

**XX ANS**

**AU**

**SERVICE DE LA NATURE**

*L'Association Monégasque pour la Protection de la Nature remercie très sincèrement les nombreuses personnes et les entreprises qui, pendant ces 20 années, ont contribué par leur généreux concours à la réussite des actions engagées sur le littoral de la Principauté pour la sauvegarde de la flore et de la faune marines.*

*Cet ouvrage, témoignage d'une unité d'action pour la protection de notre patrimoine naturel, a pu être réalisé grâce à l'aimable collaboration des chefs de Services de l'administration monégasque, de leurs collaborateurs, des institutions présentes en Principauté et des scientifiques. L'AMPN leur adresse également ses vifs remerciements.*

© 1995

Toutes reproductions, textes et photos, interdites.

Cet ouvrage a été réalisé par les Editions EGC - Monaco.

**XX ANS**  
**AU**  
**SERVICE DE LA NATURE**

par

*l'Association Monégasque  
pour la Protection de la Nature*

Avec la collaboration :

- des Services administratifs et techniques de la Principauté ;
- des Institutions scientifiques nationales et internationales siégeant en Principauté ;
- du Musée Océanographique de Monaco ;
- des Universités françaises et étrangères ;
- de l'Office national des Forêts (Direction départementale des Alpes-Maritimes).



Hubert Férinhomme PARIS MATCH

S.A.S. LE PRINCE RAINIER III  
*Président d'Honneur de l'Association Monégasque  
pour la Protection de la Nature*



## *Palais de Monaco*

### **“20 Années au Service de la Nature...”**

Depuis quelques années déjà, l'idée m'avait séduit de voir la Principauté apporter une contribution concrète à la sauvegarde de cette Méditerranée que nous aimons tous et qui a si grand besoin de nos soins et de nos attentions.

Lorsqu'en Septembre 1975, je chargeais M. le Président du Centre Scientifique de s'attacher à la création d'une zone maritime protégée sur le littoral de la Principauté, je n'imaginai pas que vingt ans plus tard, elle connaîtrait un tel essor.

Cette tâche fut confiée à une équipe de monégasques animés par la volonté d'aboutir à une action concrète dans un domaine tout nouveau pour eux. C'est ainsi qu'est née l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature dont les statuts furent approuvés dès le 21 novembre 1975.

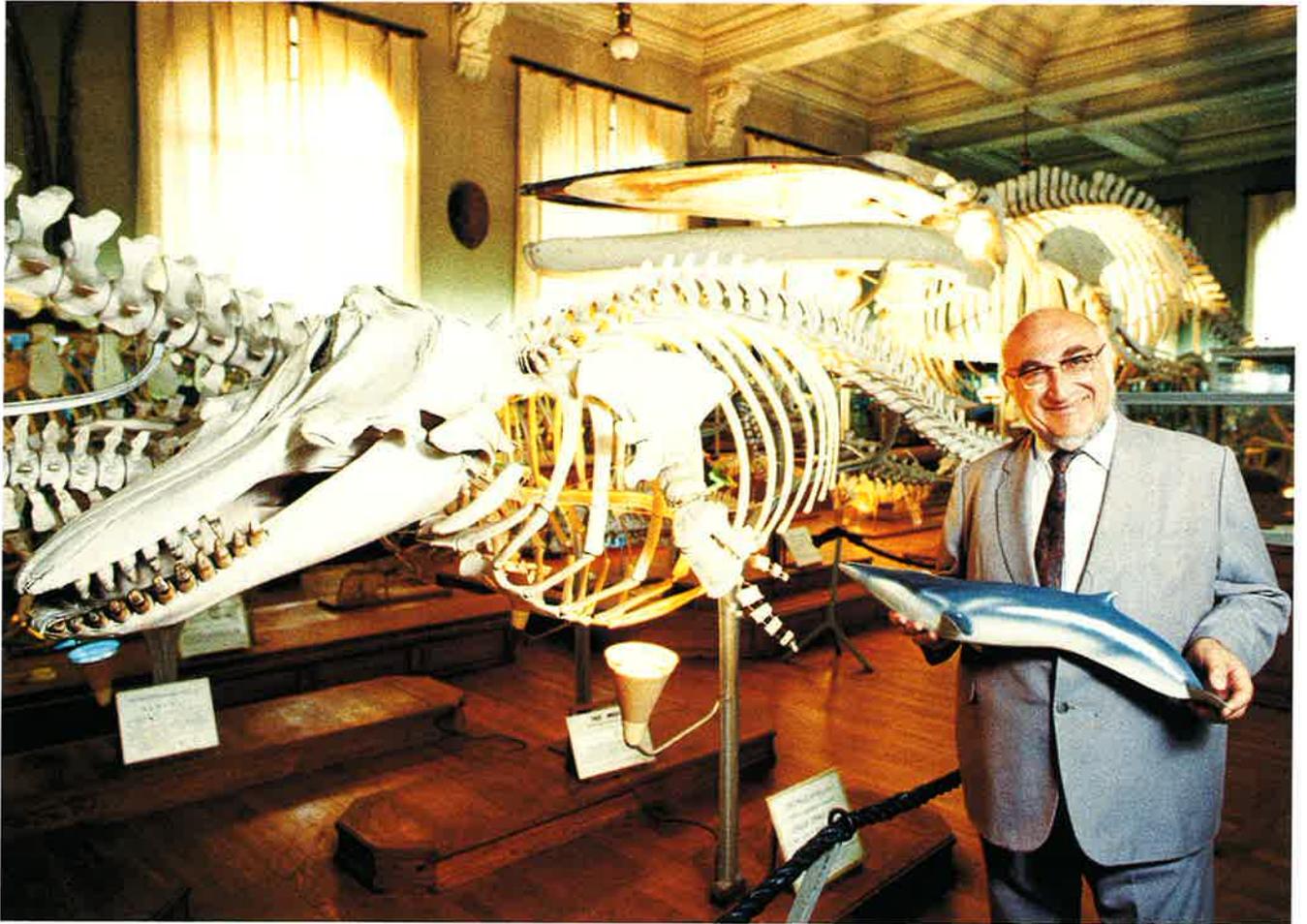
Progressivement furent mis en place les éléments qui conduisirent en Avril 1976 à l'organisation de la “Réserve sous-marine de Monaco”, située au Larvotto en bordure de mer sur 50 hectares où la faune et la flore bénéficient d'une protection sévère et continue.

Les travaux que l'Association y effectue en liaison étroite avec des scientifiques locaux ou étrangers, les actions qu'elle mène en collaboration avec les services monégasques compétents et le concours d'entreprises de Monaco ou des Alpes Maritimes ont abouti à faire de cette zone protégée un véritable laboratoire marin qui ne laisse pas indifférentes les universités françaises et italiennes.

Vingt années ont passé au cours desquelles j'ai suivi avec beaucoup d'intérêt l'évolution de ce site particulier. Les résultats obtenus témoignent de l'efficacité d'une telle entreprise et démontrent, s'il en était besoin, la nécessité de poursuivre l'action engagée et de la développer.

Je suis heureux d'avoir donné ma confiance à celles et ceux qui, à des degrés divers, plongeurs des Associations environnantes, carabiniers, pompiers et autres anonymes amoureux de la mer et de la nature, ont apporté leur savoir et leur bonne volonté à l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature, contribuant ainsi au succès de son œuvre.

Je leur renouvelle mes vifs remerciements, certain que dans les années à venir ils continueront à unir leurs efforts pour sauvegarder notre belle Méditerranée.



***Professeur François DOUMENGE***

Directeur du Musée Océanographique de Monaco  
(dans la salle d'océanographie zoologique)



# INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE

FONDATION ALBERT I<sup>er</sup> PRINCE DE MONACO

RECONNU D'UTILITÉ PUBLIQUE

La réserve marine intégrale du Larvotto, gérée avec une grande attention et une extrême rigueur, est une parfaite démonstration des capacités d'autorégénération de l'écosystème marin méditerranéen.

On a vu, très rapidement, augmenter la densité des organismes et surtout on a pu enregistrer un épanouissement de la biodiversité profitant de la variété des substrats et des niches écologiques littorales qui ont été consolidés et élargis par la disposition judicieuse de structures récifales artificielles et de supports adaptés au peuplement benthique littoral.

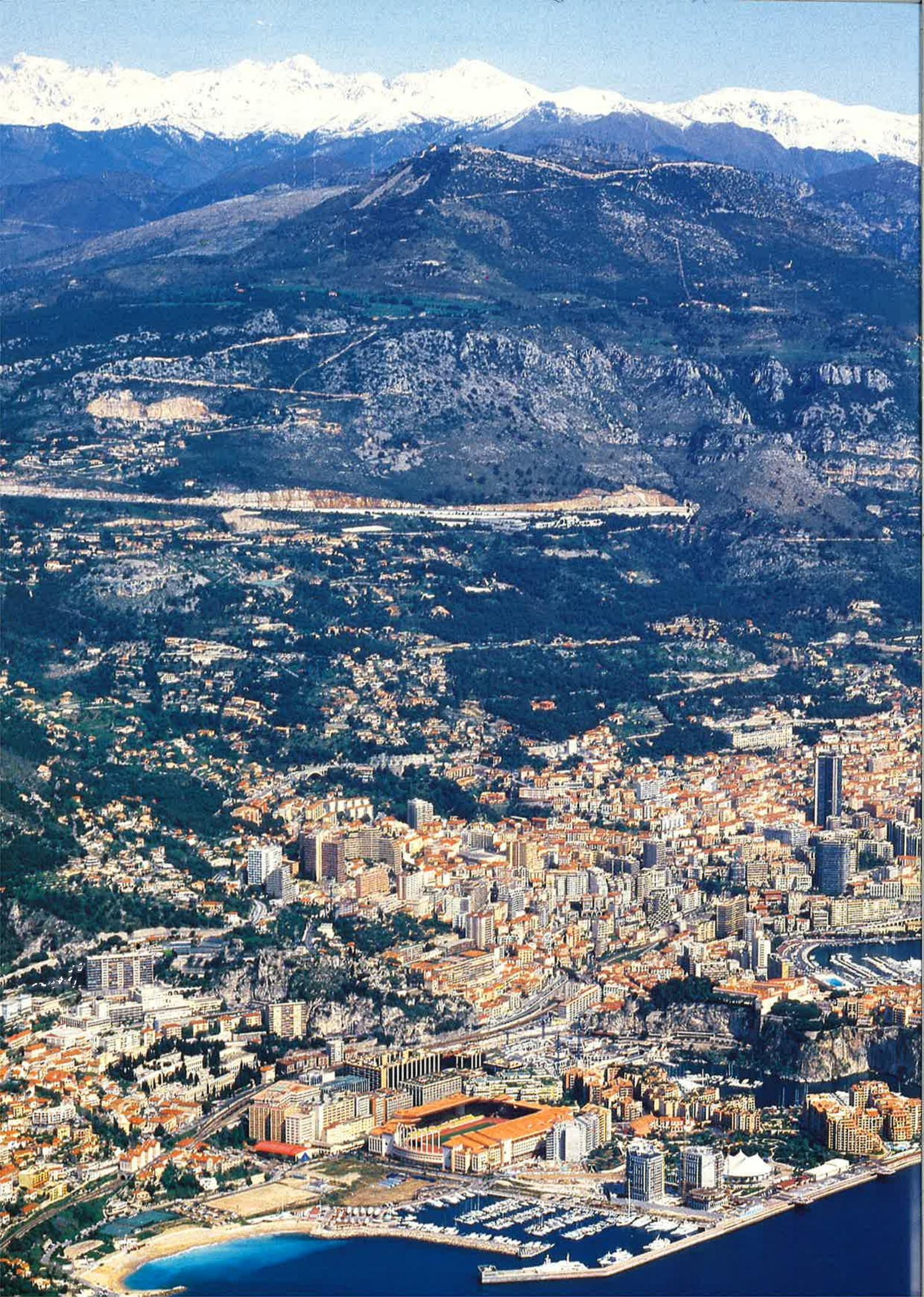
Située pourtant dans une zone soumise inéluctablement à l'influence polluante d'une activité portuaire et touristique intense, la réserve du Larvotto, grâce à la protection dont elle a bénéficié depuis de longues années, a pu aussi démontrer les capacités d'autorégulation et d'auto-épuration de nombreuses associations méditerranéennes qui sont capables de s'adapter à certaines modifications du milieu et qui peuvent aussi surmonter des crises naturelles occasionnelles.

Dans l'avenir, il serait souhaitable d'élargir et de multiplier des réalisations de ce type et il paraît aussi maintenant possible de progresser hardiment vers le large en passant à la réalisation d'une réserve pélagique dont les capacités d'attraction du peuplement pourraient être accrues par des structures flottantes.

Le succès acquis au Larvotto doit être ainsi une incitation à progresser et à persévérer.

Les animateurs de cette réalisation doivent en être félicités et remerciés car ils ont ainsi apporté une contribution éminente à la réhabilitation de notre littoral méditerranéen.

**Professeur François DOUMENGE**  
Directeur du Musée océanographique de Monaco  
20 juin 1995





Réserve sous-marine de Monaco

Réserve  
Corail



*Chers amis,*

*Permettez-moi de vous présenter cet ouvrage préfacé par Son Altesse Sérénissime le Prince Rainier III, notre Président d'Honneur, à votre intention et à l'intention de celles et ceux qui au cours des vingt années écoulées ont apporté leur généreux concours à notre Association.*

*L'A.M.P.N. vient d'avoir 20 ans. Pour nous, qui l'avons suivie depuis Novembre 1975, c'est un événement heureux mais aussi un symbole de fidélité à la vocation maritime et scientifique de notre Pays. Car l'aventure dans laquelle nous nous sommes engagés, non sans une certaine fougue, n'était pas forcément destinée à la réussite que nous lui connaissons aujourd'hui. Tout était à faire, à imaginer afin que les actions de sensibilisation et la création d'une réserve marine souhaitées par notre Souverain, soient engagées dans les meilleures conditions.*

*Que de chemin parcouru pour convaincre de l'utilité de notre action, pour vaincre aussi les réticences et parfois l'hostilité de certains dès lors que nous touchions un tant soit peu à leurs intérêts personnels.*

*Combien de satisfactions aussi avec nos amis de Monaco, de France, de Grèce, du Maroc, d'Italie, d'Espagne, d'Israël, du Japon et des Etats-Unis qui se sont intéressés à nos travaux, qui ont offert leurs compétences, leur participation sur le terrain pendant plusieurs années.*

*L'amitié née de tous ces contacts locaux ou parfois très lointains, a constitué le ciment nécessaire pour amalgamer les équipes qui ont oeuvré sur chaque site dans le cadre de programmes sans doute modestes mais néanmoins fort utiles à une meilleure connaissance du milieu marin et à sa protection.*

*Nous avons tenu à rassembler dans cet ouvrage les principaux éléments de ces programmes et donner ainsi à celles et ceux qui en ont été les artisans, l'opportunité de vous les faire mieux connaître.*

*Il nous offre aussi le plaisir de remercier les services administratifs et techniques du Gouvernement Princier, les entreprises de la Principauté et du Département des Alpes-Maritimes pour leur précieux concours et leur disponibilité. Nos remerciements s'adressent bien évidemment aux scientifiques des universités françaises (Nice - Marseille - Montpellier - Paris), italiennes (Gênes, Pise), des parcs nationaux français, italiens et espagnols et aux services français (Direction des Affaires Maritimes, Direction de l'Office National des Forêts, Direction de l'Équipement) qui nous ont apporté leur collaboration et assisté de leurs conseils.*

*Pardonnez-moi cette énumération, sans doute un peu longue, mais certainement incomplète. Elle montre bien les efforts qu'il a fallu déployer pendant ces 20 années pour contribuer à la sauvegarde de la faune et de la flore de notre belle Méditerranée depuis trop longtemps malmenées par l'inconscience des hommes.*

*Il nous reste à formuler le souhait que notre Association avec ses adhérents et tous ses amis poursuive davantage encore la tâche que lui a confié notre Président d'Honneur.*



Eugène DEBERNARDI  
Président de l'AMPN

# SOMMAIRE

Préfaces	SAS Le Prince Rainier III de Monaco .....	5
	Professeur François Doumenge, <i>Directeur du Musée</i> <i>Océanographique de Monaco</i> .....	7
	Eugène Debernardi, <i>Président de l'Association Monégasque</i> <i>pour la Protection de la Nature</i> .....	11
<b>1/</b>	<b>L'environnement monégasque</b> .....	15
	Les caractéristiques géographiques et météorologiques .....	17
	Le milieu marin .....	21
	Le système pélagique de la mer de Monaco .....	25
	Le milieu marin benthique .....	29
	De Nice à Menton .....	35
<b>2/</b>	<b>La protection de la nature</b> .....	37
	Historique .....	38
	<b>2.1</b> XX ans d'actions de l'AMPN .....	41
	Les Réserves sous-marines : Pour quoi faire ? .....	43
	Le développement de la Réserve marine du Larvotto .....	45
	Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques .....	49
	Le cycle de l'azote .....	52
	La faune des éponges .....	59

La Réserve et sa faune ichtyologique .....	65
Etude du recrutement des Echinodermes .....	73
Les récifs artificiels .....	81
La colonisation des récifs artificiels .....	85
Visite de la Réserve en images de synthèse .....	93
Le repeuplement en Oursins comestibles .....	97
La détoxification des Oursins comestibles .....	103
La réimplantation de <i>Pinna nobilis</i> L. ....	111
Les Posidonies de la Réserve .....	115
La Réserve à Corail Rouge .....	121
Les reboisements autour de Monaco .....	131
Conférences, colloques et expositions .....	136
<b>2.2</b> XX ans d'actions des institutions présentes à Monaco	139
Le Musée Océanographique .....	141
La CIESM .....	145
Le Jardin Exotique .....	149
L'A.I.E.A. ....	153
Le Centre Scientifique de Monaco .....	159
L'Accord et la Commission RAMOGE .....	165
L'Observatoire Océanologique Européen .....	169
Le Service de l'Environnement : la qualité des eaux .....	175
Le Service du Contrôle Technique : gestion des installations de protection du milieu marin .....	181
Le Service de l'Urbanisme : les jardins de Monaco .....	185
A la rencontre de la vie sous-marine .....	I à XXIV



# **1** | l'environnement monégasque



*... de retour dans la Réserve après de nombreuses années d'absence ...*

*Thallasoma pavo, forme tropicale de " crénilabre paon " ou " girelle paon de Méditerranée "*

*photographiée par Patrice Gambini le dimanche 10 septembre 1995*

*dans la Réserve sous-marine de Monaco*

*à l'occasion du 3<sup>e</sup> Challenge de photographies sous-marines de Monaco - (FMAS)*

# LES CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES ET MÉTÉOROLOGIQUES DE LA PRINCIPAUTÉ DE MONACO

par  
*Michel BOISSON* <sup>(1)</sup>

L'environnement de Monaco est un vaste sujet même si notre pays est petit, je vais essayer de vous en donner les principales caractéristiques.

## Les caractéristiques géographiques

La Principauté de Monaco est située dans l'hémisphère Nord sur la côte Sud de l'Europe et le rivage Nord Occidental de la Méditerranée. Cependant, on ne pense jamais que Monaco est au centre de la Méditerranée à équi-

distance de Gibraltar et du détroit des Dardanelles (l'entrée de la Mer Noire).

Sa superficie est de 195 hectares et son point culminant se situe au chemin des Révoires à 162,51 mètres.

L'un des attraits de la Principauté (*Photo 1*) est qu'elle est blottie au bas d'un cirque de hauts reliefs compris entre 550 et 1100 mètres d'altitude. Ces reliefs ont une

*Photo 1*  
La Principauté de Monaco est entourée d'un cirque de hauts reliefs (compris entre 550 et 1100 mètres d'altitude) et est blottie au bas d'un bassin versant de 9 Km<sup>2</sup> constitué par les vallons de Saint Roman, Larousse, la Noix et Sainte Dévote.

Photo BAZZOLI

(1) Docteur en Océanographie, Vice-Président de l'AMPN.



grande influence sur notre environnement. L'un des premiers effets est que Monaco s'étale le long du littoral sur un maximum de 3180 m et pour une longueur de côte de 4100 m, mais surtout qu'il se trouve au bas d'un bassin versant de 9 km<sup>2</sup>.

Cette situation a deux conséquences :

- La première, positive fait de Monaco un lieu d'accumulation des eaux de ruissellement et d'infiltration. On y trouve plusieurs sources en particulier du côté du Larvotto où elles sont exploitées par la Société Monégasque des Eaux et du côté de Fontvieille dans le prolongement de la Grotte du Jardin Exotique. On trouve aussi des nappes phréatiques importantes à la Condamine qui étaient utilisées par nos ancêtres pour cultiver les citronniers et les orangers. Ces ressources en eau ont certainement été l'une des raisons de l'installation de l'homme à Monaco. Nous ne connaissons pas très bien l'importance de ces réserves, elles font l'objet d'une évaluation. On peut cependant penser que ces réserves ne seront certainement pas suffisantes pour couvrir tous nos besoins puisque nos grands parents collectaient déjà l'eau de pluie pour les cultures. En outre, les terrains occupés par les nappes phréatiques à la Condamine sont maintenant en grande partie occupés par des parkings souterrains ce qui limite le volume de stockage de ces eaux.

- La deuxième conséquence de cette situation géographique, moins favorable, est que Monaco recueille tout ce qui est emporté par les eaux de ruissellement du bassin versant. Monaco est donc condamné à recevoir les eaux d'une agglomération comptant plus du double d'habitants que sa propre population. De plus, les eaux des sources débouchant à Monaco pourraient être soit captées en amont par nos voisins, soit polluées par des rejets accidentels.

L'utilisation de l'eau en Principauté où les précipitations sont rares mais intenses (763 mm par an en moyenne) avec un petit nombre de jours de pluie (63 par an en moyenne) devra faire l'objet d'un plan d'ensemble pour l'avenir. Ce plan devra prendre en considération la nature et l'importance des besoins futurs, les réserves disponibles mais aussi les économies possibles, les méthodes de recyclage et même les conditions d'utilisation de l'eau de mer.

### Les caractéristiques météorologiques

Les conditions météorologiques en Principauté sont essentiellement liées à l'anticyclone des Açores, sa position, son importance et son déplacement par rapport à celui de l'Asie en hiver ou du Pacifique en été. Sans entrer dans le détail on peut dire que (*Fig. 1*) : lorsque l'anticyclone Atlantique est bien centré sur les Açores et s'étend sur la Méditerranée, situation habituelle en été, les dépressions Atlantique ne parviennent plus en Méditerranée et le temps à Monaco est beau.

