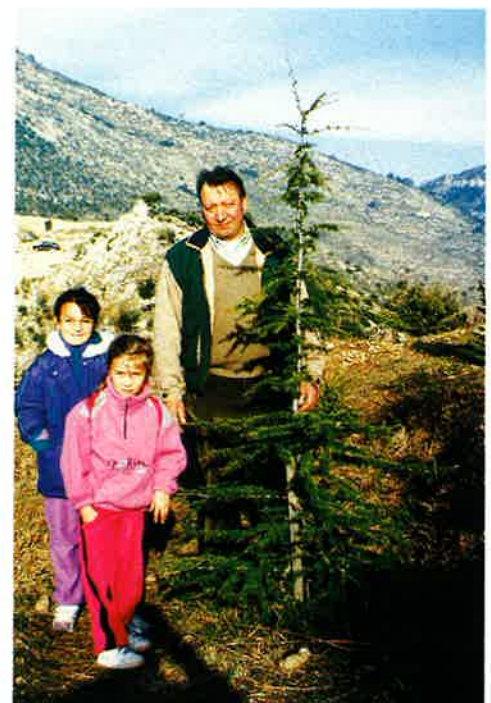
- Le **pin maritime**, de race résistante au *Matsucoccus*, originaire de l'Espagne (Cuenca) et du Maroc (Tamjoute) est lui aussi utilisé, réintroduit pour sa contribution caractéristique au paysage.

- Le **pin pignon**, pourtant originaire d'un milieu différent, les terrains côtiers sablonneux, s'adapte bien à nos reliefs littoraux, où il se montre d'une grande longévité, et réfractaire aux attaques des chenilles processionnaires.

Enfin, la protection du caroubier, espèce qui tend à se raréfier avec l'urbanisation du littoral, est énergiquement entreprise. La Principauté et l'O.N.F. réalisent la multiplication de caroubiers d'origine locale bien adaptés au climat (autrement sont importés des caroubiers d'Espagne ou de Sicile, qui résistent mal au froid), en vue de reconstituer les pentes inférieures de la Tête de Chien, du Mont Gros et de la Grande Corniche.

Après trois années ce cèdre a pris un bon départ.

*Petit mais repéré
pour suivre
son développement*





Une partie de l'équipe sur le terrain...

Chronologie des opérations

1976 : L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature effectue sa première plantation au boulevard du Larvotto.

Les 15 pins mis en place à proximité de l'école des Carmes, sont les seuls arbres qui aient été plantés, par l'association, en territoire monégasque. Ils ont atteint aujourd'hui une belle taille et font l'objet des soins attentifs de nos jardiniers.

1977 : Le premier reboisement important, 400 Pins et 250 *chamaerops humilis*, est réalisé sur la commune de la Turbie.

1978 - 1979 : L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature réalise un programme important de reboisement : 3500 *Pinus nigra* et *Cedrus atlantica* sont plantés à La Turbie, sous les Hauts de Monte-Carlo avec un bon résultat de 50 % de reprise.

1000 Cèdres sont plantés à Roquebrune Cap Martin.

500 Cyprès et Pins sont plantés sur la commune de Peille.

250 Pins sont plantés à la Pointe des Douaniers à Cap d'Ail, mais cette dernière tentative de plantation a été un échec car les jeunes pins ont souffert en pépinière et ont été plantés trop tardivement. Ils n'ont pas résisté aux rigueurs des embruns marins. A la suite de cet échec, une étude a été entreprise par l'Institut National de la Recherche Agronomique, afin d'en comprendre les motifs.

1982 - 1983 : L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature procède à la plantation de 600 pins à La Turbie (*Pinus laricius* et *Pinus pinea*) offerts par l'Office National des Forêts, pour remplacer les pins morts lors de la précédente plantation, sous les Hauts de Monte-Carlo. Ont participé à cette plantation : les jardiniers du Service des Jardins, du Jardin Exotique et de la Société des Bains de Mer ainsi que des scolaires de Monaco.