Au contraire, lorsque l'anticyclone Atlantique est absent ou peu développé, les dépressions qui se forment sur le Nord de l'Amérique ou le Nord-Ouest de l'Europe traversent la France puis atteignent Monaco avant de s'évacuer vers l'Italie. La fréquence de ces passages est fonction de l'importance de ces perturbations et de leur vitesse de déplacement. Elles peuvent se succéder toutes les 24 heures, les 36 heures, tous les deux jours et demi ou les 5 jours etc...

Dans cette situation, quelques fois en hiver, les masses d'air froid polaires ou sibériennes pénètrent jusqu'en Méditerranée et sont responsables des basses températures hivernales que nous ressentons 2 à 3 fois par an à la fin du mois de janvier et courant février.

Lorsque l'anticyclone Atlantique n'est pas centré sur les Açores mais remonte vers le Nord de l'Atlantique, à la hauteur de Brest par exemple, il s'étend souvent sur une partie de la France et sur l'Espagne. A ce moment là, Monaco est sous l'influence des dépressions du Nord ou du Nord-Est ou d'air chaud qui se déplace d'Ouest en Est sur la Méditerranée occidentale en se chargeant d'humidité. Le temps est moins chaud qu'à la normale, instable et souvent pluvieux. Cette situation lorsqu'elle se reproduit régulièrement conduit à des hivers doux et des printemps plus froids.

La prévision que l'on peut faire à partir de cette vision générale des situations est modifiée par les effets de la topographie régionale sur le sens de déplacement de l'air. Les hauts reliefs situés juste derrière les côtes de la Méditerranée occidentale (Alpes, Pyrénées, Massif central) et plus particulièrement pour notre région, l'arc montagneux des Alpes, crée une barrière élevée qui modifie le sens et la vitesse de déplacement des masses d'air et rend les prévisions beaucoup plus difficiles. Ces massifs peuvent jouer plusieurs rôles :

- soit ils arrêtent les dépressions qui arrivent du Nord ou du Nord-Ouest de l'Europe ne laissant aux masses d'air que la possibilité d'utiliser les vallées pour se déplacer, c'est alors l'apparition du Mistral dans la vallée du Rhône, ou de la Tramontane à travers le seuil de Naurousse.

- soit ils arrêtent l'air doux chargé d'humidité qui se déplace sur la Méditerranée. La vapeur d'eau au contact des reliefs se condense, s'accumule au dessus de Monaco ou arrose abondamment notre côte. On observe souvent ce cas à la fin de l'hiver, ce sont les brumes de mars sur la Turbie.

- soit enfin, sous certaines conditions que l'on n'a pas encore tout à fait élucidées mais qui sont en rapport avec la forme en arc de cercle des Alpes et de la côte ligure, une dépression se creuse spontanément en mer Ligure, la dépression du Golfe de Gênes. La présence de cette dépression en particulier en automne et hiver se concrétise à

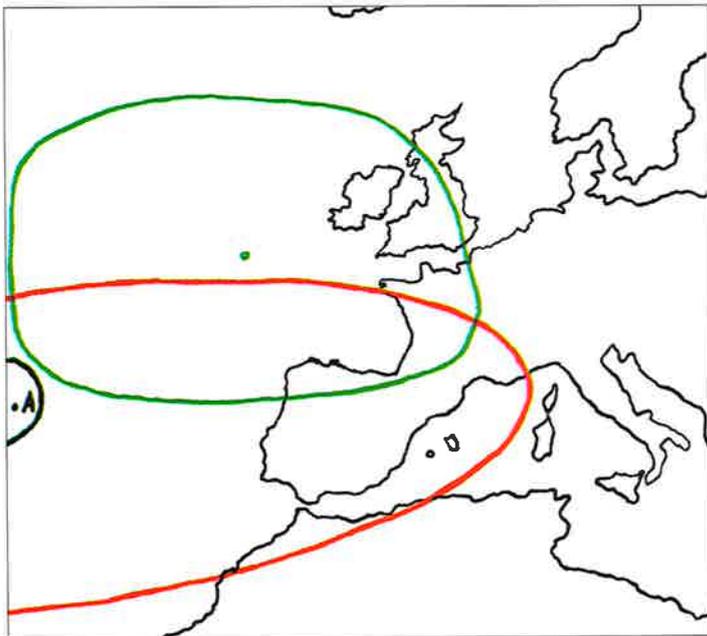


Fig. 1  
Représentation schématique des trois positions les plus fréquentes de l'anticyclone des Açores.  
1) Anticyclone développé et centré sur les Açores.  
2) Anticyclone peu développé ou absent.  
3) Anticyclone remonté sur l'Atlantique Nord.

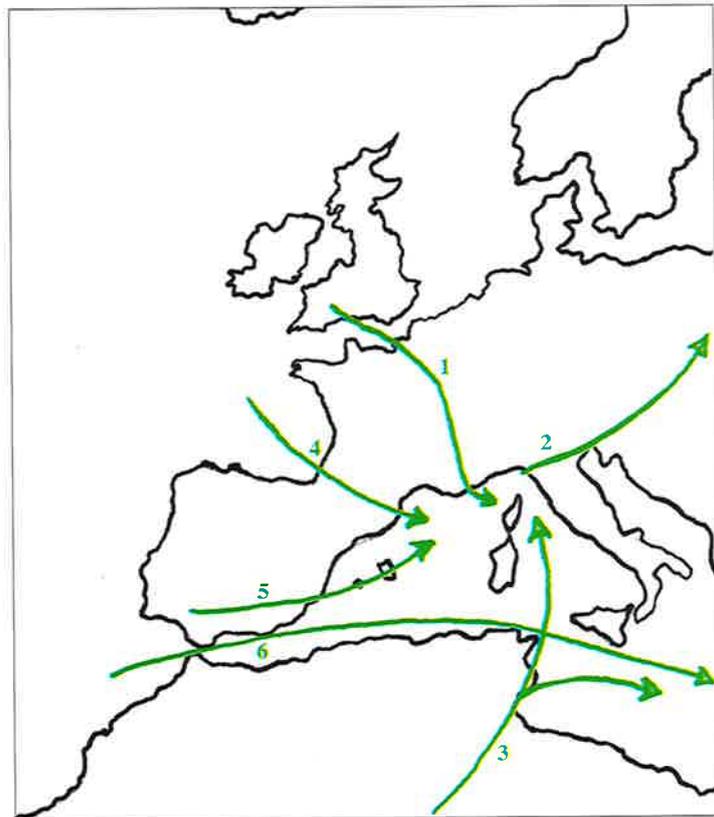


Fig. 2  
Trajectoires des perturbations intéressant Monaco.  
Les flèches 1, 2 et 4 correspondent aux perturbations du Golfe de Gênes qui s'observent en automne, hiver et printemps (1), en automne et au printemps (2) et en automne (4).  
La flèche 5 correspond aux perturbations des baléares qui s'observent en automne, la 3 aux perturbations sahariennes à l'automne et au printemps.

Monaco par des vents forts de secteur Est à Nord-Est amenant de l'air chargé d'humidité et la pluie.

L'effet du relief s'observe bien à Monaco par coups de vent de mistral.

Lors d'un coup de vent de mistral en cours dans la vallée du Rhône, Monaco protégé par les Alpes est souvent épargné par ce vent. La houle d'Ouest qui en est la conséquence dans notre région n'arrivera devant Monaco que 24 à 48 heures après. Si ce vent atteint Monaco, sa direction, modifiée par les reliefs, sera passée à l'Ouest ou au Sud-Ouest. Si enfin, le mistral vrai de Nord-Ouest atteint la côte monégasque il passe au dessus de La Turbie et du Mont Agel. A Monaco on ne mesure pratiquement pas de vent. Le ciel est très dégagé, l'air sec et la mer bleu outre-mer, car ce vent chasse les nuages chargés d'humidité et pousse la couche superficielle de la mer vers le large ce qui éloigne de la côte les eaux chargées de particules et fait remonter de l'eau plus profonde, plus froide mais plus transparente. La mer devant Monaco reste plate et l'on n'aperçoit les vagues dues au mistral qu'au large.

Il résulte de ces conditions météorologiques que l'atmosphère de Monaco a une double origine (Fig. 2). La principale composante vient du Nord, Nord-Ouest plus rarement du Nord-Est et de l'Est (comme cela a été le cas lors de l'accident de Tchernobyl) ; l'air est alors légèrement acide et se charge en polluants au cours de sa traversée de l'Europe. La seconde composante plus ponctuelle est d'origine saharienne. Dans ce cas, l'air est plus neutre mais chargé de poussières minérales qui se déposent sous la forme de terre rouge. Cette situation s'observe souvent en automne et au printemps et donne à la mer et au ciel une couleur gris métallique.



# LE MILIEU MARIN

par  
*Michel BOISSON* <sup>(1)</sup>

La grande particularité de la Principauté par rapport aux autres pays méditerranéens est que son domaine maritime qui s'étend jusqu'à 12 milles nautiques (22,38 km) couvre 71 Km<sup>2</sup>, et est donc 35 fois plus vaste que son domaine terrestre. De plus, si l'on prend en considération la "zone économique exclusive", c'est-à-dire la zone sur laquelle un Etat peut se réserver l'utilisation des ressources marines, ce "domaine maritime" pourrait s'étendre jusqu'à l'équidistance entre la Corse et le continent soit 45 milles (environ 83 km) et couvrirait une surface de 265 km<sup>2</sup>. La Principauté est donc physiquement, économiquement et politiquement tournée vers la mer.

Quelles sont donc les caractéristiques de ce milieu marin? La mer de Monaco a été étudiée depuis le début du siècle par les équipes du Musée Océanographique, puis du

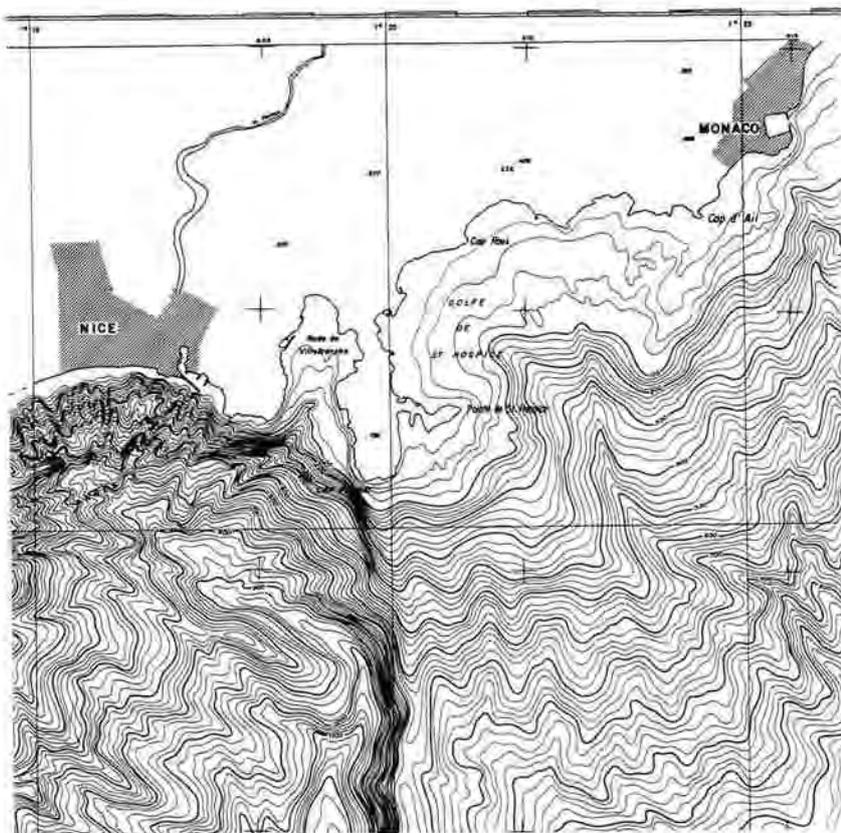
Centre Scientifique de Monaco et du Laboratoire de l'Environnement Marin de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique.

Pour la petite histoire, c'est à Monaco que l'on a fait les premières mesures de la pénétration de la lumière en mer et que le premier programme de surveillance en continu de la zone côtière a été réalisé entre 1907 et 1914.

Les travaux de la station zoologique de Villefranche sur mer apportent aussi beaucoup de précisions sur les caractéristiques de la mer Ligurie.

Notre mer se caractérise en premier lieu par un relief sous-marin très pentu en continuité avec les hauts reliefs qui nous entourent (**Fig. 1**). Ainsi, à l'entrée du port "Hercule" on mesure déjà trente mètres de profondeur, le Casino est construit sur un rocher qui descend directement jusqu'à

(1) Docteur en Océanographie, Vice-Président de l'AMPN.



*Fig. 1*  
Carte du relief  
sous-marin devant la Côte d'Azur  
(Carte bathymétrique)  
Le relief  
sous-marin est  
très pentu en continuité  
avec les hauts reliefs  
ce qui a pour  
conséquence l'étroitesse  
du plateau continental.

40 mètres. La jetée du port de Fontvieille est posée sur 30m de fond. La profondeur de 100 m se situe à moins d'un kilomètre du Musée Océanographique. A 6 km de Monaco on mesure 1100 m et à la limite de nos eaux territoriales, on atteint pratiquement les 2000m de fond.

Par temps calme, lorsque l'on regarde la mer on a l'impression que l'eau reste immobile. C'est une fausse impression, l'eau devant Monaco se déplace continuellement. Une goutte d'eau partant de Cap Martin met en moyenne 24 heures pour atteindre le Cap d'Ail.

En fait, c'est toute la Méditerranée qui est en mouvement permanent. Imaginez un "mille-feuilles", la Méditerranée fonctionne comme un bassin comportant des couches superposées de masses d'eau indépendantes les unes des autres et dans lequel l'évaporation est très supérieure aux apports d'eau douce par les fleuves et les pluies. Pour combler ce déficit un flux d'eau venant de l'Océan Atlantique pénètre en surface par le détroit de Gibraltar. Ainsi, c'est 21 m d'épaisseur d'eau Atlantique qui entrent par Gibraltar tandis qu'il en ressort en profondeur une lame d'eau Méditerranéenne de 20 mètres. Cela crée dans toute

la Méditerranée des circulations horizontales et verticales intenses, l'ordre des "débits" est du million de m<sup>3</sup> par seconde. Cette eau Atlantique fait le tour de la Méditerranée (Fig. 2). Elle longe les côtes de l'Afrique et de l'Arabie pour remonter le long de la botte italienne ou de la Turquie puis suit les côtes européennes ou grecques. Le thon, poisson migrateur, accompagne ces courants et tourne autour de la Méditerranée ce qui faisait dire à Aristote que les thons étaient borgnes de l'oeil gauche car ils se déplaçaient en suivant la côte avec leur oeil droit. Cette eau de surface va subir pendant l'été une forte évaporation et donc une augmentation de salinité sans augmentation de densité du fait de sa température élevée. Au cours de l'hiver, en se refroidissant, elle va augmenter de densité et descendre en profondeur où elle acquiert les caractéristiques de l'eau méditerranéenne.

La mer Ligure, donc les eaux devant Monaco, n'échappe pas à ces importants mouvements. En particulier dans les 200 premiers mètres, les eaux qui pénètrent dans le bassin à la fois le long de la côte nord ouest de la Corse et par le canal de Corse en provenance de la mer Tyrrhénienne

Fig. 2  
Carte schématisant la circulation du courant des eaux Atlantiques qui pénètrent en Méditerranée occidentale. Ces eaux circulent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Ce courant guide aussi les poissons migrateurs comme le thon.

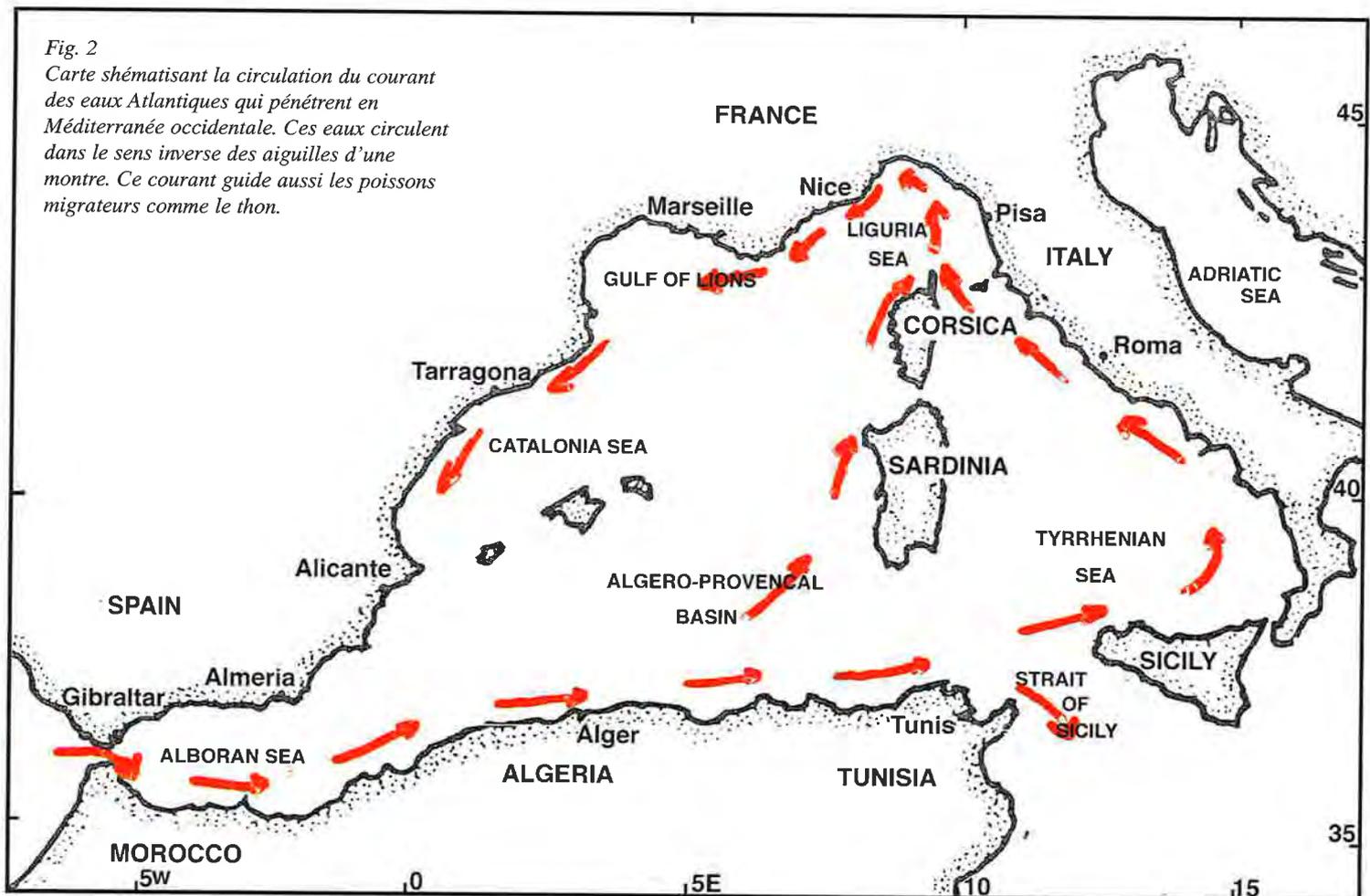
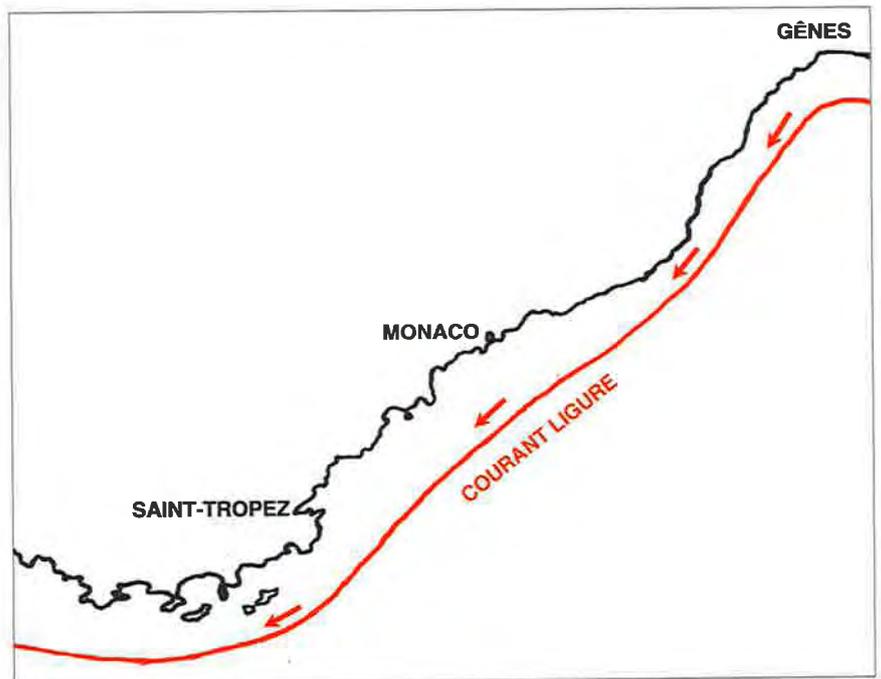


Fig. 3  
Carte indiquant  
la position la plus fréquente  
du courant Ligure  
devant Monaco.  
Ce courant  
passe au large de Monaco  
à une distance  
de 6 à 20 km  
par rapport  
au Musée Océanographique.



se rejoignent devant Gênes, longent la Riviera Italienne, la Côte d'Azur et les côtes varoises et traversent ainsi la mer de Monaco. C'est le fameux courant Ligure. Le flux ou "débit" moyen annuel devant Monaco est de 1,4 millions de m<sup>3</sup> par seconde. Ce courant Ligure ne longe pas directement le littoral monégasque (Fig. 3). Il passe au large à au moins six km de Monaco, car, et c'est encore un des effets de la géographie particulière à la région de Monaco, ce courant suit la ligne directe de la côte et généralement la profondeur de 1000 m. Il coupe donc tout droit entre le Cap de Bordighera et le Cap d'Antibes.

Nos ancêtres et les moines des îles de Lérins connaissaient déjà cette particularité puisque l'arrivée de Sainte Dévote, martyrisée en Corse dans la région de Bastia, à Monaco est décrite dans la légende par "la barque emportée par les courants dérive jusqu'au réveil du marin qui aperçoit la côte au moment où une colombe s'échappe de la bouche de la Sainte et le guide vers le rivage qu'il n'aurait pu atteindre sans s'aider de ses rames".

Ce courant conditionne l'existence d'une structure verticale permanente qui délimite, entre le centre du bassin et la côte, quatre zones pour lesquelles la composition de l'eau est différente. Sans entrer dans le détail, il faut attirer l'attention sur la zone côtière. (Fig. 1).