A la suite de l'échec de la plantation en 1979 sur la Pointe des Douaniers les responsables de l'AMPN et les ingénieurs de la station d'Antibes de l'Institut National de la Recherche Agronomique ont procédé à une étude conjointe pour déterminer les espèces végétales susceptibles de supporter les conditions particulièrement difficiles de cette zone exposée du littoral de Cap d'Ail. 570 sujets répartis en 17 espèces ont été fournis par la station et mis en place en fonction notamment de leur résistance aux embruns marins. Le taux de réussite a été d'environ 70 %.

1986 - 1987 - 1988 : Le Lion's Club lance une campagne de sensibilisation pour le reboisement des zones sinistrées par les incendies dévastateurs de juillet 1986.

Il offre à l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature 1000 plants : 300 *Pinus nigra* et 700 *Cedrus atlantica*.

27 janvier 1988 : 600 de ces arbres sont plantés sur le Mont Gros. La plantation, à laquelle ont participé les enfants de l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature, les Sapeurs Pompiers de Monaco, les enfants du Centre aéré de Saint Agnès, les ouvriers municipaux de Roquebrune Cap Martin et le Service des Jardins, a nécessité le transport par hélicoptère de 16 tonnes de terreau.

27 février 1988 : Les 400 sujets restant sont plantés dans les mêmes conditions.

8 décembre 1988 : L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature procède à la mise en place, au Mont Gros de 700 arbres supplémentaires.

1989 : Malheureusement, le 2 août 1989, un incendie ravage les pentes du Mont Agel et du Mont Gros, et détruit une partie de la plantation.

1990 - 1991 : Plantation de 700 cèdres, de 500 Pins d'Alep et Pins Laricio au Mont Gros, pour essayer de rééquilibrer, de faire disparaître les méfaits de l'incendie.

1992 - 1993 : 450 Pins sont plantés sous la Tête de Chien.

Les efforts poursuivis depuis 20 ans sont maintenant visibles dans le paysage. Les surfaces reboisées plus récemment y seront bientôt, elles aussi présentes, la forêt reconstituée mettant en valeur les escarpements rocheux.

ANNEE	LIEU DE PLANTATION	ESPECES	NOMBRE
1976	Larvotto	Pins	15
1977	La Turbie	Pins , Chamaerops humilis	400, 250.
1978-1979	La Turbie	Pins et Cèdres	3500
	Roquebrune-Cap-Martin	Cèdres	1000
	Peille	Cyprès et Pins	500
	Pointe des Douaniers	Pins	250
1982-1983	La Turbie	Pins	600
	Pointe des Douaniers	Espèces diverses adaptées au milieu.	570
1987-1988	Mont Gros	Pins, Cèdres, Autres.	300, 700, 700.
Avril 1989	Mont Gros	INCENDIE	
1990-1991	Mont Gros	Cèdres, Pins.	700, 500.
1992-1993	Tête de Chien	Pins	450

**CONFÉRENCES OU COLLOQUES INTERNATIONAUX
ET EXPOSITIONS INTERNATIONALES**
auxquels
L'ASSOCIATION MONÉGASQUE
POUR LA PROTECTION DE LA NATURE
a participé

Année 1980

18/20 SEPTEMBRE

Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée (Palma de Majorque). "Présentation d'une communication sur les récifs artificiels de Monaco".

Année 1981

19 / 24 JUIN

Exposition cynégétique mondiale / Festival International du film sur la Protection de la Nature (Plovdiv - Bulgarie).

Exposition "Portofino" à Kobé - Japon avec la Direction du Tourisme et des Congrès.

Année 1982

27 SEPTEMBRE / 1^{er} OCTOBRE

XVI^{ème} Session du Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée (Rome).

Communication sur le développement des structures artificielles immergées dans la Réserve (colonisation).

2 / 11 DÉCEMBRE

XXVIII^{ème} Congrès Assemblée plénière de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée. Présentation de communications sur les activités scientifiques déployées dans la Réserve.

Année 1983

7 / 21 JUILLET

XIII^{ème} Festival International du film de Moscou. Présentation de deux films tournés dans la Réserve.

9 / 14 SEPTEMBRE

Rencontres Internationales de l'Environnement et de la Nature (Royan). Présentation d'un film et d'une exposition de grandes photographies sous marines.

Année 1984

17 / 21 SEPTEMBRE

XVII^{ème} Session du Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée (Rome). Présentation d'une communication sur "La contribution d'une réserve dans l'aménagement des pêches côtières."

12 / 14 OCTOBRE

Festival International du film sous marin de Lucerne (Suisse) à

l'occasion du XIX^{ème} Congrès Assemblée plénière de la C.I.E.S.M. Présentation de deux films, d'une exposition photographique sur la Réserve et diffusion de 1100 brochures sur les activités de l'A.M.P.N.

Année 1985

27 / 29 MARS

Conseil de l'Europe. Conférence des Régions du bassin méditerranéen (Marseille). Communication scientifique sur la Réserve et diffusion de nos brochures.

28 JUIN / 12 JUILLET

XIV^{ème} Festival International du film de Moscou. Présentation d'un nouveau film sur la Réserve et diffusion de nombreuses brochures.

1^{er} / 8 SEPTEMBRE

Festival International du film de l'Environnement (Cogne - Vallée d'Aoste). Présentation de trois films dont l'un "Petit poisson deviendra grand" a reçu le prix du meilleur commentaire. Depuis cette date l'A.M.P.N. participe tous les deux ans à ce festival.

Année 1986

17 / 19 MARS

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (F.A.O. - Rome). Consultation technique sur la conchyliculture en mer et les récifs artificiels (Ancône - Italie). Thèmes : récifs artificiels, complémentarité entre les récifs artificiels et la conchyliculture, présentation des résultats des études menées dans la Réserve de Monaco.

23 MAI / 1^{er} JUIN

Exposition Internationale de Nuremberg (Allemagne) sur "La faune sauvage et l'environnement". Présentation des maquettes de la Réserve et d'un récif artificiel. Projection en continu d'un montage vidéo sur les activités scientifiques et culturelles dans la Principauté de Monaco. 200 000 visiteurs ont été reçus sur le stand de Monaco.

27 JUILLET

Parc National de Port Cros. Conférence sur la Réserve marine de Monaco et projection de films dans le cadre des soirées d'animation données par la Direction du Parc.

18 AOÛT

Création par l'Ordonnance Souveraine de ce jour, de la réserve à corail. Organisation et gestion par l'A.M.P.N.

6 / 10 OCTOBRE

XVIII^{ème} Session du Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée (Monaco). Exposé sur la création d'une réserve à corail dans les eaux territoriales de la Principauté. Election de M. E. Debernardi, Président de l'AMPN à la Vice-Présidence du C.G.P.M. pour deux ans à compter du 11 octobre 1986.

20 / 25 OCTOBRE

XXX^{ème} Assemblée plénière de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée (Palma de Majorque). Deux communications scientifiques y ont été présentées sur les récifs artificiels et les microbiocénoses dans les sédiments de la réserve. Diffusion de 600 brochures éditées par l'A.M.P.N.

Année 1987

2 / 6 NOVEMBRE

IV^{ème} Conférence Internationale sur les récifs artificiels pour les Pêcheries (Université de Floride - Miami). Communication sur "La conception et la construction des récifs artificiels de Monaco". Présentation de notre film "Un monde éclairé" et diffusion d'une brochure spécialement éditée pour cette conférence.

Année 1988

27 / 30 SEPTEMBRE

II^{ème} Consultation Technique sur le corail rouge de Méditerranée (Torre del Greco - Naples - Italie). Au cours de cette consultation le Président de l'A.M.P.N. a proposé de réaliser dans la réserve à corail la première expérience grandeur nature de la culture du corail rouge. Cette expérience a débuté à Monaco le 13 janvier 1989 et se poursuit toujours.

12 / 13 DECEMBRE

Colloque International sur le suivi des vertébrés terrestres par radiotélémetrie (Monaco). Participation de l'A.M.P.N. à ce colloque organisé par la Direction du Parc National du Mercantour sur le suivi des mouflons par balises radio.

Année 1989

27 FÉVRIER / 3 MARS

XIX^{ème} Session du C.G.P.M. (Livourne - Italie). Approbation par le Comité exécutif du programme de coralliculture engagé par l'A.M.P.N. Réélection de M. E. Debernardi, Président de l'AMPN à la Vice-Présidence pour deux ans.