En effet, cette zone comprise entre le courant Ligure proprement dit et notre littoral est "isolée" du reste de la mer. Son extension vers le large atteint au maximum 9km et son épaisseur varie entre 150 et 300 mètres en hiver où la

colonne d'eau devant Monaco est homogène en température (autour de 13°C).

Entre avril et août, par contre, les augmentations de la température et du rayonnement solaire réchauffent la couche superficielle de la mer. Cette élévation de température intéresse progressivement une couche d'eau de plus en plus épaisse, en raison de la diffusion et de l'agitation. En été, lorsque la température de l'air est la plus élevée, cette couche chaude s'étend au maximum sur une épaisseur de 40 à 50 mètres. Ainsi s'individualisent dans le milieu marin deux couches d'eau indépendantes l'une de l'autre : une couche superficielle chaude de 20 à 27°C et le reste de la colonne d'eau à 13°C. Donc à cette époque de l'année, la zone côtière n'a plus qu'une épaisseur réduite comprise entre 10 et 50 mètres.

Il découle de l'ensemble de ces observations que :

1) La circulation des masses d'eau marine au-dessus du plateau continental monégasque est la conséquence des effets conjoints de la configuration géographique locale et des conditions météorologiques régionales ou locales sur le régime général du courant Ligure. Le courant côtier montre une très grande variabilité avec l'apparition de contre-courants et de méandres. La direction la plus fréquente est le Sud-Ouest (en accord avec le sens du courant Ligure) avec une accélération de la vitesse lors de l'établissement d'un régime de tramontane ou de mistral sur le Golfe du Lion. Mais aussi, dans environ 40% des cas, s'établit un courant opposé orienté vers le Nord-Est. Ce changement d'orienta-

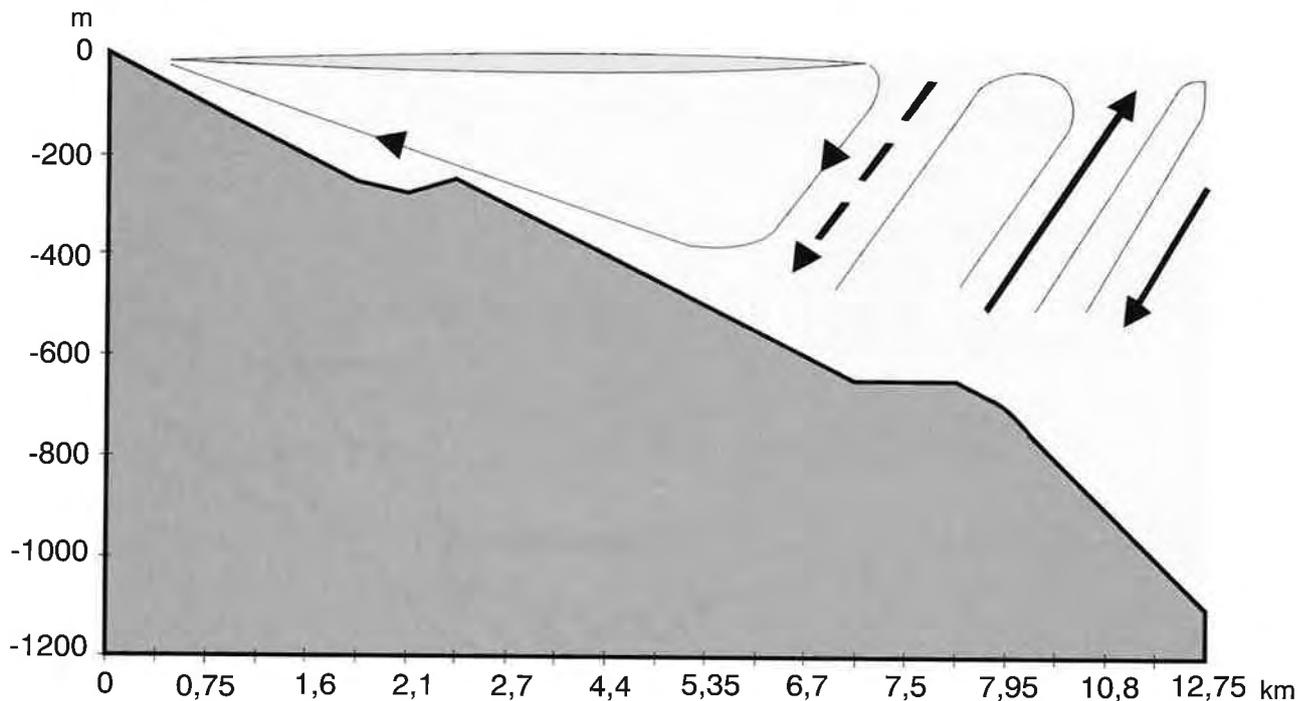


Fig. 4  
Schéma montrant la position et l'importance de la couche des eaux côtières devant Monaco. Ces eaux sont limitées vers le large par le front de densité du courant Ligurie (représenté ici par les flèches en trait plein) situé à 6 ou 20 Km de Monaco. L'épaisseur de cette couche, dans laquelle se mélange les eaux douces (torrents, fleuves, émissaires urbains et eaux de ruissellement) et les polluants qui y sont associés, varie suivant la saison: a) période hivernale l'épaisseur de la couche est de 150 à 400 m; b) période estivale le réchauffement solaire estival des eaux superficielles réduit l'épaisseur de la couche qui ne mesure plus que 10 à 50 m.

tion des courants est généralement en phase avec le passage des dépressions et montre des cycles de 24 heures, 36 heures, 2,5 jours à 5 jours. Le sens du courant de surface devant Monaco est donc souvent directement relié au déplacement des dépressions Atlantiques. De plus, quelques fois lorsque le vent vient de l'Ouest ou du Sud-Ouest, il pousse la couche d'eau superficielle vers le large. Cette eau est alors remplacée par de l'eau des couches plus profondes dont la température est, en été, plus froide que celle de surface. Cette remontée d'eau que les océanographes appellent upwellings expliquent le refroidissement constaté par les baigneurs après ces coups de vent.

2) La composition des eaux côtières résulte du mélange des eaux marines avec les apports d'eau douce. Les changements de salinité devant Monaco reflètent les variations de débits des fleuves italiens, La Roya par exemple, mais aussi l'Arno qui débouche au Sud de La Spezia.

3) La barrière physique entre cette zone côtière et le courant Ligurie empêche la dispersion des organismes planctoniques et des apports d'eau douce, donc des substances polluantes et les maintient dans cette zone côtière dont le volume est fortement réduit en période estivale.

**Comment la vie se développe dans cet univers en plein mouvement?**

### La vie marine

Comme sur terre la base de la vie marine est la formation des végétaux. Ces végétaux utilisent la lumière pour

assimiler le carbone et les autres éléments azote, phosphore et dans une moindre mesure le soufre et le silicium qui entrent dans leur composition. La lumière pénètre difficilement en mer car elle est absorbée par l'eau et réfléchiée par les particules en suspension. Dans notre région, il n'y a plus que 2 % de la lumière du soleil à 50 mètres de profondeur. Le carbone se trouve en abondance en mer sous forme de carbonates et bicarbonates dissous. L'azote et le phosphore sont assimilés à partir des nitrates et phosphates en solution dans l'eau : ils servent d'engrais.

Cette vie se développe soit sur le fond, c'est le système benthique, soit dans la masse d'eau, c'est le système pélagique.

# LE SYSTÈME PÉLAGIQUE DE LA MER DE MONACO

par

*Michel BOISSON* <sup>(1)</sup>

“L’herbe de la mer” vit et se développe dans les 50 premiers mètres d’eau, on l’appelle le phytoplancton. La plupart des espèces du phytoplancton ne sont constituées que par une seule cellule. On a identifié dans le monde environ 6000 espèces phytoplanctoniques. En Méditerranée, on en a dénombré plusieurs centaines. Ces cellules de taille comprises entre quelques millièmes de millimètre et quelques dixièmes de millimètre sont plus lourdes que l’eau et elles ont tendance à s’enfoncer (*Photo 1*). Elles se sont donc adaptées à la situation en développant des moyens pour augmenter leur capacité à flotter. C’est la raison pour laquelle elles possèdent des pointes plus ou moins longues, elles sont munies de cils qui leur assure une certaine motricité ou elles s’accrochent entre elles pour augmenter leur volume. Présentes toutes l’année, ces cellules sont beaucoup plus nombreuses à partir du mois de février et jusqu’à la fin du mois d’avril. On appelle cette période “la poussée printanière”. A cette époque, le nombre de cellules algales peut passer de 10 cellules par millilitre à 1000 et même 5000 cellules par millilitre. Leur multiplication s’arrête lorsqu’elles ont utilisé la totalité des engrais présents dans la couche d’eau superficielle. Ce phytoplancton sert de nourriture au zooplancton végétarien qui lui même sert de nourriture au zooplancton carnivore et ainsi de suite jusqu’aux poissons,

*Photo 1*  
Photographie  
d’une partie d’une pêche  
de phytoplancton  
(herbe de la mer).

*Photo CL. CARRÉ*



(1) Docteur en Océanographie, Vice Président de l’AMPN.

Photos 2  
Photographies  
de deux espèces  
de copépode:

a) *Pontella*,  
b) *Euchaeta*.

Les copépodes,  
petits crustacés constituent  
généralement 80%  
du zooplancton.

Photos DANIEL MILLE



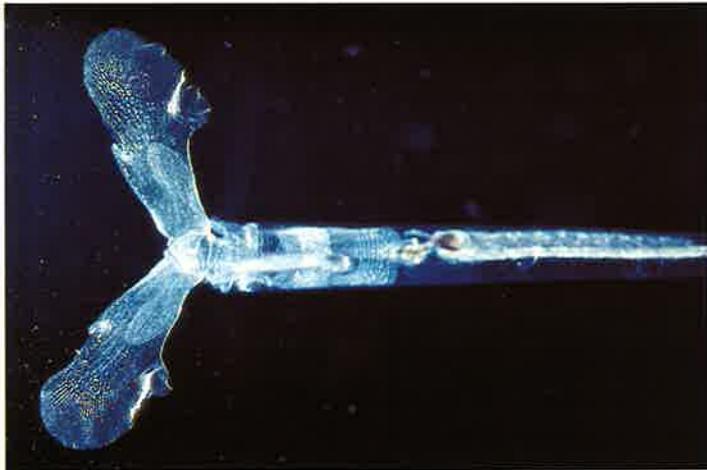
les mammifères marins et l'homme. Le zooplancton (**Photos 2A/2B**) de taille comprise entre quelques centièmes de millimètre et quelques dizaines de millimètre est principalement composé de petits crustacés, les copépodes, armés d'antennes et de longs cils pour augmenter leur flottabilité. Ils constituent suivant la saison 60 à 90% du plancton. Le zooplancton comprend aussi des représentants des autres groupes mollusques, annélides, coelentérés (**Photos 3A-3B-3C**) etc...

Dans ce plancton des espèces jouent un rôle particulier ce sont les salpes (**Photos 4A-4B**). Ces organismes sont des tuniciers comme les ascidies ou figues de mer. Leur originalité est double.

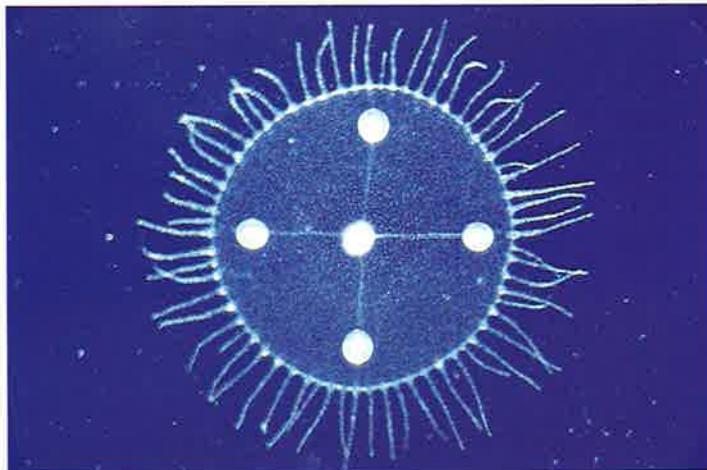
Leur cycle biologique comporte deux générations dont une sexuée qui a la capacité de se multiplier rapidement par bourgeonnement donnant naissance à des chaînes pouvant atteindre 4 m de long.

Leur nutrition se fait par la fabrication en continu d'un filtre qui leur sert à ramasser les particules en suspension. La dimension des pores de ce filtre est de l'ordre du micron soit un millième de millimètre plus petit que les bactéries. Ce filtre est donc capable de ramasser tout ce qui passe à sa portée et qui servira de nourriture à ces organismes. Ces animaux se multiplient, souvent en grande quantité, après la floraison phytoplanctonique de février. Ils collectent le phytoplancton et les déchets du plancton herbivore. Ils en assimilent une partie et rejettent le reste aggloméré en boulettes. Ces boulettes assez lourdes tombent rapidement vers le fond et vont servir de nourriture aux animaux vivant plus profondément ou dans les sédiments. Les salpes sont de véritables "balayeurs de la mer". Les excréments de tous les organismes marins et les débris d'organismes morts sédimentent lentement et atteignent le fond où ils sont dégradés par les bactéries qui régénèrent les engrais. Mais voilà, ces engrais sont libérés à des profondeurs où la lumière ne pénètre pas, ils y sont inutiles pour la vie marine. Il faut donc un mécanisme physique pour les ramener en surface. Ce mécanisme absent en été prend naissance avec le refroidissement de la température de l'air à la fin de l'été et se prolonge jusqu'à la fin de l'hiver. Le refroidissement des eaux de surface, dont la salinité a augmenté pendant l'été par évaporation, rend ces eaux plus lourdes. Elles vont donc descendre vers le fond. Ce déplacement crée dans toute la colonne d'eau des mouvements ascendants et descendants qui sont amplifiés par les coups de vents. Ce mélange des eaux ramène en hiver en surface une partie des engrais régénérés au fond en été. Et ainsi le cycle peut recommencer.

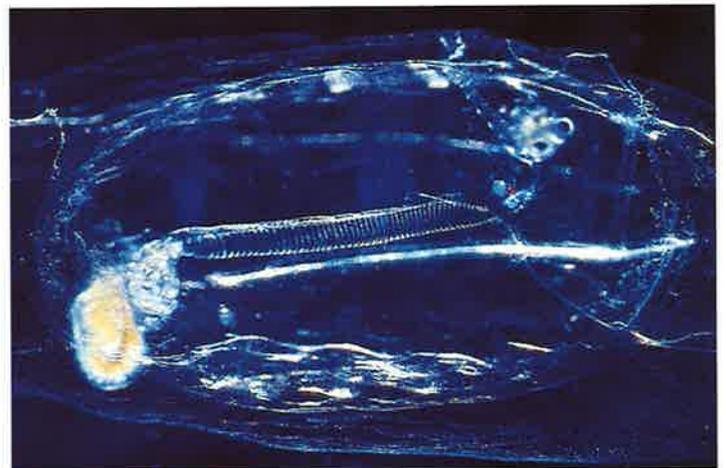
On peut mentionner quelques unes des espèces pélagiques déjà connues de nos anciens (**Photos 5-6-7**).



Photos 3  
Exemples  
d'autres espèces du zooplancton,  
a) le mollusque *Ptéropode*  
b) la méduse *Obélia*,  
c) la larve de *Crabe*.



Photos 4  
Les salpes:  
a) un individu isolé de *Salpa fusiformis*,  
b) une portion de la chaîne de *Thalia democratica*.



## L'ENVIRONNEMENT MONÉGASQUE

Photo 5 - Photo JEAN MICHEL MILLE.

La méduse *Pélagia noctiluca* qui vit toute l'année au large comme les cinq autres méduses pélagiques de grande taille présentes en Méditerranée. Cette méduse très urticante qui crée des désagréments aux pêcheurs et aux baigneurs est une espèce très curieuse. Les océanographes ont quelques problèmes avec elle car ils n'ont toujours pas réussi à décrire sa reproduction ni à expliquer son arrivée à la côte qui ne s'observe que pendant 3 à 4 années consécutives tous les 10 à 12 ans. Cette arrivée à la côte mentionnée depuis plus de 200 ans dans les observations quotidiennes de la station de Villefranche sur mer semble être en relation avec l'établissement de hautes pressions accompagnées d'un déficit de pluviosité. Cette espèce fournit donc le plus bel exemple de la relation entre les fluctuations de populations planctoniques et les changements climatiques.

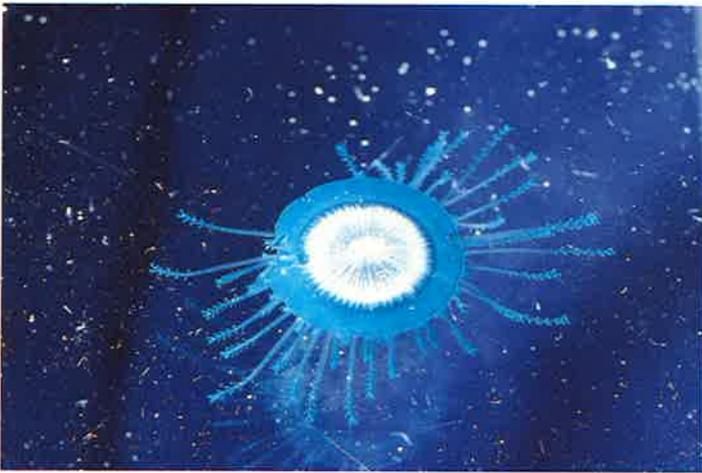


Photo 6 - Photo CLAUDE CARRÉ

Les barquettes de la Saint Jean, dont le nom latin est *Veella veella*, ont l'aspect d'un petit bateau de 5 à 7 cm de longueur, de couleur bleu et munies d'une voile triangulaire. Cet organisme est un coelentéré (embranchement des coraux et des méduses) et plus précisément un siphonophore proche des hydraires. C'est un hydraire complètement adapté à la vie pélagique à un point tel que sa respiration est devenue aérienne par suite de l'émersion normale du flotteur (constitué par la barquette). La couleur bleu est donnée par des zooxanthelles, cellules végétales vivant en symbioses avec ces veelles. Sous ce flotteur est fixée toute une colonie de polypes disposés en ellipses. De ces polypes se détachent de petites méduses ayant la forme d'une mitre qui tombent généralement au fond de la mer où elles se reproduisent. Les processus de fécondation et le début du développement des veelles sont encore mal connus. Ces barquettes vivent normalement en haute mer où elles peuvent constituer des bancs immenses (des dizaines de kilomètres carrés). Elles sont poussées par les vents de Sud vers les côtes métropolitaines en mai et en juin dans notre région ce qui explique leur nom.



Photo 7 - Photo CLAUDE CARRÉ

Les crevettes de la Sainte Dévote dont le nom latin est *Meganctiphanes norvegica* sont des crevettes pélagiques d'origine atlantique boréale, assez répandues dans nos eaux surtout l'hiver. Leur taille est au maximum de 5 cm, elles se nourrissent de plancton végétal ou de détritiques et sont recherchées par les baleines, certains phoques, les oiseaux marins et les poissons. Elles vivent normalement au dessus du talus continental entre la surface et 500 m de profondeur. Ces crevettes sont bien connues des pêcheurs monégasques car chaque année, à la fin du mois de janvier, elles se rassemblent à la côte devant Monaco, où on les pêche avec une lampe électrique. La raison de cette présence inhabituelle n'est pas encore très bien élucidée. Elle est vraisemblablement en rapport avec la reproduction de cette espèce et l'ampleur de ce phénomène est plus grand, lorsque la lune est pleine et le ciel dégagé par le mistral.

# LE MILIEU MARIN BENTHIQUE DE LA PRINCIPAUTÉ DE MONACO

par

*Gaston FREDJ* <sup>(1)</sup>

*Sébastien DI GERONIMO* <sup>(2)</sup>

Il est assez curieux, lorsqu'on connaît l'action déterminante du Prince Albert 1er de Monaco pour le développement de l'océanographie, de constater que les fonds de la Principauté n'ont fait l'objet que de très peu de travaux scientifiques.

Les travaux notables sont :

- les recherches menées à bord de l' "EIDER" et du "STENO" de 1907 à 1914.

- l'étude d'A. CHEVALLIER (1913), auteur d'une carte bathylithologique sous marine de France dont la fraction qui nous intéresse couvre la Côte méditerranéenne française d'Antibes à Menton.

- l'ouvrage posthume de Gaston-Maurice OLLIVIER (1930).

- les travaux préliminaires de Christian CARPINE (1960).

- les recherches d'E. GILAT qui ont porté sur la zone comprise entre la frontière monégasque et le Cap Martin.

- la reconnaissance effectuée par C. FALCONETTI et A. MEINESZ (1989) à l'aide du sous-marin "Griffon" de la Marine Nationale Française.

Par contre, il existe un grand nombre d'études techniques menées dans le cadre de l'aménagement du domaine maritime de la Principauté (cf. références).

Enfin de nombreux articles ont été consacrés à la faune et la flore de la Principauté dans le *Bulletin de l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature*.

Le benthos est défini comme l'ensemble des organismes marins fixés, enfouis ou simplement en contact ou à proximité du fond, depuis le rivage jusqu'aux grandes profondeurs ; ces organismes sont souvent sédentaires et de ce fait sont plus sensibles à la pollution. Il est composé de :

## **Végétaux :**

Les végétaux ou phytobenthos comprennent des organismes supérieurs ou phanérogames ( dont certaines sont typiques de la Méditerranée comme les posidonies, cymodocées ou zoostères), des macroalgues comme la "salade de mer" *Ulva* et des micro-algues unicellulaires comme certaines diatomées.

## **Animaux :**

Les animaux ou zoobenthos ont souvent une larve planctonique ce qui facilite leur dispersion.

Les espèces benthiques sont nombreuses et variées. Elles sont adaptées à la nature du sous-sol marin qui peut être rocheux, empierré, sablonneux ou vaseux mais aussi à la profondeur à cause de la réduction progressive de la quantité de lumière reçue.

Ces organismes ont donc été regroupés en étages. La zone littorale qui se caractérise par la présence des algues a été ainsi découpée en quatre étages :

- l'étage supralittoral est la zone humectée par les embruns. Les organismes qui y vivent sont adaptés à une émergence prolongée (lichens, puces de mer, littorines, Chthamales).

---

(1) Professeur à l'Université de Nice-Sophia Antipolis (France).

(2) Professeur à l'Université de Catane (Italie).

- l'étage médiolittoral est la zone baignée par les vagues et les marées. En raison de la faible amplitude des marées en Méditerranée, cet étage ne s'étend que sur une hauteur d'environ 80 centimètres. Les espèces qui y vivent sont capables de supporter une émergence temporaire (Ophélie, Nérines, Patelles, Moules, Petits Crabes etc.).