Année 1991

30 AOÛT / 3 SEPTEMBRE

V^{ème} Festival International du film Nature (Cogne - Vallée d'Aoste). Sous la présidence d'honneur de S.A.S. le Prince Héritaire Albert de Monaco qui a participé à diverses manifestations et notamment au lâcher de rapaces blessés en montagne et soignés par la ligue italienne pour la protection des oiseaux.

3 / 7 NOVEMBRE

V^{ème} Conférence Internationale sur les récifs artificiels appliqués

à la Pêche (Los Angeles - U.S.A.). Présentation par M. Michel Boisson, Conseiller scientifique de l'AMPN, d'une communication sur les résultats obtenus dans la Réserve Marine de Monaco depuis sa création.

Année 1992

20 AVRIL / 12 OCTOBRE

Exposition Universelle de Séville (Espagne). Présentation par photographies et maquettes de l'expérience de coralliculture. Conférence donnée le 11 octobre par MM. Denis Allemand, Conseiller scientifique de l'AMPN, et Eugène Debernardi dans l'Auditorium du Pavillon de la France sur cette expérience particulière.

15 MAI / 15 AOÛT

Exposition Internationale de Gênes organisée pour commémorer le 500^{ème} anniversaire de la découverte du continent américain par Christophe Colomb. (Présentation par l'AMPN de ses maquettes et d'une collection de photographies sur la coralliculture).

12 / 17 OCTOBRE

XXXII^{ème} Congrès Assemblée plénière de la C.I.E.S.M. (Trieste - Italie). Présentation par grandes photographies et maquettes de nos grottes artificielles à corail, du programme de coralliculture.

5 / 6 / 7 NOVEMBRE

III^{ème} Rencontre M.E.D.P.A.N. (Alicante - Espagne). Présentation par Mme Christine Ferrier-Pagès, membre du Conseil d'Administration de l'A.M.P.N. de l'expérience de coralliculture et diffusion de la brochure éditée spécialement à cet effet.

Année 1993

15 / 17 FÉVRIER

I^{er} Congrès International sur les coraux précieux (Kochi - Japon). Présentation de notre expérience de coralliculture par M. Denis Allemand, Conseiller scientifique au sein du Conseil d'Administration de l'A.M.P.N.

5 / 9 JUILLET

XX^{ème} Session du Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée (Malte). Le Conseil a notamment mis l'accent sur la valeur de l'expérience "corail" en cours à Monaco, et son grand intérêt scientifique pour la protection de cette espèce.

Année 1994

Poursuite de nos programmes (récifs artificiels et corail).

22 / 30 JANVIER

Salon Nautique de Dusseldorf "Boot-94". 1er partenaire du Salon, la Principauté de Monaco y était représentée par l'Office du Tourisme, le Yacht Club de Monaco et l'AMPN (maquettes et brochures).