Ces deux étages n'étant pas continuellement immergés, ils n'ont pas fait l'objet d'une étude détaillée. Ce sont donc essentiellement les deux étages suivants qui sont décrits dans cet article. Le premier, l'étage infralittoral est la zone où se développe les algues et les phanérogames (posidonies par exemple). Il s'étend de -1 à -40 mètres en Méditerranée. Le second est l'étage circalittoral, il se caractérise par une plus faible luminosité, on y trouve des éponges, des mollusques, des vers etc. Il s'étend de -40 à -150 mètres.

Dans ces étages les organismes se regroupent suivant les conditions physico-chimiques qui y règnent (courants forts ou faibles, nature des sols solides ou meubles, transparence de l'eau etc...) ils forment ainsi des communautés vivantes qu'on appelle des biocénoses. Dans l'étage infralittoral ont été décrites deux biocénoses pour les substrats solides (la biocoenose à algues photophiles et la biocoenose à invertébrés en eaux très polluées) et huit biocénoses pour les substrats meubles (les biocoenoses des galets infralittoraux, des sables et graviers sous l'influence de courants de fond, des sables relativement protégés du déferlement des vagues, des sables vaseux superficiels en mode calme, des sédiments très pollués, des sables fins bien calibrés, des sables fins superficiels et de l'herbier de posidonies). Dans l'étage circalittoral ont été décrites quatre biocénoses pour les substrats solides (les biocénoses du coralligène, des grottes semi-obscurées, des grottes à obscurité totale et de la roche du large) et quatre pour les substrats meubles (les biocénoses des fonds détritiques côtiers, des fonds détritiques envasés, des vases terrigènes côtières et des fonds détritiques du large).

### **Le plateau continental monégasque : Principales biocénoses**

En 1993, une étude a permis de dresser l'inventaire et la cartographie des principales biocénoses du plateau continental monégasque.

Pour une façade maritime d'un peu plus de 3km, la côte actuelle de la Principauté a une longueur de 4,1 km de frontière à frontière. On peut estimer que les parties artificielles de la côte dues aux modifications entreprises par la Principauté (Terres pleines de Fontvieille, du Larvotto, du Sporting d'Été et Centre de Congrès Auditorium) représentent 50% de la ligne du rivage actuel.

La surface totale du plateau continental (zone comprise entre 0 et 100 m de profondeur est de l'ordre de 7,7 km<sup>2</sup>. Les réserves marines naturelles représentent environ 0,5 km<sup>2</sup> soit 6,7% de cette surface.

Les principaux peuplements observés sont les suivants :

**Etage infralittoral**, trois biocénoses sont bien représentées (*carte 1*) ce sont :

#### **Biocénose des Algues photophiles (AP)**

Elle occupe tous les rochers et enrochements naturels et les constructions artificielles du port de Fontvieille, du port de Monaco, du Larvotto et du terre plein du Sporting d'Été soit environ 75% du littoral. Elle est formée d'un feutrage algal court où dominent les Algues rouges. Cette biocénose a également colonisé les surfaces des conduites sous marines où elle forme un feutrage algal clairsemé, dominé par les Algues rouges, souvent recouverte d'Ectocarpacées et de Cyanophycées filamenteuses.

#### **Biocénose des sables et graviers sous l'influence de courants de fonds (SGCF).**

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, cette biocénose est largement répandue dans les eaux monégasques où on peut l'observer devant les enrochements du Port de Fontvieille, au pied du Musée Océanographique de Monaco et devant le Centre de Congrès Auditorium de Monte Carlo.

Cette biocénose est installée sur un substrat de sable grossier ou parfois de graviers sablonneux très propres sans aucune composante vaso-argileuse.

Sur le fond, des structures dues au courant sont localement visibles ; le substrat est généralement plat et présente parfois une légère bioturbation. Les galets et les petits blocs sont colonisés par un feutrage algal clairsemé et dans la partie profonde (après 30 mètres), par des algues calcaires encroûtantes et quelques Eponges.

#### **Faciès à *Caulerpa taxifolia*.**

Le faciès le plus intéressant concerne le peuplement à *Caulerpa taxifolia*. Cette Algue est installée sous forme de peuplements denses entre le pied du Musée Océanographique et l'ancien émissaire de la Principauté (actuellement déversoir d'orages) qui s'étalent entre 24 et 41 mètres de profondeur. On la retrouve à l'Ouest sur les déversoirs installés au pied du rocher de Monaco et sur le haut fond de Saint Nicolas. A l'Est, on peut noter des stolons épars dans la zone de baignade entre le Musée Océanographique et la pointe Saint Antoine ainsi que quelques spécimens au pied du Centre de Congrès Auditorium de Monte Carlo.

**Biocénose de l'Herbier de Posidonies (HP).**

Il s'agit d'un herbier résiduel installé sur un substrat de sable avec un pourcentage très faible de vase. Cet herbier existe seulement dans la Réserve du Larvotto. Deux situations peuvent être constatées :

- A l'Ouest, la limite de l'herbier est franche de 23 mètres à la côte (8,6 mètres).

- A l'Est, l'herbier dense peut être observé jusqu'à 23 mètres, jusqu'à 26 mètres l'herbier est clairsemé avec de nombreux épiphytes ce qui est dû à un aspect saisonnier. Au delà, face aux plages du Larvotto et au terre plein du sporting d'Été, s'étend une matre morte, témoignage de l'ancienne extension de l'herbier.

Cette régression de l'herbier originel peut s'expliquer par deux facteurs :

- un recul naturel de la limite inférieure des herbiers de posidonies observé en Méditerranée occidentale entre 1930 et 1960.

- un ensablement d'une partie des fonds au moment de la construction des emprises sur la mer entre 1960 et 1975 et à l'augmentation consécutive de la turbidité des eaux accélérant le recul naturel.

Cependant, depuis une dizaine d'années la situation de l'herbier s'est stabilisé à 26 mètres au lieu de 34 et les repiquages par l'équipe de MEINESZ du côté Est de la réserve se développent normalement.

**Etage circalittoral**, quatre biocénoses sont bien représentées, ce sont :

**Biocénose du Coralligène (C)**

Sur substrat dur, la biocénose est présente. Il s'agit d'un coralligène où dominant les organismes filtreurs ou suspensivores (principalement *Halocynthia papillosa*, quelques Bryozoaires calcifiés et Eponges encroûtantes).

Les algues calcaires encroûtantes sont souvent absentes et, on trouve parfois un petit nombre d'exemplaires d'*Halimeda tuna*.

C'est à la frontière orientale de la Principauté que le coralligène présente un aspect plus caractéristique mais toujours avec une composante végétale réduite.

**Biocénose du détritique côtier (DC).**

Cette biocénose fait suite aux SGCF devant la digue de Fontvieille entre 45 et 75 mètres, devant le Musée Océanographique jusqu'au phare Sud du Port de Monaco.

On ne la retrouve ensuite qu'à l'Est entre 38 et 50 mètres au large du Larvotto.

Le fond est plat à surface très irrégulière et peu bioturbé. Le substrat est un sédiment mixte, hétérogène constitué de restes organogènes et de quelques galets, encroûtés et

recouverts par une fine pellicule de vase avec quelques mélobésiées encroûtantes. L'aspect le plus caractéristique de l'association peut être observé au large du Larvotto où se reconnaît un faciès de courant ainsi qu'en témoigne la fréquence sur le fond d'épaisses touffes d'Algues principalement *Cystoseira dubia* et *Arthrocladia villosa*. A l'Est, en effet, la biocénose est appauvrie et cède rapidement la place à celle du Détritique envasé.

**Biocénose des fonds détritiques envasés (DE).**

Elle occupe une grande partie du Plateau continental monégasque. Débutant un peu avant 50 mètres, elle s'étend jusque vers 85 mètres à l'Est de la Principauté. Devant le Centre de Congrès Auditorium, elle succède immédiatement aux SGCF. Le plateau s'élargissant à l'Ouest, l'extension en surface de cette biocénose est plus importante.

Le substrat est constitué d'un sédiment détritique organogène provenant des biocénoses préexistantes (DC ou SGCF) recouvert d'une couche de vase, dont l'épaisseur est localement importante. La surface du fond est légèrement irrégulière et toutes les petites aspérités sont adoucies par le revêtement vaseux dont émergent seulement les éléments les plus grands (quelques galets, des gorgones, les plus grands spécimens de Bryozoaires calcifiés et des concrétions organogènes). La bioturbation est particulièrement évidente dans les parties les plus profondes à partir de 60 à 70 mètres. Un faciès particulier de transition avec la biocénose du DC est caractérisé par de nombreuses colonies de *Pentapora fascialis* qui émergent de la couche de vase et présentent des extrémités de ramifications vivantes.

**Biocénose de la vase terrigène côtière (VTC).**

Elle succède au DE avec parfois des zones de mélange progressif. Elle débute à l'Est vers 85 mètres. On la retrouve sous l'émissaire principal de Fontvieille puis dans la zone située sous les cages d'aquaculture de la société P2M. La biocénose s'étend jusqu'au rebord du plateau continental et se prolonge au delà de 150 mètres. Le substrat est constitué de vase fine fluide qui recouvre le fond et lui donne un aspect plat et uniforme. La macrofaune benthique est peu abondante et représentée principalement par des Actinies et quelques Holothuries. La bioturbation (dans les niveaux les moins profonds et dans les zones de transition avec la biocénose du détritique envasé) est très importante et le fond est parsemé de petits cônes vaseux probablement dus à des Thalassinidés.

**Evolution depuis 60 ans et état actuel des biocénoses benthiques de la Principauté.**

Depuis soixante ans la physionomie de la ligne de côte de la Principauté a été changée par des aménagements

côtiers. Le plateau continental a également changé d'aspect, une partie de l'étage infralittoral étant recouvert par les aménagements et certaines biocénoses présentes ayant été modifiées. L'herbier de posidonies résiduel, situé au Larvotto, qui atteignait d'après les cartes de CHEVALLIER (1913) et d'OLLIVIER (1930) 35 à 40 mètres de profondeur a régressé jusqu'à 27 mètres en raison des effets conjugués d'une régression naturelle et du sédiment provenant de la construction des terres pleines. Ces 20 dernières années la régression de la limite inférieure de cet herbier s'est stabilisée.

Certaines biocénoses circalittorales, le détritique côtier par exemple, montrent un envasement progressif dont l'origine n'a pas pu encore être bien identifiée. L'hypothèse la plus vraisemblable est que cet envasement (composé de matières organique et inorganique) résulterait du dépôt des matières en suspension contenues dans les eaux usées non épurées de l'agglomération monégasque et des agglomérations voisines. En effet, l'extension du détritique envasé s'observe de part et d'autre de l'orifice de l'ancien émissaire principal de Monaco qui a fonctionné pendant une vingtaine d'années sans aucune épuration des eaux usées. L'installation récente d'une station de traitement et le prolongement de l'émissaire de la Principauté jusqu'à la profondeur de 100 m devrait permettre une amélioration progressive de la situation.

On assiste, en outre, à un remplacement progressif de la biocénose des sables et des graviers sous l'influence des courants de fonds par celle du détritique côtier ainsi qu'à l'installation de l'algue *Caulerpa Taxifolia*.

Cependant, certains aménagements ont été positifs et certaines expériences ne se sont pas traduites par des nuisances particulières. Par exemple, l'état des peuplements autour des quatre déversoirs d'orage et de l'émissaire principal de la Principauté est satisfaisant. Jusqu'à proximité immédiate des effluents, on trouve encore des organismes aussi sensibles à un changement de salinité que les *Echinodermes*. Les installations d'aquaculture (environs immédiats du "LABRAX" et des cages flottantes) ne semblent pas avoir entraîné de modifications majeures des peuplements au dessus desquels elles sont situées. De même la création des réserves marines se révèle avoir été déterminante pour protéger l'herbier de Posidonies et le Coralligène.

La compréhension complète de la situation du plateau continental monégasque devrait s'appuyer sur une étude sédimentologique de la couche vaseuse et des sédiments originels ainsi que du contenu en espèces (thanatocoénoses) de ces derniers. Cette étude compléterait utilement la cartographie biocénotique déjà réalisée et pourrait permettre d'apprécier quantitativement les peuplements benthiques de la Mer de Monaco.



Photo 1  
Etage infralittoral.  
Biocénose des algues photophiles.  
Enrochements du Larvotto.



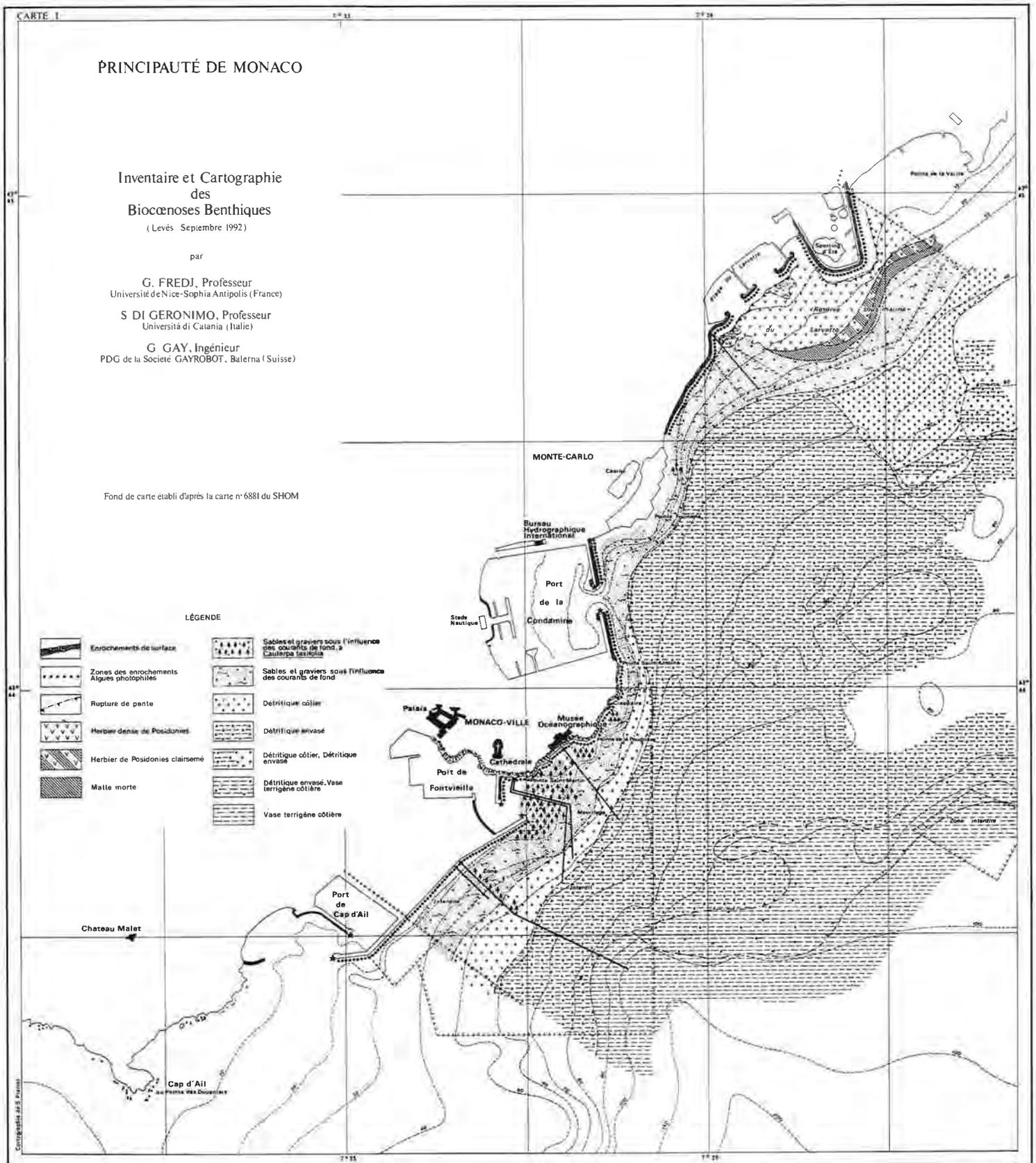
Photo 2  
Etage infralittoral.  
Biocénose des sables et graviers sous  
l'influence de courants de fonds.  
La Réserve du Larvotto.



Photo 3  
Etage infralittoral.  
Biocénose des sables et graviers sous  
l'influence de courants de fonds. Faciès à  
*Caulerpa taxifolia*.  
Sous le Musée Océanographique.

### Bibliographie

- CARPINE Christian 1960 - Note préliminaire sur les communautés benthiques de la région de Monaco. Bulletin de l'Institut océanographique, n° 1191, 4p.
- FALCONETTI Claude et Alexandre MEINESZ 1989 - Cartographie des herbiers de posidonies à l'aide du sous marin "Griffon" de la marine nationale française. Océanologica Acta, 12, 4, pp 443-447
- GILAT Eliezer 1969 - Study of an ecosystem in the coastal waters of the Ligurian sea III. Macrobenthic communities. Bulletin de l'Institut océanographique, 69, 1396, 76 p.
- OLLIVIER Gaston-Maurice 1930 - Etude de la flore marine de la Côte d'Azur. Annales de l'Institut océanographique, 7, pp. 53-173.





*Photo 4*  
*Etage infralittoral.*  
*Biocénose de l'herbier de posidonies.*  
*L'herbier du Larvotto.*



*Photo 5*  
*Etage circalittoral.*  
*Biocénose du Coralligène.*  
*Le Tombant du Loews.*



*Photo 6*  
*Etage circalittoral.*  
*Biocénose des fonds détritiques envasés.*



*Photo 7*  
*Etage circalittoral.*  
*Biocénose de la vase terrigène côtière.*

# DE NICE A MENTON

## “ LA ZONE DU CAROUBIER ”

par  
*J.M. SOLICHON* <sup>(1)</sup>



*Photo J.M. SOLICHON.*

*Couleurs ... d'été  
sur les pentes du Mont des Mules.  
Euphorbia dendroïdes  
perd ses feuilles  
entre juin et octobre  
pour résister  
à la sécheresse estivale.*

---

*(1) Directeur du Jardin Exotique de Monaco.*

La flore présente autour de la Principauté témoigne du caractère particulièrement chaud de la zone côtière méditerranéenne française comprise entre Nice et Menton. Il a été défini, à partir de cette donnée floristique, un étage de végétation dit "thermoméditerranéen" que l'on retrouve uniquement en Corse, en Espagne, au Sud de l'Italie et en Afrique du Nord.

Parmi les espèces facilement observables les plus caractéristiques de cette aire, l'on peut citer : le Caroubier (*Ceratonia siliqua*), l'Oléastre ou Olivier sauvage (*Olea europaea*), l'Euphorbe arbustive (*Euphorbia dendroïdes*), le Myrte (*Myrtus communis*), le Lentisque (*Pistacia lentiscus*) et le Calycotome épineux (*Calycotome spinosa*). Signalons également le moins visible mais endémique, et donc tout aussi spécifique, Leucoïum de Nice (*Leucoïum hiemale*).

Le principal facteur limitant le développement de ces végétaux est la sécheresse des mois d'été. Diverses stratégies sont mises en oeuvre pour limiter ses effets néfastes. Chez les plantes vivaces (cas du Leucoïum, des Orchidées, des Graminées,...) la partie aérienne portant les feuilles et l'appareil reproducteur se dessèche durant l'été, laissant en attente des bourgeons présents sur des tiges souterraines.

Certaines espèces limitent leurs pertes d'eau en réduisant leurs feuilles (Calycotome, Aphyllantes,...). D'autres possèdent des feuilles aux tissus durcis, vernissés à la face supérieure, ou encore pubescents (Lentisque, Myrte, Olivier sauvage, Cistes,...).

L'adaptation à la sécheresse la plus remarquable est sans doute celle manifestée par les Euphorbes arbustives qui, à l'inverse des végétaux des zones tempérées, perdent leurs feuilles en période estivale et accomplissent leur phase végétative d'octobre à mai.

En ce qui concerne les formations végétales, il convient de noter que les stades arborescents, largement dégradés par les activités humaines, ne sont aujourd'hui pratiquement jamais réalisés : brousses à Caroubier, Oléastre et Pin d'Alep au sein desquelles le Palmier nain (*Chamaerops humilis*) était autrefois présent naturellement.

Les stades arbustifs subsistent encore : guarrigue avec *Euphorbia dendroïdes* dominante sur les rochers ; groupement à Myrte, Lentisque et Calycotome sur substrat moins compact. Les stades herbacés sont, en fait, les plus fréquents : pelouse xérophile à *Andropogon distachys*, *Brachypodium ramosum* et *Leucoïum hiemale*.

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), espèce très plastique au fort pouvoir colonisateur, peut être présent ponctuellement dans les formations évoquées plus haut. Il constitue parallèlement des peuplements qui signalent une forte dégradation du biotope et constituent un terrain de choix pour les incendies. Toutefois, cette espèce présente un caractère moins strictement thermophile et trouve plutôt ses conditions de prédilection au contact des premiers contreforts montagneux.

On ne saurait évoquer la végétation qui nous entoure sans mentionner la place importante prise par les espèces introduites : certaines d'entre elles sont aujourd'hui si fréquentes et marquent si profondément notre paysage que l'on a de la peine à imaginer qu'elles ne sont pas spontanées.

Il en est ainsi des végétaux importés pour l'alimentation (Olivier, Agrumes) ou pour l'ornement (Mimosa, Palmiers, Bougainvillées, Eucalyptus, ...). Grâce à des conditions climatiques convenables, plusieurs espèces exogènes se sont naturalisées dans des situations particulières (bord de mer, falaises rocheuses) où la concurrence des végétaux indigènes est limitée : *Nicotiana glauca*, *Senecio angulatus*, *Opuntia ficus-indica* et *Agave americana*.

# 2 | la protection de la nature

# LA PROTECTION DE LA NATURE

À

# MONACO

par

*Michel BOISSON*

*Le Chevalier de Lamark en garnison en Principauté en 1763 fut émerveillé  
par la végétation du rocher de Monaco.*

*Méditant sur les formes du figuier de barbarie, il sentit s'éveiller sa vocation  
de botaniste et conçut la première idée du transformisme.*

*La nature venait d'entrer dans l'histoire de Monaco . . .*

Le premier acte officiel de protection de la nature à Monaco date du règne du Prince HONORE V(1815-1822), lorsque la Principauté englobait les Seigneuries de Roquebrune et de Menton. Il prend la forme de plusieurs ordonnances ayant pour objet de protéger les forêts de la Principauté. En 1816, Ce Prince fit construire sur le rocher côté mer, les jardins Saint-Martin.

Le Prince ALBERT Ier n'était heureux qu'au contact de la nature, Il était fasciné par la mer et animé d'une passion croissante pour l'océanographie. Dès 1896, Il attire l'attention sur l'exploitation irréfléchie des ressources naturelles par l'homme. 35 ans avant la convention de Genève pour la protection de la baleine à fanon, 50 ans avant la création de la Commission baleinière internationale et 75 ans avant la convention de Washington pour la protection de la faune et de la flore sauvage, Il écrit dans un article intitulé " la mort du cachalot " : *" Je condamne l'indifférence ou la faiblesse des gouvernants qui permettent de massacrer sans mesure les éléphants et les baleines pour exploiter leur ivoire et leur huile ; d'anéantir les animaux à fourrure pour spéculer sur des élégances vaniteuses et sottes ; de détruire des oiseaux..."*. Les réflexions prolongées et profondes que l'océanographie lui inspirèrent, lui ont donné une prescience des dangers liés à l'exploitation industrielle des ressources marines vivantes. En 1887, dans Son article " la pêche à la sardine sur les côtes d'Espagne ", Il entrevoit déjà les méfaits de la pêche au chalut. En 1921, dans Son étude : " la pêche maritime " et dans le discours sur l'océan qu'Il prononça le 25 avril à l'Académie des Sciences de Washington, Il décrit en détail les méfaits de la pêche moderne: *" une question dont je m'occupe depuis un certain temps et qui présente une véritable gravité ; il s'agit de la pêche en général, dont la destruction s'accroît progressivement dans les mers où la pêche moderne se poursuit avec des moyens de plus en plus puissants et nombreux, tels que les chalutiers à vapeurs..."* Mais le Prince ALBERT Ier ne se contente pas d'attirer l'attention sur ces problèmes, Il définit les bases d'une gestion rationnelle des ressources en introduisant la notion de volume de capture admissible *" Il deviendrait alors intéressant de connaître quelle quantité de poissons migrants le plankton de la mer peut nourrir et quelle consommation peut être faite de ce produit sans diminuer sa conservation/ Alors il deviendra possible de fixer les proportions dans lesquelles les animaux marins peuvent être pêchés sans compromettre la conservation des espèces utiles/"* et Il propose des remèdes *" Pour arrêter ce mal, je propose la réunion de conférences internationales très énergiquement pourvues des pouvoirs nécessaires pour faire respecter les décisions prises. Et je conseille l'adoption du principe des cantonnements /parce qu'il repose sur la logique et la simplicité "*. Son action ne se limite pas au milieu marin. Après Sa visite des Montagnes Rocheuses aux Etats Unis en 1913 où Il rencontre les indiens Crow puis des Pyrénées en 1916, Il organise en janvier 1917 à Paris, dans sa résidence, une conférence pour la création de parcs nationaux *"...car on peut tout à la fois demander au sol une production de biens matériels et lui laisser un aspect qui ne porte pas les marques de la destruction et de la mort "*. Pour la première fois sont réunis tous les acteurs sociaux, hommes politiques, ministres et élus locaux, fonctionnaires de l'agriculture du tourisme et des transports, hommes de sciences, artistes et journalistes. En 1920, Il organise le " Congrès de Monaco pour favoriser le développement des stations hydro-minérales, maritimes, climatiques et alpines des Nations Alliées ". Il intervient aussi pour que soit classé le cirque de Gavarnie. Cette préoccupation du Prince de protéger la nature se traduit aussi dans Ses actes en Principauté. En 1902, Monaco signe et ratifie la Convention internationale pour la protection des oiseaux utiles à l'agriculture. De 1892 à 1917 sont réglementés les sources d'eau potable, la pêche, les viviers et parcs à coquillages, les décharges publiques. L'abattage des oliviers est prohibé en 1917. Le " tout à l'égout " est créé en 1894. La première réglementation limitant la pollution fut une Ordonnance promulguée en 1908 pour réduire les fumées industrielles. En 1933, le Prince LOUIS II signe la Convention de Genève pour la protection de la Baleine. De 1931 à 1938 Il fait réglementer le bruit, les fumées industrielles et les dépôts d'hydrocarbures.

S.A.S. Le Prince RAINIER III poursuit avec passion l'oeuvre de Son bisaïeul en lui donnant une nouvelle dimension : la lutte contre la pollution produite par les activités humaines. Son action se développe dans deux domaines complémentaires : scientifique et politique pour converger vers un but unique, la protection et la conservation des systèmes biologiques en Méditerranée.

Sur le plan scientifique : Dès 1959, Il accueille en Principauté la première conférence scientifique de l'Agence internationale de l'énergie atomique sur l'élimination des déchets atomiques. Il est porté en 1956 à la Présidence de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée (CIESM - créée en 1919 par le Prince ALBERT Ier). Bien avant les premiers désastres écologiques du Torrey Canyon et de l'Amoco Cadiz, Il est sensible à la vulnérabilité de la Méditerranée, dépourvue de marée, aux abords surpeuplés, où se jettent des grands fleuves charriant les rejets des industries de l'Europe et traversée par de nombreux pétroliers pratiquant le dégazage et la vidange. En 1960, Il intervient donc avec véhémence pour dénoncer devant l'opinion internationale le projet d'immersion dans la Méditerranée de 6000 barils de déchets radioactifs *" L'industrie atomique si fière de ses hautes certitudes a, comme la plus vulgaire des activités humaines, le besoin terre à terre de se débarrasser des déchets qui l'encombrent/ elle semble avoir choisi, pour s'en débarrasser, la solution la plus facile : le rejet à la mer "*. En 1970, au congrès de la CIESM à Rome, Il décrit le spectre d'une civilisation de déchets à laquelle

nous conduisent l'expansion industrielle et l'explosion de la population du globe, Il met en relief l'imminence du danger des pollutions radioactives, bactériennes ou chimiques qui menacent la Méditerranée. Il propose des solutions positives de dépollution " *Certaines pollutions pourraient ainsi, au prix d'une meilleure connaissance, d'ingéniosité et d'investissement, devenir bénéfiques* " de faire absorber le coût de la lutte par l'économie " *Les dépenses nécessaires à la survie du genre humain devront être automatiquement incorporées au coût de la production au même titre que la main d'oeuvre, les matières premières et les taxes* ". Il s'efforce d'orienter les diverses disciplines scientifiques vers des recherches sur les causes et conséquences de la détérioration des systèmes marins et des remèdes à y apporter. En 1971, Il prend l'initiative de créer au sein de la CIESM un Comité spécialisé de lutte contre les pollutions marines pour élaborer un programme d'action. Il préconise une collaboration internationale pour lutter contre la pollution marine en insistant sur le caractère universel de la mer. Comme Son aïeul, Son action s'élève vers un humanisme généreux et prospectif qui veut que la " *science soit toujours au service d'une humanité plus heureuse* ".

Il renforce le rayonnement scientifique de la Principauté en accueillant en 1961 le Laboratoire de l'environnement marin de l'A.I.E.A. qui étudie le devenir en mer des radioéléments. Il fonde la même année le Centre Scientifique de Monaco (CSM) pour la surveillance des pollutions marines d'origine bactérienne et chimique. En 1990 Il crée, au sein du C.S.M. sous l'égide de l'Accord EUR-OPA Risques majeurs du Conseil de l'Europe, l'Observatoire Océanologique Européen qui a pour mission de développer des recherches ayant pour objectif la prévention des catastrophes écologiques et la restauration d'écosystèmes marins endommagés.

Sur le plan politique: Son action est concrète.

En 1970, Il prend l'initiative d'inviter à Monaco les autorités scientifiques, municipales et préfectorales de la région de Gênes-Côte d'Azur, ainsi que les Ministres responsables de l'environnement à une réunion avec les experts de la CIESM. En 1976, l'accord qui institue une Commission franco-italo-monégasque pour protéger la zone comprise entre Saint-Raphaël et Gênes est signé. C'est le seul Accord international qui s'applique aussi aux eaux intérieures (Eaux territoriales et ports). La commission Ramoge a aussi pour tâche d'harmoniser les législations entre les trois régions. Elle a déjà permis de signer le plan Ramoge-Pol d'intervention en cas de pollution par les hydrocarbures. Cette action et l'appel qu'Il lance en 1970 aux gouvernements des pays riverains de la Méditerranée afin de provoquer une réunion des Ministres responsables de l'environnement ou de la santé avec les experts de la CIESM favorisèrent l'intervention en Méditerranée du Programme des Nations-Unies pour l'environnement. Elle permit l'établissement de la Convention de Barcelone, signée le 6 février 1976 par laquelle les parties contractantes dont la Principauté de Monaco s'engagent à prendre toute mesure appropriée pour prévenir, réduire ou combattre les différentes manifestations de la pollution marine. En 1992 à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, le Prince Souverain souligne que " *des signaux précurseurs nous alertent sur un vaste changement hydro-climatique en Méditerranée.*" Il propose des recommandations concrètes dont l'ouverture d'un bureau de liaison indépendant, chargé de la coordination et du suivi de l'application des diverses conventions couvrant la protection du patrimoine naturel de la Méditerranée. Il définit les conditions de son efficacité : totale indépendance d'action et collaboration étroite avec les agences spécialisées et propose d'instaurer ce bureau en Principauté. Il soutient le projet " PELAGOS " présenté par des scientifiques méditerranéens et des hommes d'affaires regroupés sous la bannière de la Fondation Européenne Rotary qui vise à protéger les mammifères marins entre la Corse, la Sardaigne, Gênes et Monaco.

A Monaco, le Prince prend, en 1976, la décision de protéger une partie importante du littoral de la Principauté, à savoir le Larvotto où se trouve un herbier de Posidonie. Conscient que l'opinion publique a un rôle important à jouer pour la protection de la nature, Il confie cette opération à l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature, créée à son initiative en novembre 1975. En 1986, Il étend cette protection à un tombant situé sous le Casino, riche en corail rouge. Il modernise progressivement le droit interne de la Principauté dans le domaine de l'environnement, l'adapte à l'évolution du monde et le met en conformité avec les conventions internationales ratifiées par la Principauté. En 1992, Il crée le Service de l'Environnement.

Le mouvement créé par le Prince ALBERT Ier pour que l'homme développe son activité en harmonie avec la nature, poursuivi, intensifié et adapté à l'économie moderne par le Prince RAINIER III se concrétise petit à petit dans les lois et règlements internationaux. Le Prince héréditaire ALBERT dans les discours prononcés le 30 juillet 1991 devant le comité de l'environnement des Nations Unies et lors de la 49ème session de l'Assemblée générale de l'Organisation des Nations-Unies 1994 s'inscrit dans la même ligne de pensée " *Les générations à venir ont comme nous, des droits copropriétaires sur ce que nous considérons souvent " notre " environnement... Nous avons le devoir moral de leur laisser un monde aussi propre, aussi diversifié et productif que celui que nous avons hérité de nos ancêtres... / Seule, en effet, une coopération mondiale peut permettre de résoudre les graves problèmes de notre environnement et, par conséquent, répondre aux défis immenses auxquels nous sommes et nous serons de plus en plus confrontés* ".

# 2.1 | **XX ans d'actions de l'AMPN**



*Photo JEAN-MICHEL MILLE*

# LES RÉSERVES SOUS-MARINES : POUR QUOI FAIRE ?

par

*Denis ALLEMAND<sup>(1)</sup>*

La création de parcs marins est relativement récente par rapport à celle, plus que centenaire, des premiers parcs nationaux terrestres. En effet, le premier parc national terrestre a été créé aux États-Unis en 1872 (Parc du Yellowstone) alors que le premier parc marin, le parc des Everglades en Floride, ne l'a été qu'en 1947. La mission d'une zone protégée, qu'elle soit marine ou terrestre, consiste à empêcher la dégradation des systèmes physiques et biologiques qui la constituent et à favoriser le retour à un état meilleur. A côté de cet aspect purement écologique, la réalisation d'une réserve peut avoir un intérêt social et économique non négligeable, en permettant le maintien d'une activité humaine (pêche récréative, excursions touristiques par exemple).

Dans le domaine maritime, si les grands parcs ont un rôle évident, celui des petites réserves a longtemps été mis en doute. Il est maintenant prouvé que de nombreuses petites réserves permettent localement aux populations de poissons de se régénérer et de retrouver des densités importantes à partir desquelles les individus peuvent essaimer vers les zones périphériques. Ainsi les petites réserves présentent non seulement un intérêt intrinsèque pour la préservation du milieu, mais constituent également des zones d'enrichissement des secteurs de pêche avoisinants. Pour en être convaincu, il suffit d'aller en limite Est de la réserve sous marine de Monaco (quartier du Larvotto) pour y voir les pêcheurs à l'œuvre.

Le rôle d'une réserve est de protéger la variété des formes de vie, ce que les spécialistes appellent la "Biodiversité", un mot mis à la mode à l'occasion du Sommet de la Terre qui s'est tenu en juin 1992 à Rio de Janeiro. Or, l'un des principaux réservoirs de biodiversité dont l'inventaire en est à peine à ses balbutiements est constitué par les océans. En effet, ceux-ci, de par leurs surfaces et leurs volumes, représentent plus de 90 % de la biosphère. A l'exception des insectes, près des trois quarts des espèces vivantes répertoriées (soit environ 500.000 espèces) vivent dans les océans !

Outre son intérêt écologique évident, la protection de la biodiversité marine a des implications mal connues et pourtant fondamentales pour la santé humaine. En effet, les espèces marines représentent par leur richesse, une source encore peu exploitée, mais très prometteuse, de nouvelles

---

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

molécules à action thérapeutique. Il existe déjà sur le marché, ou sont en passe de l'être, des substances actives sur les tumeurs malignes extraites d'algues ou de cyanobactéries, des cardiotoniques extraits de cnidaires, des hémostatiques extraits d'algues brunes, des puissantes colles biologiques extraites de la moule, des écrans solaires extraits des coraux. L'AZT, actuellement utilisé dans le traitement du SIDA, a été initialement isolé du sperme de hareng avant d'être synthétisé chimiquement.

Mais l'apport de la biologie marine ne se limite pas à la pharmacologie. Qui aurait cru il y a seulement une décennie, qu'une partie des mystères du cancer serait dévoilée grâce à l'étude de la fécondation des oursins et des étoiles de mer ? La conservation des mécanismes fondamentaux de la vie à travers toutes les espèces, de la levure au mammifère, est l'un des postulats de base de la biologie expérimentale. Il en découle la notion de "système modèle" dont le choix judicieux facilite l'approche des questions posées. Comme l'écrivait le grand physiologiste Claude Bernard, *"Il y a des expériences qui seraient impossibles chez certaines espèces animales, et le choix intelligent d'un animal qui présente une disposition heureuse est souvent la condition essentielle du succès d'une expérience et de la solution d'un problème physiologique très important... La physiologie comparée est une des mines les plus fécondes pour la physiologie générale."*

La biologie moderne est ainsi née de l'étude d'organismes tels que le maïs, la levure, la drosophile ou la souris. L'extrême diversité des espèces marines a déjà fourni des modèles expérimentaux exceptionnels qui ont permis de découvrir de nombreux mécanismes retrouvés par la suite

chez l'homme où ces mêmes recherches sont beaucoup plus difficiles. Par exemple, le fonctionnement de notre système nerveux a été compris grâce aux expériences réalisées sur le calmar ou l'aplysie. La compréhension des phénomènes d'allergie a été possible par l'étude de la physalie et de l'anémone de Méditerranée (grâce aux travaux de Richet et Portier commencés lors des expéditions océanographiques du Prince Albert 1er). C'est en travaillant sur les oursins et les étoiles de mer que Fol et Hertwig découvrirent en 1877 sur les côtes méditerranéennes les mécanismes de la fécondation. C'est encore chez ces animaux qu'ont été établies, au début de ce siècle, la plupart des lois de l'embryologie, lois étendues par la suite aux mammifères. Les étapes de la fécondation sont dans leurs grandes lignes identiques chez les invertébrés et les vertébrés, l'homme y compris, chez lequel l'étude de ce phénomène est très difficile.

Récemment développée dans les laboratoires de l'Observatoire Océanologique Européen du Centre Scientifique de Monaco, l'étude des coraux constructeurs de récifs ouvre également la porte à des applications en médecine ou en physiologie humaine insoupçonnées jusqu'alors : les mécanismes de calcification des coraux sont en passe d'aider à la compréhension de l'ossification humaine et de certaines de ses pathologies, comme l'ostéoporose. Le squelette de ces mêmes coraux n'est-il pas utilisé comme implant dans les greffes osseuses en remplacement de prothèses artificielles aux multiples inconvénients ? Contrairement à ces prothèses, le squelette des coraux est non seulement parfaitement toléré par notre organisme mais aussi rapidement remplacé par de l'os humain de sorte qu'en quelques mois la régénération devient pratiquement invisible !

*On le voit, la création d'une réserve marine dépasse largement le simple débat écologique. La protection de quelques hectares de mer permet de protéger la vie de toute notre planète.*

# LE DÉVELOPPEMENT DE LA RÉSERVE MARINE DU LARVOTTO

*“Une histoire de rencontres et d’amitié...”*

par

*Michel BOISSON <sup>(1)</sup>*

*Pour les premières années de fonctionnement de notre association, le programme s’imposait puisque l’objectif prioritaire adopté sous l’impulsion de S.A.S. Le Prince Souverain était de protéger l’herbier de posidonies situé devant les plages du quartier du Larvotto.*

*Les tâches ne nous ont pas manquées, il a fallut choisir la zone à protéger, reconnaître rapidement les fonds, décider des limites Est et Ouest, puis de l’étendue vers le large de la réserve, faire adopter et officialiser notre choix, trouver les moyens matériels et financiers pour délimiter visuellement la zone. Pour compléter cette protection nous avons voulu mettre en place des moyens nous permettant de connaître la tendance de l’herbier à régresser ou à s’étendre. Sur les conseils du Dr. A. Meinez de l’Université de Nice et avec l’aide de plongeurs amateurs de Monaco et des Alpes maritimes, nous avons donc balisé, au cours de la saison estivale 1976, la limite inférieure de l’herbier et photographié ces balises pour permettre les comparaisons ultérieures.*

*Enfin, suivant l’exemple donné par le Professeur R. Vaissière devant l’entrée du nouveau port de Beaulieu sur mer, nous avons immergé dans la Réserve quelques enrochements pour créer des abris et des zones de fraie pour les animaux marins.*

---

(1) AMPN

En 1980, la deuxième Assemblée générale de notre Association élit un nouveau bureau appelé à décider des actions futures à entreprendre et mettre en place les grandes lignes d'un programme à moyen et long terme.

Je me souviens avec émotion de cette première réunion du nouveau Conseil d'Administration, tous, autour de notre Président Eugène Debernardi, nos regretés amis Jean-Claude Panizzi à la voie grave, l'esprit pratique, et toujours disponible et Marcel Kroenlein à l'esprit si vif, toujours prêt à nous raconter ses péripéties à l'étranger ou à faire un bon jeu de mots. Nous restions tous silencieux, l'air perplexe, la mine grave, nous demandant intérieurement comment poursuivre le développement de nos activités et lançant à nos vis-à-vis des regards interrogateurs.

En effet, l'exhaltation de la réalisation de la réserve sous marine étant passée, la projection du diaporama préparé par le Cineam ayant été couronnée de succès, nous prenions conscience du fait qu'il existait ni en Méditerranée, ni dans d'autres océans, de zones protégées comparables à la nôtre qui auraient pu nous servir d'exemple pour choisir et organiser un programme de développement de nos actions. Nous n'avions aucun modèle, aucune piste à suivre, il ne nous restait plus qu'à tout innover.

J'avais cependant le sentiment qui fut partagé immédiatement par les membres du bureau, que notre action n'était pas motivée par un attachement irraisonné et nostalgique à l'image du passé, mais, bien la conséquence de constatations scientifiques et économiques sur la concentration des activités industrielles et touristiques dans les zones côtières et des dégradations qui en résulteraient. Nous devons donc apporter des réponses pour éviter de nouvelles contraintes aux systèmes naturels et réduire les dégradations déjà subies.

Notre action devait donc s'appuyer sur une description précise des systèmes littoraux et une bonne compréhension de leur fonctionnement afin de déterminer les actions pertinentes permettant de favoriser leur reconstitution.

Dans ce cadre une toute première action s'imposait : faire l'inventaire des organismes vivants de la réserve et la cartographie de leur répartition. Nous avions tous conscience que cette tâche était ardue et presque insurmontable pour des bénévoles toutes compétences confondues, car elle exigeait de nombreuses investigations en plongée et beaucoup de temps à y consacrer. Personnellement, ce simple inventaire ne me satisfaisait pas complètement. En effet, la réserve de Monaco n'est pas isolée au milieu de la mer ni éloignée de toutes sources de pollution. Au contraire, elle est en contact direct avec la plus grande plage de la Principauté de Monaco fréquentée par des milliers de baigneurs et elle est bordée par un déversoir d'orage à l'ouest et un torrent à l'est. Ces contacts permanents représentent

une source potentielle de perturbation pouvant même mettre en péril la vie de l'herbier et son bon développement pour lequel une eau de mer et des sédiments de bonne qualité sont nécessaires. C'est la raison pour laquelle, à ma demande **le premier thème retenu par le bureau a été la connaissance de la zone protégée dans son intégralité** : eau, sédiment, organismes. Si l'objectif était bien précis sa réalisation ne pouvait se faire qu'en fonction des disponibilités des adhérents plongeurs de notre association et surtout en fonction de projets de recherches de scientifiques méditerranéens pouvant être réalisés dans cette zone protégée. C'est ainsi que nous avons pu, lors de contact avec nos amis scientifiques de la région ou à l'occasion de rencontre avec des chercheurs dans les congrès et groupes de travail internationaux, appeler l'attention sur notre zone protégée, sur les actions prioritaires que nous souhaitions y réaliser. Nous avons réussi à susciter l'intérêt de nombreux scientifiques pour notre cause et à les décider à réaliser leurs études dans notre réserve. Nous avons pu avec leur concours :

- cartographier l'herbier de posidonies et les fonds de la réserve ;
- suivre l'évolution et étudier la physiologie des posidonies ;
- décrire les courants ;
- apprécier la qualité des sédiments et de l'eau de mer ;
- décrire la faune ichthyologique (poissons) ;
- suivre le plancton et le recrutement des oursins ;
- faire l'inventaire des éponges ;
- connaître le cycle annuel des engrais azotés.