Année 1995

22 / 26 MAI

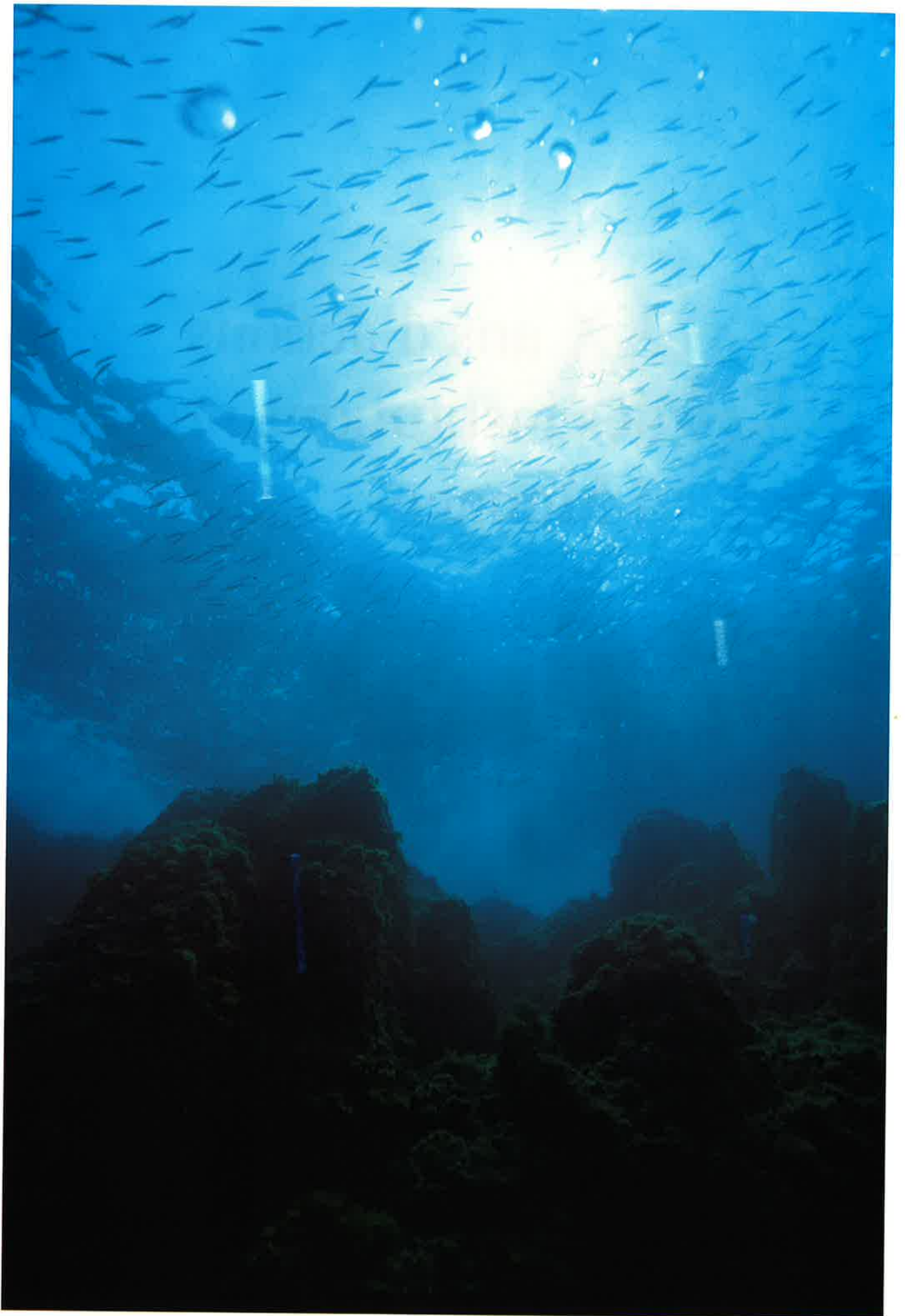
XXI^{ème} Session du Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée (Alicante - Espagne). Communication sur l'évolution de la coralliculture à Monaco par le Président de l'A.M.P.N. Examen des problèmes généraux de la pêche des thonidés.



Photo JEAN-MICHEL MILLE

2.2

**XX ans d'actions
des institutions présentes
à Monaco**



LE MUSÉE OCÉANOGRAPHIQUE

par

François SIMARD⁽¹⁾

“Ici, Messieurs, vous le voyez, la terre monégasque a fait surgir un temple fier et inviolable, dédié à la divinité nouvelle qui règne sur les intelligences. Moi, j'ai prêté les forces de mon cerveau, de ma conscience et de ma Souveraineté à l'extension de la vérité scientifique, du seul terrain où puissent mûrir les éléments d'une civilisation stable, garantie contre l'inconstance des lois humaines”.

Ainsi parlait le Prince Albert Ier lors du discours qu'Il prononça le 29 mars 1910 à l'inauguration du Musée Océanographique.

Dans ce texte, Il explique quels ont été Ses choix, pourquoi Il a fait bâtir ce musée et donné toutes les lignes directrices pour que Son oeuvre soit continuée à tout jamais. Il y précise combien la science représente une valeur suprême sur laquelle il faut s'appuyer pour que ne s'écroule pas notre civilisation. Voici donc l'importance de ce musée. Voici donc la responsabilité qui est celle des personnes qui en ont la charge. Voici donc l'oeuvre que les visiteurs sont invités à contempler.