La deuxième question que nous nous posions pour le programme était la suite à donner à la construction des abris pour les poissons et invertébrés. En effet, les résultats obtenus avec les rochers et les briques vernissées immergées entre 20 et 30 mètres de profondeur n'étaient pas très encourageants car leur recouvrement était pauvre et leur fréquentation rare. Seule la structure construite sur dalle de béton avec des hourdis alvéolaires et immergée à -8 m avait été très rapidement couverte par des algues. Sa colonisation était suivie par des chercheurs de l'Université de Gênes animés comme nous par la passion de la nature et devenus rapidement nos amis. Jusqu'à présent ces abris ou récifs artificiels n'avaient été créés que pour favoriser la pêche, notamment au Japon où ils ont été utilisés pour la première fois, ou en Italie pour empêcher le chalutage abusif des fonds et leur destruction. C'est en étudiant les résultats obtenus avec le récif à -8m et en discutant amicalement avec les chercheurs de Gênes de leurs observations et des objectifs de leurs études, que j'ai compris l'utilité de ces structures dans l'aménagement de la zone côtière méditerranéenne. En mer comme sur terre le végétal est la base de la vie. Dans ce milieu, il ne peut se développer que dans les

couches exposées à la lumière solaire, c'est-à-dire au grand maximum dans les 100 premiers mètres d'eau (50 mètres dans notre région). Or l'étendue des zones de profondeur inférieure à 100 mètres est très limitée en Méditerranée et encore plus réduite dans notre région en raison de sa géographie montagneuse. Ainsi, notre plateau continental (zone marine s'étendant entre 0 et 100m de profondeur) est peu étendu et pratiquement dépourvu d'ilots ou de haut fonds (rochers s'élevant au dessus du fond) qui jouent le rôle d'oasis de vie marine. Ainsi les spores de végétaux ou les larves d'animaux marins issues des oeufs, qui sont libérées par millions dans l'eau lors de la reproduction des organismes, ne trouvent pas les supports nécessaires à leur fixation et ne peuvent donc pas se développer et se multiplier. Il m'est donc apparu utile de créer artificiellement des structures comparables à ces hauts fonds donnant la possibilité à ces spores et à ces larves d'organismes marins de se fixer, de se développer et de se reproduire assurant ainsi un certain accroissement de la vie marine et le maintien de sa diversité.

C'est ainsi que nous avons retenu comme **deuxième thème d'action, l'aménagement de la réserve sous marine**. Avec deux objectifs, d'une part optimiser, avec l'aide de nos amis de Gênes et grâce à leurs observations, les aménagements déjà réalisés en les rendant plus performants et d'autre part, rechercher des règles de construction nous permettant de multiplier ces structures sur toute l'étendue du Plateau continental. C'est ainsi que sont nés les récifs octogonaux avec puit central pour favoriser la fixation et le développement des algues, ceux avec des hourdis amovibles pour permettre une étude plus poussée, en laboratoire, de la colonisation des récifs et enfin le récif flottant, première tentative pour construire un fond marin artificiel immergé entre deux eaux, -10 à -30 mètres. En effet, ces récifs peuvent être ancrés sur des fonds de 40 à 100m (et même peut être plus) tout en restant en flottaison vers 15 ou 20 mètres de profondeur là où l'éclairage est encore suffisant pour le développement des algues. Ce recouvrement algal augmentera la production végétale marine et donc la production du milieu marin dans son ensemble. D'autres types de récifs ont aussi été testés. La colonisation de ces structures a été décrite par l'équipe de l'Université de Gênes et leur représentation sur ordinateur en trois dimensions a été réalisée par le Dr. de Vaugelas. La différence d'efficacité entre les structures artificielles en hourdie ou en béton et les hauts fonds naturels vient du matériau utilisé (le béton) qui n'est pas perforé par les animaux fouisseurs car il n'est pas attaqué par l'acide chlorydrique dilué que ces animaux sécrètent pour creuser leurs alvéoles. Il faudrait donc envisager la construction de structures plus légères, comme par exemple la fibre de verre recouverte d'une fine couche de gravier calcaire.

C'est un peu plus tard que le troisième thème d'action s'est progressivement précisé dans mon esprit. Il faut dire qu'au début des années 80 il y avait au Musée Océanographique de Monaco une ambiance particulière. De nombreux scientifiques se côtoyaient journallement, les uns employés au Musée Océanographique, les autres travaillant au Laboratoire marin de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique ou dans les laboratoires du Centre scientifique de Monaco, situés dans les sous-sols du Musée. A cette époque aussi, nous déjeunions presque tous à la cantine du Musée. Cet instant de repos offrait l'occasion d'échanger de nombreuses idées et de discuter de diverses questions, souvent en rapport avec la Réserve sous-marine du Larvotto. C'est ainsi que, même si ces organismes scientifiques n'étaient pas officiellement engagés dans les actions réalisées au Larvotto, une aide non négligeable nous était apportée à titre individuel soit par une participation effective du personnel du Musée et des Laboratoires associés à des opérations scientifiques, soit par une action ponctuelle en dehors des heures de travail, soit encore par des discussions fructueuses sur des sujets dont nous n'étions pas spécialistes. Un jour, au cours d'une de mes nombreuses discussions avec le Dr. Michel Hignette adjoint au Directeur de l'aquarium du Musée, l'idée lui est venue de tenter de réimplanter dans la réserve des Nacres ou *Pinna nobilis* grand coquillage bivalve que l'on trouve habituellement dans les herbiers de posidonies. Cet animal était très recherché comme trophée par les plongeurs amateurs et on observait, en conséquence, une réduction inquiétante de leur nombre dans notre région. En fait, cette action ponctuelle qui avait pour objet de protéger cette espèce a eu une portée beaucoup plus générale. Nous avons mis le doigt sur le troisième thème d'action à réaliser dans les réserves sous-marines pour lutter contre la disparition des espèces à savoir : **la réintroduction d'espèces** dans les zones protégées pour les soustraire à la convoitise des utilisateurs de la mer mais surtout pour favoriser leur reproduction et donc l'accroissement de leur population. En effet, l'objectif de ces réintroductions d'espèces est aussi de rassembler en un point protégé un nombre suffisant de reproducteurs permettant aux gamètes mâles et femelles de se rencontrer plus facilement et de produire ainsi un très grand nombre d'oeufs. Ces oeufs donnent naissance à des larves qui sont dispersées par les courants loin de la réserve vers d'autres lieux où elles pourraient se fixer et se transformer en adultes, repeuplant ainsi les zones naturelles alentours. Ce thème accepté par le bureau nous a permis par des contacts noués principalement à l'occasion de congrès avec des scientifiques corses, marseillais, niçois... de réintroduire non seulement les nacres mais aussi l'oursin comestible (en partie décimé par une maladie) et les posidonies.

C'est également dans cette ambiance qu'a germé dans nos esprits l'idée de protéger le tombant du Loews (l'ancien tir au pigeon). En effet, les études du début du siècle sur les peuplements marins mentionnaient la présence de colonies de corail rouge le long de la paroi rocheuse du Loews. Cette présence avait été occasionnellement confirmée par des plongeurs et des pêcheurs. Dans les années 80 de nombreuses rumeurs couraient à Monaco sur le fait que ces colonies attiraient la convoitise de plongeurs sous-marins. Cette rumeur devint pour Michel Hignette et moi-même l'un de nos principaux sujets de préoccupations, car nous avions conscience de la rareté de cette ressource qui était largement surexploitée en Méditerranée et de sa fragilité dans notre région où un pillage systématique avait déjà commencé. Notre idée était donc d'estimer l'importance et la qualité des colonies présentes sur ce tombant et de proposer sa protection sans attirer l'attention des plongeurs sous-marins pour éviter la collecte de tout ce corail avant sa protection. Au retour de sa première plongée sur le site Michel Hignette était emballé par la richesse du corail et sa qualité. Je proposais donc au bureau de préparer un dossier photographique pour demander la protection de ce tombant. Afin de ne pas éveiller l'attention des habitants de la région, la demande fut présentée comme une extension de la réserve du Larvotto jusqu'à la zone portuaire en la justi-

fiant par la possibilité ainsi offerte de poursuivre notre programme d'équipement de la réserve en récifs artificiels. Les pouvoirs publics n'ayant pas adopté notre démarche, seul une zone protégée a été créée pour interdire l'accès au tombant du Loews.

Les trois thèmes d'études choisies ont donc été régulièrement développés depuis 1980 comme vous pourrez le constater dans les textes préparés par nos amis scientifiques. Parmi ces activités la protection du corail a pris une importance toute particulière. Cependant un quatrième type d'action, jusqu'alors jamais entrepris en mer, pourrait être ajouté à notre savoir faire : Le réempoissonnement. C'est-à-dire le lâché, dans la réserve, d'une grande quantité d'alevins de différentes espèces de poissons préalablement marqué dans le but de suivre, leur dispersion, leur développement jusqu'à la taille adulte et leur recapture éventuelle dans la région. Ces alevins pourraient être produits dans des fermes aquacoles ou directement dans le milieu dans des cages en toile à voile qui permettraient d'initier les jeunes à la vie marine. Cette technique si elle donnait de bons résultats pourrait ensuite être utilisée pour recoloniser les milieux détruits par des catastrophes naturelles ou technologiques majeures et pour pallier à la surexploitation des ressources marines à l'échelle régionale.

# LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DE LA RÉSERVE SOUS-MARINE DU LARVOTTO

par

*Michel BOISSON* <sup>(1)</sup>

Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de la Réserve du Larvotto découlent des conditions déjà décrites pour la mer Ligure et les eaux côtières monégasques. Elles présentent néanmoins quelques spécificités propres à sa situation géographique.

Cette réserve située le long du littoral monégasque a une superficie de 50 hectares et s'étend de l'estran vers le large jusqu'à une profondeur de 35 mètres. Elle est bordée sur le littoral par la plage du Larvotto et le terre-plein du Sporting d'été. La masse d'eau contenue dans cette réserve est de l'ordre du million de m<sup>3</sup>.

Les courants mesurés à 27 mètres de profondeur ont été comparés aux conditions générales observées sur le plateau continental. Dans plus de 90% des cas la direction du courant est parallèle à la côte et également répartie entre les secteurs E-NE et W-SW, ce qui n'est pas le cas devant le rocher de Monaco où la direction SW est prépondérante. La moyenne des vitesses pour l'ensemble des mesures est 2,5 fois plus faible que celle estimée devant le rocher. Les changements de sens des courants sur l'axe NE - SW se traduisent par une vitesse nulle pendant au moins six heures. En période de stratification thermique marquée (été), la moitié des vitesses relevées est inférieure au seuil de détection de l'appareil.

La température de l'eau et sa salinité ont été mesurées régulièrement à l'occasion des nombreuses campagnes de surveillances de la qualité des eaux côtières monégasques effectuées de 1975 à 1990 par le Centre Scientifique de Monaco. Les températures de surface sont légèrement plus élevées en période estivale et plus faibles en période hivernale que devant le rocher de Monaco. Les salinités et la température de l'eau de mer sont souvent perturbées par deux apports d'eau douce. Le vallon de Saint Roman qui se déverse en surface à l'Est de la réserve et le déversoir d'orange bordant la frontière Ouest dont l'orifice se situe à 30 mètres de profondeur. Cet émissaire fonctionne lors des épisodes pluvieux pour évacuer le surplus des eaux des vallons de Larousse et La Noix ainsi que lors des débordements du réseau d'assainissement.

Les teneurs en engrais (sels de l'azote et du phosphore) montrent des variations annuelles identiques à celles observées plus au large avec un maximum en hiver et un

---

(1) Docteur en Océanographie, Vice-Président de l'AMPN.

## LES RÉSERVES MARINES/ LA RÉSERVE DU LARVOTTO

minimum en été. Cependant, les apports irréguliers d'eau douce perturbent ce cycle et sont à l'origine de teneurs quelques fois élevées en sels azotés.

Comme dans toute la région, le phytoplancton montre deux périodes de fort développement :

- la poussée printanière de mars, d'intensité variable d'une année à l'autre en raison des spécificités météorologiques de chaque année. Elle est prolongée à la côte jusqu'à la fin du mois de juin par les apports des fleuves côtiers dont les débits augmentent avec la fonte des neiges.

- la poussée automnale de fin septembre début octobre. Elle est provoquée par les engrais contenus dans les eaux de ruissellements dues aux importantes précipitations de cette saison ainsi que par ceux contenus dans les eaux marines plus profondes (80 à 200 mètres de profondeur) qui à cette époque de l'année se mélangent avec les eaux superficielles. Cette poussée automnale, cependant, ne s'observe pas toutes les années avec la même intensité et peut notamment être absente en raison d'un retard dans le mélange des eaux ou d'une période de sécheresse.

Le développement du zooplancton suit de très près celui du phytoplancton. Les petits crustacés (copépodes) constituent la base principale de la population mais on observe une grande variabilité dans l'abondance du plancton gélatineux et des mollusques pélagiques que l'on ne s'explique pas encore très bien.

Néanmoins les spécificités physico-chimiques de la Réserve sous-marine du Larvotto ne semblent pas avoir d'influence sur les populations planctoniques.

Les fonds marins de la réserve du Larvotto sont très diversifiés. En effet, cette réserve protège tout une partie de l'étage infralittoral monégasque (Carte). On y trouve des substrats durs tels que les enrochements de protection des plages et les petits rochers naturels ainsi que des substrats meubles comme les sables artificiels, les graviers et les galets. La qualité de ce sédiment a été appréciée en colla-

boration avec le Docteur Fernex de la Station de géodynamique marine de Villefranche sur mer. Ce sédiment est bien oxygéné et sa teneur en sels azotés et phosphatés permet de considérer qu'il est de bonne qualité. De même, les métaux lourds et les insecticides contenus dans ce sédiment ont été mesurés, les teneurs obtenues sont celles de sédiments côtiers non contaminés.

Les biocénoses observées dans la Réserve sous marine sont celles de l'étage infralittoral à savoir :

- La biocénose des sables : on la trouve à l'intérieur des alvéoles, elle est installée sur un sable artificiel grossier.

- La biocénose des algues photophylles : on la trouve sur les galets et petits rochers naturels situés dans les alvéoles et à l'extérieur, mais surtout sur les enrochements de protection des plages et du Sporting d'été. On la trouve également sur le récif artificiel immergé à 8 mètres de profondeur.

- La biocénose des sables et graviers sous l'influence des courants de fond : on l'observe devant les enrochements à l'Ouest de la réserve entre 10 et 15 mètres de profondeur, devant l'alvéole centrale des plages entre 5 et 10 mètres de profondeur et surtout un peu plus profondément tout autour de l'herbier de posidonies, entre 25 et 35 mètres de fond.

- La biocénose de l'herbier de posidonies : elle couvre plus des deux tiers de la surface de la réserve qui a comme principal objectif de protéger cet herbier. La partie dense de l'herbier s'étend entre 8 mètres et 22 à 25 mètres de profondeur. L'herbier est en bon état et l'évolution de sa limite inférieure suivi depuis 20 ans montre qu'elle s'est stabilisée.

L'inventaire floristique et faunistique de ces biocénoses indispensable à une bonne connaissance de la réserve et de ses ressources naturelles est en cours. Il fait appel à de nombreux spécialistes dont on peut déjà apprécier le travail qui fait l'objet de quelques uns des articles de ce livre.



# LE CYCLE DE L'AZOTE

## DANS UN SITE MÉDITERRANÉEN PEU PROFOND

par

*François FERNEX*<sup>(1)</sup> *Raymond BARATIE*<sup>(1)</sup>  
*Roland PUCCI*<sup>(2)</sup> *Lazaro V. FERNANDES*<sup>(3)</sup>

### Introduction

Nous avons le plaisir de répondre à l'invitation de l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature et de présenter ici les principaux résultats que nous avons obtenus dans l'étude des sédiments de la Réserve sous-marine de Monaco. Nos recherches ont eu pour but principal de définir quel était le rôle des sédiments dans la formation d'engrais azotés (ammoniaque, nitrite, nitrate) et phosphatés en domaine côtier.

Comme chacun le sait, les engrais, qu'ils soient purement naturels ou artificiels, sont des substances minérales nécessaires à la croissance des plantes. Autrement dit, le développement végétal correspond à la transformation de matière minérale en substance organique. En particulier l'assimilation par les végétaux d'engrais azotés permet la synthèse de protéines dont les herbivores vont pouvoir bénéficier. On conçoit dès lors l'intérêt qu'il y a à étudier les modalités de production des engrais (sels nutritifs) azotés et phosphatés en milieu marin.

### Le choix du site

Pourquoi avoir décidé d'entreprendre une étude dans le secteur de la Réserve marine de Monaco?

En premier lieu, la convergence d'intérêts entre les responsables de la Réserve qui se préoccupaient de la santé du site et le Laboratoire de Géodynamique sous-marine de Villefranche-sur-Mer. Des premières recherches antérieures avaient porté sur les sédiments du Plateau continental méditerranéen, avec une attention particulière pour les eaux des

pores du sédiment ou eaux interstitielles (Cenciarini *et al.*, 1981). L'idée est alors venue de concentrer l'effort sur un site, celui du Larvotto, en suivant attentivement l'évolution au cours du temps. Il s'agissait principalement de mettre en évidence des variations temporelles de concentrations, en cherchant à déterminer les causes de ces variations.

Le site a été retenu parce qu'on le savait quasi indemne de toute contamination (Boisson *et al.*, 1981a,b; Veglia et Vaissière, 1985). Un des buts du travail était donc de voir comment, dans un site marin côtier très peu agressé par la pollution, les sédiments (avec en particulier leurs eaux interstitielles) réagissent aux variations saisonnières. Comment les concentrations en engrais naturels dissous dans les eaux des sédiments varient-elles au cours du temps?

Plus particulièrement, il était intéressant de voir quels étaient les rapports des concentrations en engrais azotés et phosphatés dans un site côtier très peu contaminé, afin d'avoir en quelque sorte une situation de référence. Un rapport équilibré favorise la diversité biologique ; en revanche des rejets d'eaux urbaines usées enrichies en phosphates (à

(1) Laboratoire de Géodynamique sous-marine, U.A. CNRS 132 "Géosciences de l'Environnement", F- 06230 Villefranche/Mer.

(2) Service de l'Environnement, 3 Av. de Fontvieille, MC 98000 Monaco.

(3) Departamento Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Outeiro de Sao Joao Batista, Niteroi (RJ) Brésil.

cause de l'utilisation de lessives phosphatées) risquent de conduire à un rapport sels phosphatés/sels azotés trop élevé, ce qui peut entraîner la disparition de nombreuses espèces végétales.

Par ailleurs, une surveillance du secteur était assurée, le mouillage de bateaux était interdit, les risques de perte ou de vol d'un appareil installé pendant plusieurs jours étaient ainsi évités.

Enfin, des plongeurs confirmés étaient prêts à aider à l'installation d'appareils et à la récolte d'échantillons. Leur aide a été précieuse et appréciée. Les travaux ont été poursuivis de 1984 à 1986.

### Objet des recherches effectuées dans le secteur du Larvotto

La production d'ammoniaque dans le sédiment dépend de la quantité de matière organique, de sa composition et de l'activité microbienne. On peut admettre que, dans les sédiments superficiels d'un site en bonne santé (pas ou peu pollué), une intense activité microbienne s'établit aussitôt après un apport de matière organique ; de la sorte, cette dernière est rapidement transformée. Au contraire, l'absence de réaction du milieu sédimentaire en présence de matière organique témoignerait d'un mauvais état de santé. De fait, cette manière de voir a été émise comme hypothèse au moment de commencer les travaux dans la zone du Larvotto, et les travaux entrepris de 1984 à 1986 l'ont confortée (Fig.1).

Fig.1

Schéma exprimant les transferts de matière à travers l'interface eau-sédiment et soulignant le rôle de l'activité microbienne dans les sédiments superficiels.

En mer, les engrais azotés et phosphatés dissous dans l'eau sont absorbés par les végétaux marins, en particulier le phytoplancton (végétaux en suspension).

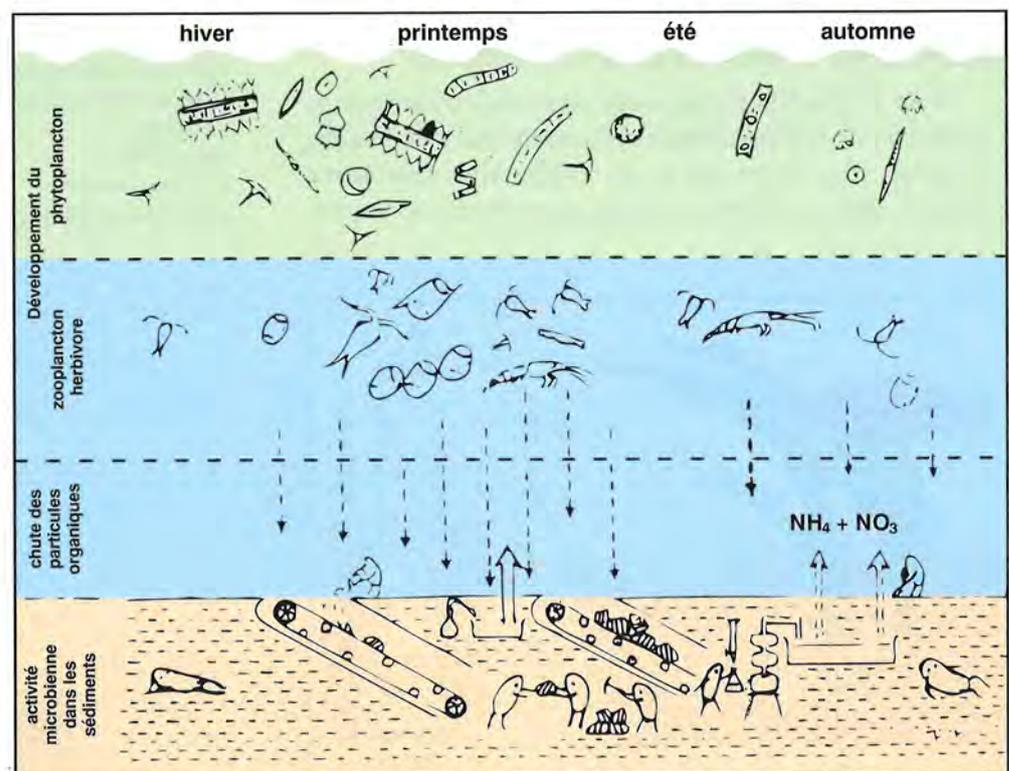
Ce phytoplancton, qui sert de nourriture aux herbivores (zooplancton), est à la base de la chaîne alimentaire. Le zooplancton et les poissons rejettent de la matière organique ("fecal pellets") qui sédimente.

Déposée au fond cette matière organique subit des transformations (diagenèse) du fait de l'activité microbienne.

Il en résulte la formation d'engrais solubles (minéralisation).

Alors que la mer se trouve appauvrie en engrais (du fait de leur utilisation par les végétaux marins) les eaux interstitielles du sédiment se trouvent enrichies.

Un flux ascendant s'établit à partir du sédiment vers l'eau de mer sus-jacente.



L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) produit dans le sédiment peut soit diffuser vers l'eau de mer sus-jacente, soit être transformé en nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) et puis en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) grâce à l'action des bactéries nitrifiantes. Ces dernières ne peuvent connaître un fort développement que si le milieu est suffisamment oxygéné. Au contraire, la dénitrification correspond à la réduction du nitrate par des bactéries qui l'utilisent comme oxydant ; c'est alors de l'azote gazeux ( $\text{N}_2$ ) qui est produit, forme chimique qui, en dehors de rares microorganismes, n'est pas assimilable par les plantes marines. On peut dire que cet azote est perdu pour le développement des végétaux, c'est-à-dire pour la "production primaire". C'est en particulier ce cycle de l'azote que nous avons voulu mieux définir dans notre étude sur les sédiments de la bordure de la réserve.

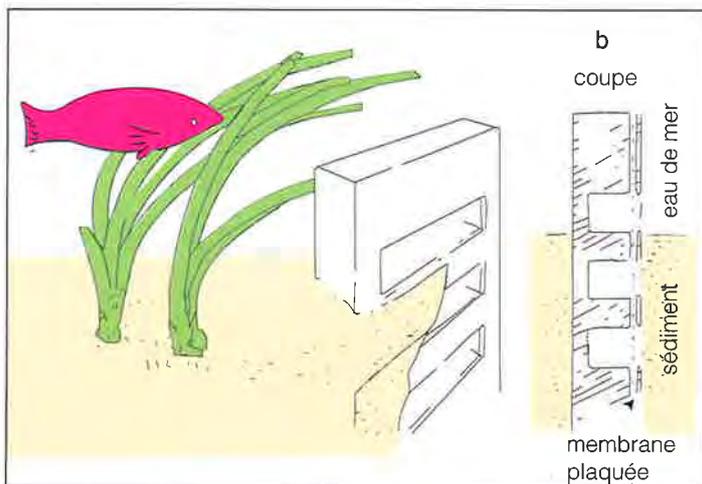
### But des recherches

Nous avons voulu suivre les variations spatio-temporelles des concentrations en engrais (sels nutritifs) tant dans l'eau des pores des sédiments (eau interstitielle) que dans l'eau de mer sus-jacente, et nous avons espéré pouvoir déterminer les causes de ces variations. De plus, nous avons essayé de calculer le taux de formation des engrais azotés dans le sédiment superficiel, et les flux de matériel azoté (dissous ou particulaire) à travers l'interface sédiment- eau de mer sus-jacente.

## Méthodes et Techniques

### Prélèvements et traitement des échantillons

Pour l'échantillonnage, nous avons fait construire au Laboratoire de Géodynamique sous-marine de Villefranche une benne (*Fig. 2*) (Fernex *et al.*, 1982). Avec cette benne "Flucha", fixée au câble du bateau, on prélève une portion



du fond marin sans le perturber. Une fois la benne ramenée à bord, on peut observer l'interface eau-sédiment "comme si on y était", faire des mesures du pH (degré d'acidité) et du potentiel d'oxydo-réduction. On peut ensuite collecter des tranches superposées de sédiment dans des godets de centrifugation, puis en extraire l'eau interstitielle.

On peut aussi obtenir un profil de l'eau interstitielle dans le sédiment en utilisant un appareil à logettes qui fonctionne sur le principe de la dialyse (le "peeper" ; *Fig. 2*) ; Hesslein, 1976 ; Fernandes, 1993). Le "peeper" a 30 cm de hauteur, et contient dix à douze logettes superposées.

Avant qu'un plongeur installe l'engin verticalement dans le sédiment, les logettes sont remplies d'eau distillée, puis recouvertes d'une membrane finement poreuse (0,2 micron). On laisse l'engin 15 jours dans le sédiment, temps suffisant pour que l'équilibre ionique soit atteint ; après ce délai, l'eau dans chaque logette a donc la même composition que l'eau interstitielle de la portion de sédiment qui lui fait face. L'engin est alors remonté par un plongeur et ramené au laboratoire (dans un sac rempli d'azote pour éviter une oxydation pendant le transport). On extrait l'eau interstitielle sans avoir besoin d'effectuer une centrifugation.

*Fig.2*

*Appareils de prélèvement des eaux interstitielles du sédiment.*

*Benne "Flucha" au début de sa remontée, remplie d'un échantillon de sédiment. (a)*

*Le "peeper", capteur ionique à dialyse.*

*La membrane de 0,2  $\mu\text{m}$  est plaquée contre les logettes qui, au moment de l'installation du peeper dans la vase, sont remplies d'eau distillée.*

*Les ions présents dans l'eau interstitielle en face d'une logette*

*diffuseront à travers cette membrane*

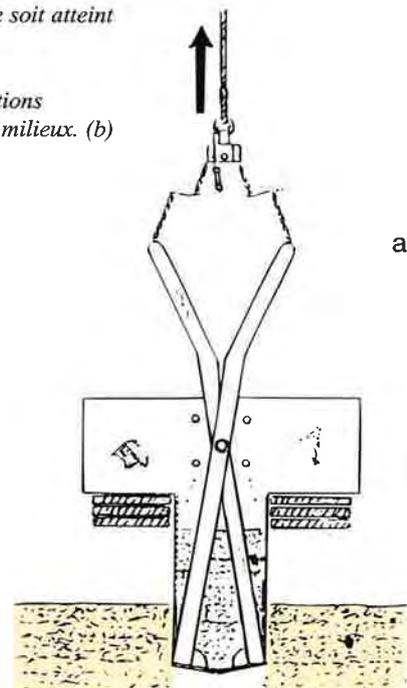
*jusqu'à ce que soit atteint*

*(15 jours)*

*un équilibre*

*des concentrations*

*entre les deux milieux. (b)*



### Techniques analytiques

Les analyses des eaux interstitielles prélevées en même temps et aux mêmes niveaux à l'aide de la benne ou du peeper à dialyse ont fourni des résultats très comparables. Les analyses elles-mêmes ont été faites par colorimétrie à l'aide d'auto-analyseurs selon des procédés classiques en océanographie (Strickland et Parsons, 1972; Treguer et Le Corre, 1975).

### Potentialités enzymatiques

Si le sédiment analysé contient une grande quantité de matière organique on peut s'attendre à une forte production d'engrais par la décomposition de celle-ci. Toutefois, il arrive fréquemment que le taux de production soit peu élevé par rapport à la quantité de matière organique présente. Le taux de transformation ne dépend donc pas seulement de la quantité de matière organique mais aussi de la qualité et des conditions qui règnent dans le milieu. Pour estimer ce taux, nous avons déterminé un nouveau paramètre : la potentialité de transformation par le sédiment, c'est-à-dire la capacité qu'a le sédiment de transformer un produit en présence duquel il est mis (Brisou, 1985).

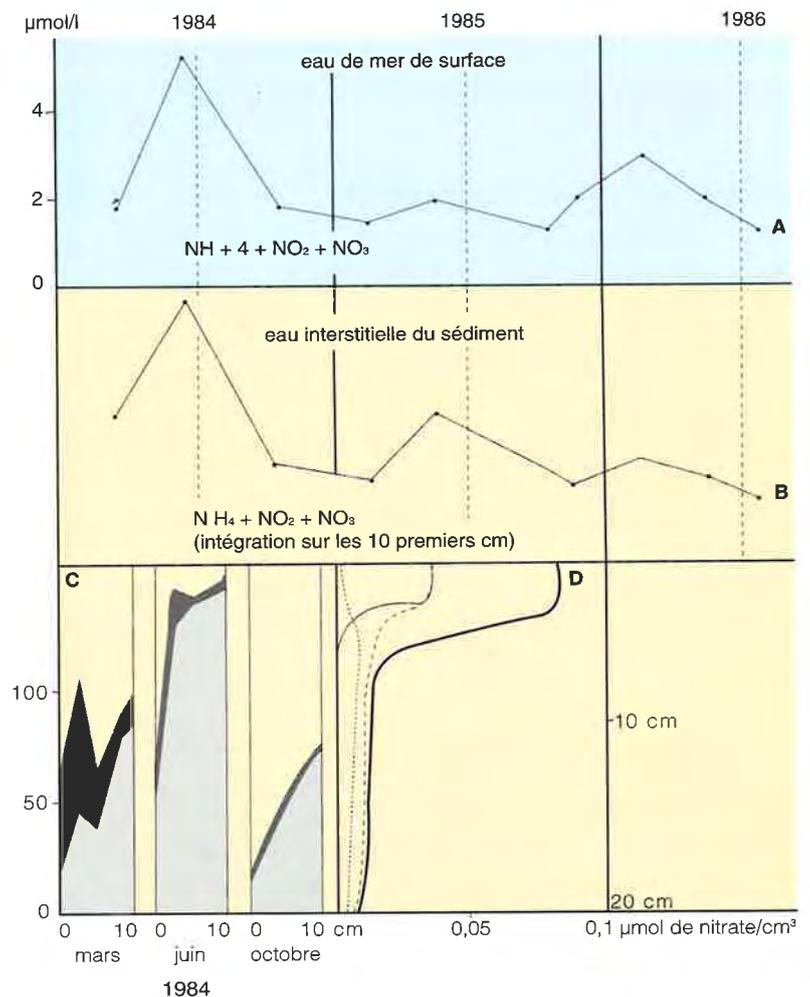
La potentialité a été évaluée en introduisant 2 ml de sédiment dans 50 ml d'une solution contenant la substance destinée à être transformée. Pour évaluer par exemple la capacité de produire l'ammoniaque ( $\text{NH}_4$ ), la solution contient des acides aminés. Après quarante heures d'incubation dans le noir à 25°C, on dose l'ammoniaque produit. Plus la concentration en ammoniaque est élevée, plus le milieu est capable de transformer l'azote organique en azote minéral (Fernex *et al.*, 1989).

Pour la capacité dénitrifiante (transformation du nitrate et du nitrite en azote  $\text{N}_2$ ), on utilise une solution de nitrate. L'incubation se fait sous atmosphère d'azote, ce qui crée un milieu désoxygéné. On dose le nitrate et le nitrite restants (non transformés).

### Résultats et Discussions

Les concentrations en sels nutritifs (engrais) azotés et phosphatés varient en fonction des saisons, tant dans l'eau de mer que dans les eaux interstitielles (*Fig 3 ABC*). Le milieu "réagit" rapidement aux modifications saisonnières, ce que l'on peut traduire en qualifiant le milieu de vigoureux.

*Fig. 3*  
Variations des concentrations en sels nutritifs azotés. Les variations des concentrations dans les eaux de surface du secteur de la Baie de Roquebrune-Monaco (A) ressemblent à celles dans les eaux interstitielles (B). La courbe relative aux eaux interstitielles (B) correspond à l'intégration des concentrations dans les 10 premiers cm des profils successivement mesurés dans les sédiments. (D) Profils calculés des taux de nitrification dans les sédiments de la bordure de la Réserve du Larvotto. La résolution de l'équation du bilan de matière fournit des courbes de concentrations : en trait fin automne en trait épais été en pontillé hiver en trait discontinu printemps



Cette appréciation est confortée par les évaluations des potentialités enzymatiques. En effet, on a constaté que la potentialité ammonifiante du sédiment superficiel au Larvotto est plus élevée que celle du sédiment du fond de la Rade de Villefranche. La potentialité nitrifiante est, elle aussi, élevée.

La similitude des variations des concentrations en sels nutritifs azotés dans l'eau de mer et dans les eaux des sédiments (*Fig. 3 AB*) suggère l'importance des échanges entre les deux milieux. On peut penser que les organismes zooplanctoniques vivant en pleine eau dans le secteur de la réserve se nourrissent essentiellement de phytoplancton et les poissons de zooplancton. Etant donné que, par excréation, le zooplancton ainsi que les poissons produisent de l'ammoniaque, on n'est pas surpris par les fortes concentrations en pleine eau au printemps. Ayant épuisé le stock de phytoplancton, la population zooplanctonique décroît en été. Les résidus de nourriture ("fecal pellets") tombent au fond où ils sont rapidement transformés (Miquel *et al.*, 1990). Cela conduit à la formation dans les sédiments d'ammoniaque, à un taux d'autant plus élevé que le zooplancton est plus abondant, c'est-à-dire au printemps. Ainsi s'explique la ressemblance de l'évolution des concentrations en fonction des saisons en pleine eau et dans le sédiment superficiel (Boisson *et al.*, 1988 ; Fernex *et al.*, 1988). Au voisinage de l'interface, riche en oxygène dissous, la nitrification est active, particulièrement au printemps alors qu'elle fait suite à une forte ammonification.

### Transformations et taux de nitrification

En 1985, on a constaté que les niveaux voisins de l'interface ont été le siège d'une intense nitrification au printemps ; cette nitrification accompagnait une ammonification tout aussi intense. L'apport de matière organique au fond a favorisé une rapide et forte augmentation de la production de sels nutritifs.

En revanche, la brève reprise de la nitrification en automne a été plus marquée que la reprise très modérée de l'ammonification qu'elle accompagnait. Les vents d'automne ont entraîné un brassage des eaux du fond qui se sont alors enrichies en oxygène dissous ; cela a favorisé l'oxydation de l'ammoniaque au voisinage immédiat de l'interface.

### Flux

Fréquemment, l'eau interstitielle du sédiment superficiel est plus riche en sels nutritifs que l'eau de mer sus-jacente. Alors un flux de ces substances s'établit à partir du niveau le plus riche, le sédiment, vers l'eau sus-jacente. Cette migration enrichit l'eau de mer en sels nutritifs (*Fig. 4*). En zones peu profondes, comme par ex. la Réserve de Monaco, la remobilisation à partir du fond participe lar-

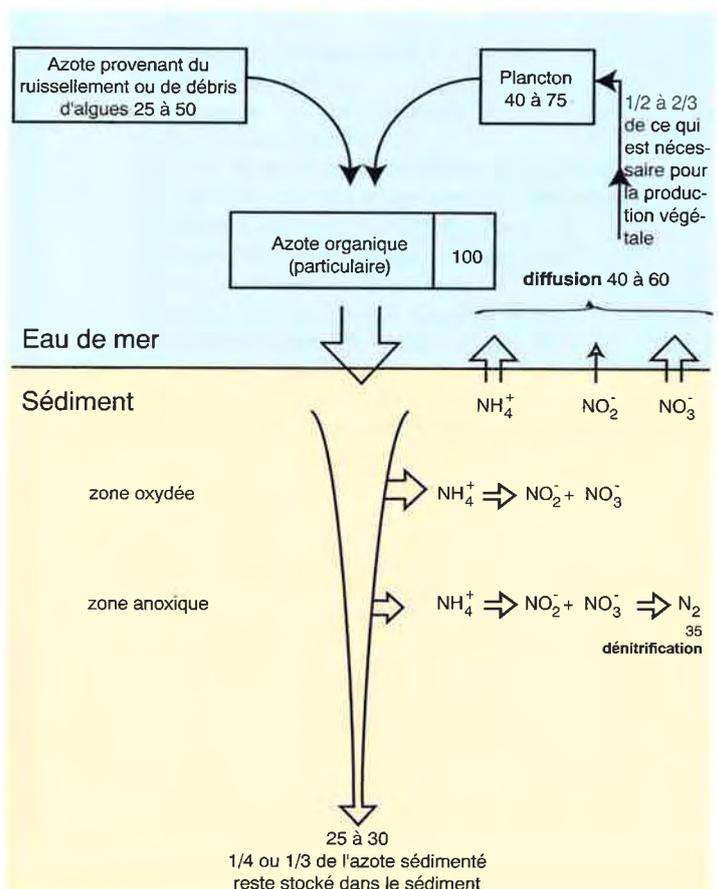
gement au bilan des sels nutritifs dans la pleine eau, et joue donc un grand rôle dans la production primaire : 1/2 à 2/3 de ce qui est nécessaire pour la production primaire.

## Conclusions

Les études sur les sédiments de la bordure de la Réserve de Monaco ont montré combien les fonds marins de cette zone côtière sont sensibles aux événements saisonniers, et combien fortes sont les interactions entre les deux milieux : les sédiments et la pleine eau. En faisant le relevé des mesures tout au long de l'année, on se rend compte qu'une vie intense se développe dans ce secteur, au moins pendant une bonne partie de l'année (un milieu sain peut avoir droit à des périodes de repos, en particulier en hiver et pendant une partie de l'été). Le bon état de santé de l'herbier de Posidonies et le très faible développement de l'algue "envahissante" *Caulerpa taxifolia* sont probablement liés au fait que les fonds marins de la Réserve ont été préservés d'une forte contamination.

Fig. 4

Bilan de l'azote en zone côtière comme par exemple la Réserve de Monaco. Les flux d'azote sont exprimés en  $\mu\text{atg d'azote par Cm}^2/\text{j}$ .



L'intense activité microbienne qui se développe au voisinage de l'interface favorise les échanges à travers cet interface. La matière organique qui se dépose, qu'elle soit d'origine benthique (par ex. débris de Posidonies) ou planctonique, est rapidement transformée. Parmi les produits des transformations on trouve les sels nutritifs, qui sont des substances solubles. Les eaux interstitielles, enrichies de ces sels, deviennent une très importante source d'engrais qui par migration ascendante enrichissent l'eau de mer sus-jacente. Là, grâce à la photosynthèse, ces engrais sont largement utilisés par les végétaux marins pour leur développement.

Pendant ces mêmes années 1984-1986 et aussi par la suite, nous avons eu l'occasion d'entreprendre des études de milieux marins pollués au voisinage de grands émissaires

d'eaux urbaines usées. Là, le comportement des sédiments est nettement moins vigoureux, malgré un important apport de matière organique ; en particulier les potentialités enzymatiques sont relativement faibles. Par ailleurs, on note de moindres fluctuations saisonnières. On peut dire que les fonds marins dans ces secteurs pollués souffrent d'une indigestion.

Nous sommes gré à l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature d'avoir mis à la disposition des scientifiques ce beau laboratoire naturel qu'est la Réserve marine de Monaco. Nous avons en particulier vu comment, dans une mer dite "pauvre", c'est-à-dire à faible concentration en engrais, le rapide recyclage de la matière organique permet le développement de multiples espèces végétales et animales.

#### Bibliographie

- BOISSON M., BRACONNOT J.C., FERNEX F., PUCCI R. (1988) - Causes principales des variations de la production de sels nutritifs azotés dans les sédiments de la Baie de Roquebrune-Monaco. Rapp. Comm. int. Mer Méditerran., 31/2, CIESM Monaco ; p. 181.
- BOISSON M., FERNANDES L.V., FERNEX F., RATTO A., SAQUET A. (1985) - Distribution verticale des sels azotés dissous dans les eaux interstitielles des sédiments de la Réserve sous-marine de Monaco. Rapp. Comm. int. Mer Méditerran. (1984), 29/6, CIESM ; 67-69.
- BOISSON M., RAPAIRE J.L., VAISSIERE R. (1981a) - Les surfactants anioniques en Baie de Monaco. Ves Journées Etude Pollutions (Cagliari 1980), CIESM Monaco ; 175-182.
- BOISSON M., RAPAIRE J.L., VAISSIERE R. (1981b) - Comparaison de la distribution des polluants d'origine urbaine en Baie de Monaco. Ves Journées Etude Pollutions (Cagliari 1980), CIESM Monaco ; 183-188.
- BRISOU J. (1985) - Techniques d'étude enzymatique des sédiments marins. Annales Institut Michel Pacha, Toulon, 13 ; 36-46.
- CENCIARINI J., FERNEX F., PUCCI R., RAPIN F., VAISSIERE R. (1981) - Comparaison entre la répartition de différents polluants dans les sédiments marins superficiels du plateau continental le long de la Côte d'Azur. Ves Journées Etude Pollutions (Cagliari 1980), CIESM Monaco, 341-352.
- FERNANDES L.V. (1987) - Etude géochimique des sédiments marins actuels d'une côte à plateau continental étroit. Exemple des Alpes Maritimes. Thèse Doct. Univ. Nice ; 290 p.
- FERNANDES L.V., POLLERY R.C., FERNEX F. (1993) - Modern extraction techniques of sediment interstitial water. In "Perspectives for Environm. Geochem. in Tropical Countries" ; J. Abrao, J. Wasserman, E. Silva Filho, Ed.; UFF, Niteroi (Br) ; 259-260.
- FERNEX F., BARATIE R., SPAN D., FERNANDES L.V. (1989) - Variations of nitrogen nutrient concentrations in the sediment pore waters of the northwestern Mediterranean continental shelf. Continental Shelf Res., 9/9 ; 767-794.
- FERNEX F., BOISSON M., FERNANDES L.V. (1988) - Les rythmes de la production d'engrais azotés dans les sédiments de la Réserve sous-marine de Monaco. C. rendus Activités 1986/1987, Ass. Monég. Protect. Nature, Monaco ; 36-38.
- FERNEX F., FLUCHA M., SERRA C., BELLAICHE G. (1983) - Dispositif de prélèvement de sédiments meubles superficiels. Brevet N° enregistrem. nat. 82/04668 ; 8 p, 4 Pl.
- HESSLEIN R. (1976) - An in situ sampler for close interval pore water studies. Limnol. Oceanogr., 23 ; 1066-1069.
- MIQUEL J.C., FOWLER S.W., LA ROSA J. (1990) - Vertical fluxes of particulate material in a frontal zone off Corsica. Rapp. Comm. int. Mer Méditerran., 32 ; p.280.
- STRICKLAND J.D., PARSONS T.R. (1972) - A practical handbook of sea water analysis. Bull. Fisch. Res. Can., 122 ; 1-172.
- TREGUER P., LE CORE P. (1975) - Manuel d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer. Univ. Bretagne Occidentale, Lab. Océanogr. Chimique, Brest ; 110 p.
- VEGLIA A., VAISSIERE R. (1985) - Seasonal variations of Zinc, Copper and nutrients in coastal sea-water of the Ligurian Sea. Villes Journées Etude Pollutions (Lucerne), CIESM Monaco ; 297-302.



# LA FAUNE DES ÉPONGES

par  
*le Docteur Maurizio PANSINI<sup>(1)</sup>*

## Qu'est-ce qu'une éponge?

L'idée d'éponge, pour la plupart des personnes, est liée à l'usage quotidien d'une éponge de bain qui est désormais très rarement d'origine naturelle. Le coût déjà élevé de ces produits de la mer est encore augmenté aujourd'hui en raison de la rareté du produit due à une maladie qui a frappé, dans les dernières années les peuplements naturels de la Méditerranée (*Photo 1*). Elle a provoqué l'interruption presque totale de la pêche commerciale en rendant ainsi moins fréquente la présence des éponges dans nos maisons. Mais même les utilisateurs des produits naturels qui ne se servent pas d'un morceau de mousse synthétique mais d'une éponge véritable, savent rarement qu'ils ont à faire au squelette corné d'un animal.