Depuis 1910, le Musée Océanographique a accueilli plus de 35 millions de visiteurs. Actuellement, il en accueille 800 000 à un million par an, ce qui le situe parmi les tout premiers musées du monde.

(1) *Directeur Adjoint.*



*Musée
Océanographique
de Monaco
vu depuis la mer.*

XX ANS D' ACTIONS DES INSTITUTIONS PRÉSENTES A MONACO

Depuis sa création, et conformément à la volonté du Prince Albert Ier, le Musée Océanographique appartient à une fondation de droit français, l'Institut Océanographique, sis à Paris. Cette Fondation, qui a pour objectif la divulgation scientifique, est dirigée par un conseil d'administration, présidé par Monsieur Edouard BONNEFOUS, et un comité de perfectionnement présidé par le Professeur Jean AUBOIN.

Quatre directeurs se sont succédés à la tête du Musée en 85 ans : le docteur Jules RICHARD (1910-1945) qui était un des plus proches collaborateurs du Prince Albert Ier, le Commandant Jules ROUCH (1945-1957), le Commandant Jacques-Yves COUSTEAU (1957-1988) qui apporta au Musée son essor médiatique ; le Professeur François DOUMENGE (depuis 1989) qui s'est donné pour mission, avec une équipe jeune et dynamique, de redonner à l'établissement une véritable image scientifique et de lui faire prendre le bon virage pour le XXI^e siècle.

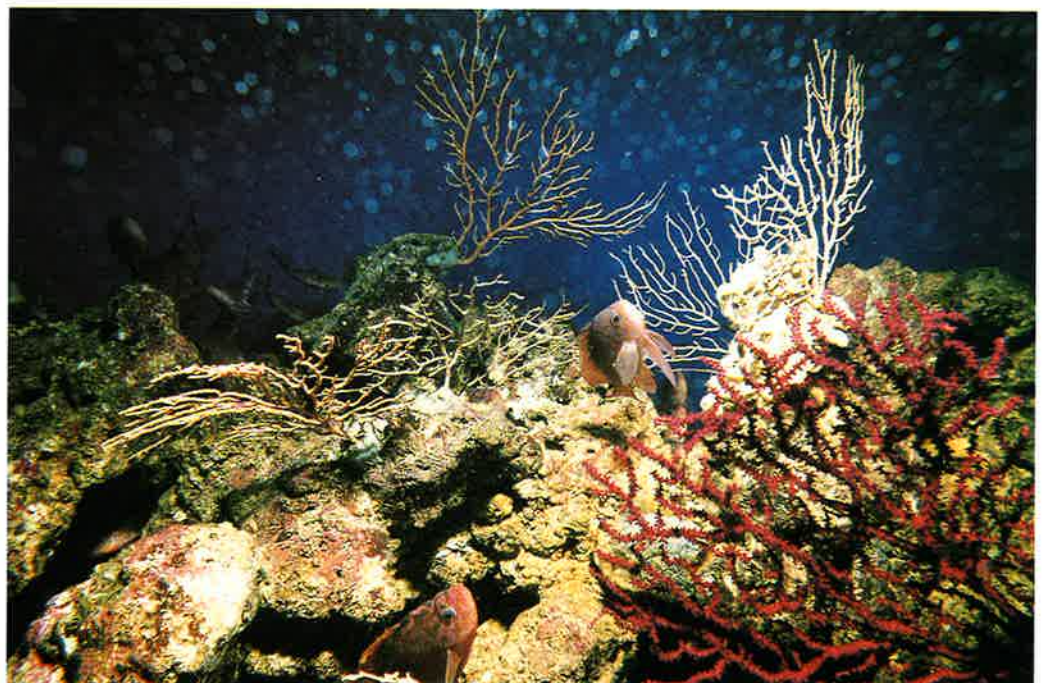
Le Musée Océanographique dispose de collections très variées, allant des oeuvres d'art aux poissons et organismes vivants, en passant par les objets artisanaux et éthologiques, les instruments océanographiques anciens et modernes, les objets pédagogiques et didactiques tels que les maquettes, les collections zoologiques et biologiques comme les squelettes ou les animaux naturalisés ou conservés dans le formol. Grâce à ces collections, le Musée axe ses actions sur plusieurs thèmes : les richesses de la mer, la connaissance fondamentale des océans, les milieux tropicaux, et la Méditerranée. Ce dernier thème est certainement celui qui nous tient le plus à coeur et qui représente notre vocation la plus forte.

La Méditerranée, Mare nostrum, s'étend devant les contreforts du Musée qui l'observent comme une vigie défiant le temps. Le Prince Albert Ier l'a voulu ainsi, et c'est ainsi que nous le concevons.

Une salle entière est affectée aux écosystèmes de Méditerranée dans l'aquarium qui constitue sans aucun doute le plus grand et le meilleur au monde au regard des espèces méditerranéennes offertes à la curiosité du public. Dans une quarantaine de bacs sont déclinés les différents aspects vivants de cette mer si proche mais si mal connue. Chaque bac, bien que centré sur une ou plusieurs espèces de poissons ou de gros invertébrés, présente l'écosystème complet dans ses moindres détails : algues vertes, algues brunes et rouges, invertébrés tels que les gorgones, les spirographes ou les cérianthes, bivalves fixés, ascidies, holothuries, oursins et étoiles de mer ; ainsi que l'invisible : bactéries, plancton, crustacés des espaces interstitiels du sable. Les visiteurs peuvent avoir une vision très proche de la réalité sous-marine et de sa complexité. Ils ont aussi l'opportunité d'aiguiser leur sens de l'observation car il se passe toujours quelque chose dans ces bacs vivants : une ponte, un comportement de parade nuptiale, un petit animal souvent caché, ou une querelle entre deux espèces. L'accent est mis sur le tombant coralligène qui est sûrement le plus bel écosystème méditerranéen. Les gorgones et éponges y succèdent aux anémones et au précieux corail rouge.

Pour parfaire ce tour de la Méditerranée, on peut aller voir la collection des squelettes de cétacés qui, complétée de magnifiques modèles très réalistes et anatomiquement exacts, offre un panorama complet des espèces spécifiques de Méditerranée.

*Aquarium
représentant le
tombant coralligène.*





S.A.S. le Prince Rainier III, S.A.S. le Prince Héréditaire Albert, Monsieur le Professeur Doumenge, Madame Saunier Seïte ancien Ministre des Universités et Madame Nadia Ounais Thévenin devant l'aquarium cylindrique de 8m³.

Photo MUSÉE OCÉANOGRAPHIQUE

Le micro-aquarium (salle de conférences), une nouveauté de 1995, permet au public de découvrir l'infiniment petit grâce à une liaison entre une loupe binoculaire et un écran géant. Cette installation a demandé plusieurs années de mise au point en collaboration avec le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

Au premier étage, ce sont les images en provenance des satellites qui prennent le relais pour nous expliquer comment fonctionne la Méditerranée. Cette animation, également mise en place en 1995, permet de donner des informations fondamentales et spectaculaires sur la température, sur les vagues, les courants, les pollutions, grâce une banque d'images satellitales contenues dans un puissant ordinateur et visualisées sur un grand écran.

Toujours au premier étage, la salle centrale est consacrée à la vie du Prince Albert Ier. On comprend mieux ainsi l'immense apport de Son oeuvre à l'océanographie et tout particulièrement à la connaissance de la Méditerranée. Dans la salle de l'ours, on remarquera la vitrine de corail pré-

cieux, thème qui avait donné lieu à une exposition temporaire en 1992-1993, et surtout à un "Festival du corail" en avril 1992 au cours duquel on a pu admirer de merveilleuses pièces de corail sculpté.

Il faut compléter ce parcours méditerranéen par les grandes nacres pinctadines sculptées de scènes religieuses aux XVIIIe et XIXe siècles en Italie (salon d'honneur), les mosaïques de style romain (palier du premier étage et de l'entrée), les maquettes de bateaux de pêche et les filets artisanaux (salle d'océanographie appliquée), les cartes bathymétriques du Bureau Hydrographique International (salle du Prince), sans oublier les multiples spécimens de poissons conservés dans des bocaux.

Cette approche méditerranéenne ne doit pas faire oublier toutes les autres beautés présentes au Musée. L'aquarium tropical permet au visiteur d'avoir une idée très précise et très proche de la réalité des fonds coralliens des mers chaudes et plus particulièrement de la mer Rouge. Ces aquariums, lumineux et colorés, débordant de vie, préfigu-

XX ANS D' ACTIONS DES INSTITUTIONS PRÉSENTES A MONACO

rent certainement les aquariums du futur où le visiteur oubliera complètement qu'il est sur terre devant un aquarium, tellement cette image de la nature sous-marine s'imposera à lui.

La collection "Art de la Nacre - Coquillages sacrés" nous montre l'histoire qui s'est tissée au fil des siècles entre les hommes et les coquillages au cours des différentes civilisations. On y découvre le coquillage objet d'art, mais aussi le coquillage rituel et le coquillage objet usuel, à travers de nombreuses espèces de bivalves et de gastéropodes.

La salle de conférence accueille expositions, projections de films et autres manifestations de grand prestige.

"Et voici la science de la mer qui entre dans ce palais où l'architecte a mis l'empreinte de ces conceptions géniales quand j'ai voulu réunir dans un même éclat les deux forces directrices de la civilisation : l'Art et la Science" (discours d'inauguration du Prince Albert Ier, 1910).

Réunir l'Art et la Science, voici bien encore une volonté géniale. Ainsi, récemment la salle de conférence a accueilli un grand congrès sur la biominéralisation, un colloque sur l'algue spiruline, un autre sur le droit international et la mer, mais aussi une exposition des oeuvres sculptées de Renoir, une autre sur le peintre Utrillo, ainsi que de nombreux concerts de musique de chambre ou symphonique.

Mise à part sa fonction prépondérante auprès du grand public, le Musée Océanographique n'en oublie pas de suivre sa vocation de soutien à la recherche. Il abrite depuis 1992 les laboratoires de l'Observatoire océanologique européen du Centre scientifique de Monaco qui dédient leur action à la connaissance fondamentale du métabolisme du corail et plus généralement aux cycles de l'azote et du carbone.

Le Musée continue d'entretenir une des meilleures et des plus anciennes bibliothèques océanographiques d'Europe. Ses collections, complétées et mises à jour en permanence, comportent à l'heure actuelle plus de vingt-cinq mille ouvrages, trois mille cinq cents séries de périodiques, dont mille deux cents sont reçues régulièrement en provenance de quatre-vingt pays. Le fonds est d'une richesse

toute particulière dans les domaines suivants : océanographie biologique et biologie marine, aquariologie et aquaculture, protection de l'environnement marin, noms scientifiques et vernaculaires des animaux et végétaux marins, histoire de l'océanographie. Les technologies modernes rendent accessibles tous ces documents aux utilisateurs du monde entier. Les lecteurs sont admis sur demande justifiée et peuvent consulter sur place l'ensemble des collections.

Le Musée continue également de publier plusieurs fois par an des volumes de ces revues, le Bulletin de l'Institut Océanographique et les Mémoires de l'Institut Océanographique. Ces ouvrages se font l'écho, à travers leur distribution mondiale, des progrès récents des sciences océanographiques. Les volumes les plus récents concernent la biominéralisation, la télédétection par satellite, l'algue spiruline, les mers tributaires de la Méditerranée, et les sépioles.

Une activité de publication de vulgarisation est également poursuivie avec des documents pédagogiques à l'usage des écoles, des ouvrages grand public sur certains aspects des collections ou sur des thèmes précis, la participation à des ouvrages sur la mer, ou encore l'édition de documents vidéo ou CD-ROM.

Enfin, grâce à l'action continue de son Directeur ou d'autres Responsables scientifiques, le Musée représente la Principauté auprès de grands organismes internationaux, tels que la Commission Baleinière Internationale (CBI), l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), ou la Société Italienne de Biologie Marine (SIBM). Le Directeur est également Secrétaire général de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée (CIESM) sise en Principauté.

Par son activité variée, s'adressant aussi bien au monde de la recherche qu'au grand public, le Musée Océanographique de Monaco continue de jouer son rôle pour l'océanographie et plus particulièrement pour la connaissance, et en définitive pour la protection, de la mer Méditerranée.