Ce squelette est composé d'un réseau de fibres d'une protéine qui s'appelle spongine et qui une fois synthétisée a la particularité d'être lisse, souple, élastique et très résistante. Ce type de squelette toutefois, est présent dans un nombre assez restreint d'espèces tandis que la plupart des autres éponges sont soutenues par des spicules siliceuses ou calcaires, c'est-à-dire de petites aiguilles de pierre qui pren-

nent une grande variété de formes. La partie vivante de l'éponge est constituée par une masse de cellules non organisées en tissu, puisqu'il s'agit des plus simples animaux pluricellulaires connus.

Le nom latin des spongiaires, Porifera, donne bien l'idée de la caractéristique principale de ces animaux entièrement recouverts de petits trous, prolongés par un système de canaux de différents diamètres (une sorte de système circulatoire de l'éponge). Ces canaux débouchent à l'extérieur par des ouvertures plus grandes souvent surélevées appelées oscules. L'eau de mer circule activement dans ce réseau de canaux poussée par le battement continu de flagelles (structures très semblables aux cils) qui sont portés par les "coanocytes", les cellules les plus caractéristiques des éponges. L'éponge tire de cette eau l'oxygène pour la respiration et toute sa nourriture. Elle se compose de bactéries en suspension dans le plancton qui sont capturées par les coanocytes et probablement aussi de substances organiques dissoutes

---

(1) *Chargé du cours de Zoologie Marine à l'Institut de Zoologie de l'Université de Gênes (Italie)*



*Photo 1*  
*Un exemplaire de Spongia officinalis avec des parties nécrosées, signes évidents de la maladie qui a causé une mortalité massive chez les éponges commerciales.*

*Photo M. PANSINI*

dans l'eau. Une partie de ces ressources alimentaires n'est pas utilisée par d'autres animaux benthiques ce qui explique l'abondance des éponges dans certaines zones littorales. Il suffit qu'un petit morceau de substrat dur soit disponible sur le fond pour la fixation de la larve et voilà que commence l'installation d'un peuplement de spongiaires dans presque tout milieu marin. La diversité de ces peuplements est énorme puisque 564 espèces différentes ont été recensées en Méditerranée (Pansini, 1992).

### Les recherches sur les éponges à Monaco

Les collections, la bibliothèque ou l'aquarium du Musée Océanographique ont représenté un matériel de choix pour les études de nombreux zoologistes marins. Cependant le nombre de ceux qui ont effectué de vraies campagnes de recherche dans la mer de Monaco, comme Emile Topsent, sont rares. Ce "grand maître" de la spongiologie, comme le défini Monsieur Claude Lévi Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, fut sans doute le plus grand spécialiste de la faune méditerranéenne. Il étudia les éponges de 1885 jusqu'à sa mort, en 1951. Devenu aveugle, il utilisa pour ses derniers travaux l'aide de son assistant Luc Olivier et de sa gouvernante qui lui trouvaient ses références et écrivaient sous sa dictée. De 1923 à 1931, il travailla au Musée Océanographique à plusieurs reprises sur du matériel vivant récolté entre Monaco et la rade de Beaulieu à des profondeurs de moins de 60 m et sur les col-

Photo M. PANSINI

lections d'éponges du Prince Albert Ier provenant des campagnes effectuées au large de Monaco entre 1896 et 1902. La description des "Éponges observées dans les parages de Monaco" par Emile Topsent, publiée dans le Bulletin de l'Institut Océanographique en 1934, 1936 et 1943 est la dernière étude taxonomique de cette faune avant la création, par l'AMPN, de la réserve marine de Monaco au quartier du Larvotto, et elle représente encore aujourd'hui une référence très importante.

### Les éponges dans la réserve marine de Monaco

#### Les fonds naturels

La plupart des spongiaires sont des organismes sciaphiles, c'est-à-dire qu'ils préfèrent les milieux à éclaircissement réduit comme les tombants rocheux, les grottes et les eaux profondes. Ils ont besoin, pour leur développement de substrats durs et suffisamment stables. Bien que les fonds de la réserve soient pour la plupart détritiques, probablement pour des raisons géologiques (position de la ville au pied du bassin versant du Mont Agel, création des plages artificielles, etc), quatre peuplements de spongiaires y ont été localisés.

La réserve est peuplée principalement d'espèces photophiles et réophiles, qui tolèrent bien la lumière et le mouvement de l'eau. Elles se développent sur les enrochements de défense des plages et du terre-plein du Larvotto et sur les

Photo 2  
*L'éponge Crambe crambe a une large répartition bathymétrique, mais on la trouve plus souvent près de la surface.*



bas-fonds qui les entourent. L'espèce la plus commune de ce peuplement est encroûtante et de couleur rouge-brique et se nomme *Crambe crambe* (Photo 2).

L'herbier de posidonie qui forme une ceinture au centre de la réserve en consolidant avec ses rhizomes le fond détritique, a son propre peuplement de spongiaires. Celui-ci se fixe surtout sur les rhizomes, c'est-à-dire les fûts des posidonies. La courte durée de vie des feuilles et leur frottement continu dû au mouvement des vagues empêche presque totalement le développement sur ces surfaces d'organismes à croissance lente, comme les spongiaires. Toutefois, l'herbier est un milieu très riche en éponges si bien que Pansini et Pronzato (1985) ont pu décrire plus de soixante-dix espèces différentes en deux endroits méditerranéens, même si probablement il est impossible d'identifier un peuplement de spongiaires caractéristique de tous les herbiers (Photo 3).

Le troisième lieu de la réserve peuplé d'éponges est celui des vrais fonds détritiques où tout petit caillou ou débris assez lourds pour ne pas rouler même sous l'action des grandes vagues (on est désormais à une certaine profondeur) peut abriter de petites larves d'éponges. Elles ont une durée de vie très courte (quelques heures ou quelques jours au maximum) et elles sont donc à la recherche permanente d'un terrain favorable pour s'y fixer. Ce peuplement est très dispersé dans le milieu, mais en même temps il a tendance à se concentrer car le conditionnement biologique du substrat, par l'installation des premiers colonisateurs, attire les autres organismes et en facilite la fixation. Ces fonds se caractérisent également par la présence d'une éponge rose, *Crella elegans*, lobée ou digitée, avec une surface finement criblée de pores réunis en aires limitées : les "cribres". Il s'agit d'un des organismes les plus communs mais aussi un des plus beaux de la réserve (Photo 4).



Photo 3  
Éponges  
de l'herbier de posidonie:  
exemplaires de  
*Chondrilla nucula* fixés sur les rhizomes.

Photo M. PANSINI

A la limite sud de l'aire balisée, presque à 40 mètres de profondeur, se trouvent en deux ou trois endroits de surface assez réduite, les peuplements naturels de spongiaires les plus riches et les plus intéressants de la réserve. A cet endroit, le fond rocheux affleure de la vase offrant un substrat solide où chaque organisme benthique peut se fixer. A cette profondeur la compétition pour l'espace avec les algues - qui n'ont plus suffisamment de lumière pour leur croissance - est presque éliminée, et les éponges peuvent se développer à leur aise. Il s'agit probablement d'un peuplement ancien, bien structuré, avec des espèces fouisseuses,



Photo 4  
La surface criblée de  
*Crella elegans*,  
l'espèce d'éponge la  
plus caractéristique de  
la réserve du Larvotto.

Photo M. PANSINI

LES RÉSERVES MARINES/  
LA RÉSERVE DU LARVOTTO

encroûtantes et massives. Ces colonies ne sont pas en évolution mais ont atteint depuis longtemps leur équilibre. Les longues digitations jaunes d'*Axinella polypoïdes*, les éventails de l'oreille d'éléphant *Spongia agaricina* et de *Poecillastra compressa*, avec un grand nombre d'autres espèces moins voyantes, le caractérisent bien (Photo 6).

**Les récifs artificiels**

En raison d'une bonne connaissance générale de la faune des éponges de la côte méditerranéenne française et de Monaco, j'ai utilisé l'opportunité offerte par les fonds protégés de la réserve pour étudier les mécanismes gouvernant la colonisation des spongiaires sur récifs artificiels. Aucune étude n'avait été réalisée jusqu'alors sur des plaques expérimentales de matières variables mais semblables aux fonds naturels. De telles plaques ont été immergées soit près de la côte soit en mer ouverte. Les hourdis immergés en 1977 à 20 m sur fond sablonneux ont été les premières structures expérimentales à avoir été étudiées de part leur facilité de transport au laboratoire. Trois de ces hourdis ont été prélevés en Juillet 1980, mai 1981 et juin 1982 soit trois, quatre ou cinq ans après leur immersion. 33 espèces de spongiaires ont pu être recensées sans toutefois tenir



Photo 6  
Champ d'éponges  
– Eponge jaune :  
*Axinella* portant des  
zoanthaires :  
*Parazoanthus axinellae*  
– *Spongia* sp.  
et *Ircinia* s.p.

Photo M. PANSINI



Photo 8  
Un phénomène d'épibiose:  
la fixation des colonies  
d'hydroides sur une  
éponge du genre *Ircinia*



Photo 5  
Des récifs  
octogonaux avec les  
hourdis amovibles.

Photo R. PRONZATO

compte de la surface de recouvrement inhérente à chaque espèce. Le nombre de spongiaires installés sur chaque hourdis n'est pas proportionnel au temps d'immersion, mais il varie entre 13 et 20 espèces. Seulement cinq espèces, *Oscarella lobularis*, *Crella elegans*, *Lissodendoryx isodictyalis*, *Tedania anhelans* et *Dysidea incrustans* sont présentes sur tous les hourdis examinés. L'observation de la composition du peuplement montre l'absence des espèces dressées, les espèces massives sont rares et les espèces encroûtantes très fréquentes.

Le peuplement des hourdis est caractérisé par de nombreuses éponges encroûtantes ou encore dans la phase encroûtante (18 espèces). Certaines éponges présentent un développement massif au dessus du substrat. Il s'agit de: *Reniera mamillata*, *Dysidea incrustans* et *Crella elegans* qui est l'espèce la plus abondante. Les éponges perforantes (Clionides) et celles qui se glissent dans les cavités creusées par les premières sont complètement absentes. La période d'immersion étant relativement longue - même pour les premiers hourdis prélevés - le peuplement par les éponges calcaires qui sont les espèces pionnières (Vacelet, 1980) a été dépassé. Il a été remplacé par un peuplement dominant de démosponges. Toutefois, ce peuplement de part sa composition spécifique, semble être assez caractéristique et très bien adapté au substrat uniforme sur lequel il est fixé. Ce peuplement de spongiaires est toutefois beaucoup moins varié que celui qui existe sur les fonds environnants (Topsent, 1934, 1936).

Le développement massif de certaines éponges est sûrement dû à la stabilité des hourdis plutôt qu'à la durée de la période d'immersion. Ce résultat est différent de celui qui avait été obtenu lors d'expériences précédentes (Pansini et Pronzato, 1981; Vacelet, 1981). Ces substrats ne semblent cependant pas adaptés à l'installation des éponges perforantes.

Les différences qui ont été notées dans les peuplements de chaque hourdis pourraient dépendre, plus que de la durée de l'immersion, de l'orientation accidentelle des

substrats étudiés à laquelle sont liés quelques facteurs du milieu (lumière, sédimentation etc.) importants pour le développement des spongiaires.

Lorsque la surface disponible pour l'installation des éponges est encore suffisante après cinq ans d'immersion, les épibioses (croissance d'une espèce sur l'autre, commune chez les peuplements benthiques) sont rares. Il semble peu probable que ces différences soient liées à des phénomènes de compétition ou de dominance progressive d'espèces à croissance rapide. (Photo 8).

Le peuplement de spongiaires, du point de vue de sa composition, ne semble pas avoir atteint sa stabilité mais il semble être encore en lente évolution. L'immersion en 1983 par l'AMPN à trois profondeurs différentes (14, 22 et 32 mètres) de récifs octogonaux avec des hourdis amovibles a permis la poursuite des études sur les éponges et les autres organismes benthiques, en prenant en compte des substrats vierges avec des différences d'orientation par rapport aux courants marins (Photo 5). Ces recherches ont confirmé que les spongiaires s'établissent d'abord sur les substrats vierges avec un peuplement dominé par les éponges calcaires. Ensuite viennent se fixer les premières démosponges (éponges à squelette siliceux ou corné), caractérisées par une forme encroûtante et une croissance horizontale. Le nombre des espèces fixées n'est pas simplement fonction du temps d'immersion. Il est certainement en relation avec d'autres facteurs, comme la présence sur le même substrat d'autres organismes benthiques à croissance rapide qui influencent la composition spécifique du peuplement et les caractéristiques du substrat en facilitant souvent la fixation des nouveaux organismes. Avec le temps certaines espèces d'éponges commencent à se développer également en hauteur (les processus de croissance de ces organismes demandent des dizaines d'années) en faisant diminuer l'importance des formes pionnières et souvent en s'y substituant.

La fixation des larves d'éponges et, par voie de conséquence, le développement de ces organismes, sont fortement favorisés par la rugosité des parois des hourdis qui

LES RÉSERVES MARINES/  
LA RÉSERVE DU LARVOTTO

composent les récifs. Les profondeurs variables d'immersion contribuent à différencier les peuplements des hourdis : *Crambe crambe* par exemple, est plus fréquente dans la zone proche de la surface tandis que *Stylopus dujardini* et *Mycale macilenta* le sont plus dans la zone profonde. Toutefois, ce phénomène se manifeste pour peu d'espèces puisque les spongiaires s'adaptent bien à une gamme très large de profondeurs et leur croissance très lente nécessite un délai très long pour une différenciation des peuplements (Photo 7).

L'orientation du substrat où une éponge est fixée détermine directement les conditions de lumière et de sédimentation auxquelles l'animal est exposé, mais il est très difficile d'établir les limites de leur influence. En premier lieu

les spongiaires présentent une bonne tolérance à d'importantes variations de lumière. En effet, certaines espèces ont élaboré des mécanismes de contraction et de dilatation alternés du corps qui peuvent servir à dégager de la surface de l'éponge le sédiment qui s'y était déposé.

Beaucoup de travail reste encore à faire soit sur des problèmes d'écologie des différentes espèces soit sur la dynamique des peuplements. Pour ce type de recherches, les hourdis amovibles constituent encore un matériel très utile. Ces études permettront peut-être enfin d'évaluer le temps nécessaire à un peuplement de spongiaires, implanté sur un substrat artificiel, pour devenir semblable en composition et en structure, à un peuplement naturel sur fond rocheux naturel âgé de milliers d'années.

Photo 7  
Colonisation  
des hourdis qui  
forment les récifs  
artificiels par des  
éponges et des autres  
organismes benthiques.



Photo R. CATTANEO

Références

PANSINI, M., 1982. Les peuplements benthiques de la réserve sous-marine de Monaco: 1. Spongiaires. *Journée Étud. Récifs artif. et Maric. suspend.* - Cannes, C.I.E.S.M.: 83-84.

\_\_\_ 1992. Considérations biogéographiques et systématiques pour une mise à jour des données sur le peuplement de spongiaires méditerranéens. *Bull. Inst. Océanogr., Monaco*, 9 (n. spécial): 43-51.

PANSINI, M. & PRONZATO R., 1981. Étude des spongiaires de substrats artificiels immergés durant quatre ans. *Vie et Milieu*, 31, (1): 77-82.

PANSINI, M. & R. PRONZATO, 1985. Distribution and ecology of epiphytic Porifera in two *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows of the Ligurian and Tyrrhenian Sea. *P.S.Z.N.I.: Marine Ecology*. 6 (1): 1-11.

TOPSENT, E., 1934. Éponges observées dans les parages de Monaco. I Partie. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, 650 : 1-42.

\_\_\_ 1936. Éponges observées dans les parages de Monaco. II Partie. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, 686 : 1-70.

TOPSENT E. & L. OLIVIER, 1943. Éponges observées dans les parages de Monaco. (Fin) *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, 854: 1-12.

VACELET J., 1980. L'installation des spongiaires sur les substrats nouvellement immergés. *Mem. Biol. Marina e Oceanogr.*, Suppl. X, : 95-111.

\_\_\_ 1981. Étude qualitative et quantitative des Salissures biologiques de plaques expérimentales immergées en pleine eau. 6. Les éponges. *Tethys*, 10, (2) : 165-172.

Liste des espèces des spongiaires des récifs artificiels immergés dans la réserve marine de Monaco.

*Anchinoe fictitius* (Bowerbank, 1866)  
*Anchinoe paupertas* (Bowerbank, 1866)  
*Anchinoe tenacior* (Topsent, 1925)  
*Antho involvens* (Schmidt, 1864)  
*Batzella inops* (Topsent, 1891)  
*Cacospongia mollior* (Schmidt, 1862)  
*Cacospongia scalaris* (Schmidt, 1862)  
*Clathrina coriacea* (Montagu, 1818)  
*Clathrina* sp. 1  
*Clathrina* sp. 2  
*Cliona viridis* (Schmidt, 1862)  
*Crambe crambe* (Schmidt, 1862)  
*Crella elegans* (Schmidt, 1862)  
*Crella* sp.  
*Dysidea avara* (Schmidt, 1862)  
*Dysidea fragilis* (Montagu, 1818)  
*Dysidea incrustans* (Schmidt, 1862)  
*Haliclona subtilis* (Griessinger, 1971)  
*Haliclona* sp. 1  
*Haliclona* sp. 2  
*Hymedesmia castanea* (Sarà, 1964)

*Hymedesmia pansa* (Bowerbank, 1882)  
*Hymedesmia* sp.  
*Ircinia dendroides* (Schmidt, 1862)  
*Ircinia variabilis* (Schmidt, 1862)  
*Leuconia aspera* (Schmidt, 1862)  
*Leuconia* sp.  
*Lissodendoryx isodictyalis* (Carter, 1882)  
*Microciona* sp. 1  
*Microciona* sp. 2  
*Mycale macilenta* (Bowerbank, 1866)  
*Mycale rotalis* (Bowerbank, 1874)  
*Mycale tunicata* (Schmidt, 1862)  
*Myxilla rosacea* (Lieberkühn, 1859)  
*Oscarella lobularis* (Schmidt, 1862)  
*Pleraplysilla spinifera* (Schulze, 1878)  
*Spongia virgultosa* (Schmidt, 1868)  
*Stylopus dujardini* (Bowerbank, 1866)  
*Stylostichon dives* (Topsent, 1891)  
*Sycon* sp.  
*Tedania anhelans* (Lieberkühn, 1859)  
*Terpios fugax* (Duchassaing & Michelotti, 1864)

# LA RÉSERVE SOUS-MARINE DE MONACO ET SA FAUNE ICHTYOLOGIQUE

par

*le Professeur Gilbert BARNABÉ (1)*

*La faune ichtyologique occupe une place à part dans les écosystèmes côtiers : généralement exploitée par la pêche et utilisant pour se nourrir les ressources de la pleine eau et celles des fonds, son abondance, sa composition renseignent de façon immédiate sur l'état des eaux côtières et la façon dont elles sont exploitées par l'homme. Les travaux menés dans la réserve sous-marine de Monaco ne démentent pas cette assertion.*

## Les objectifs de l'étude

L'objectif principal était d'apprécier l'importance et la variété des peuplements de poissons qui constituent la faune ichtyologique de la réserve sous-marine de Monaco, afin d'évaluer l'impact des mesures conservatoires (que l'on nomme "l'effet réserve").

L'autre motivation était de connaître l'effet de l'immersion de divers types de récifs artificiels dans la réserve : leur impact sur la faune ichtyologique devait être apprécié pour contribuer à établir le rôle de telles structures à diverses profondeurs, ce qui n'avait pas été fait.

D'un autre point de vue, la réserve est bordée sur la majorité de son rivage par des enrochements installés à des fins de protection et dont l'effet sur les poissons méritait d'être évalué en situation de réserve (ce qui n'est guère possible ailleurs).

Plus récemment, l'installation au large de la réserve du "Labrax" navire ayant à son bord une éclosierie de production de poissons marins et de cages d'élevages, posait le problème de l'impact de cette présence sur la biologie et le comportement des poissons de la réserve.

Les travaux menés à Monaco pour répondre à l'ensemble de ces questions sous l'égide de l'Association Monégasque pour la Protection de la Nature (AMPN) étaient d'autant plus intéressants qu'ils s'inscrivaient dans un contexte doublement privilégié.

## La réserve de Monaco : une vraie réserve en Méditerranée

Parmi les réserves sous-marines situées en Méditerranée occidentale, la réserve sous-marine de Monaco (Réserve du Larvotto) est typique à plus d'un titre :

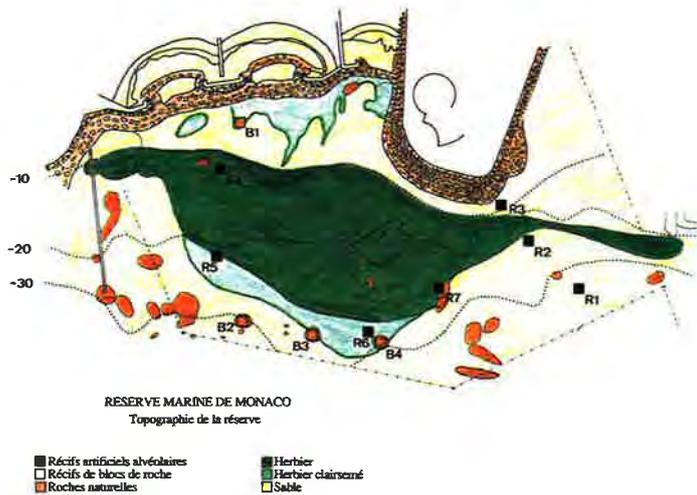
- Elle est d'une superficie relativement réduite (50 ha).
- Faisant face au centre de la ville de Monaco, cette réserve bénéficie d'une surveillance permanente et très efficace assurée par les Services de Police et par la population depuis les habitations qui surplombent la mer. Cette surveillance permanente distingue la réserve de Monaco de toutes les autres, souvent éloignées des zones habitées et soumises de façon plus ou moins intense à divers types de prélèvements illicites : dans beaucoup de zones marines interdites à toute forme de pêche, les hameçons, lignes, plombs et les flèches de fusil sous-marins trouvés sur le fond constituent le témoignage irréfutable du braconnage. Le lecteur comprendra qu'il est difficile de citer des noms ! Rien de tout cela dans la réserve de Monaco où le comportement des poissons face à l'homme est empreint d'une "confiance" symptomatique.

De ce fait, les observations scientifiques que l'on peut réaliser dans cette zone protégée n'ont pas d'équivalent ailleurs : le comportement, l'abondance des populations de poissons, leurs répartitions n'ont pas été altérés par la prédation humaine. Les observations réalisées sont proches d'un état où les réactions observées ne sont pas conditionnées par des expériences antérieures traumatisantes.

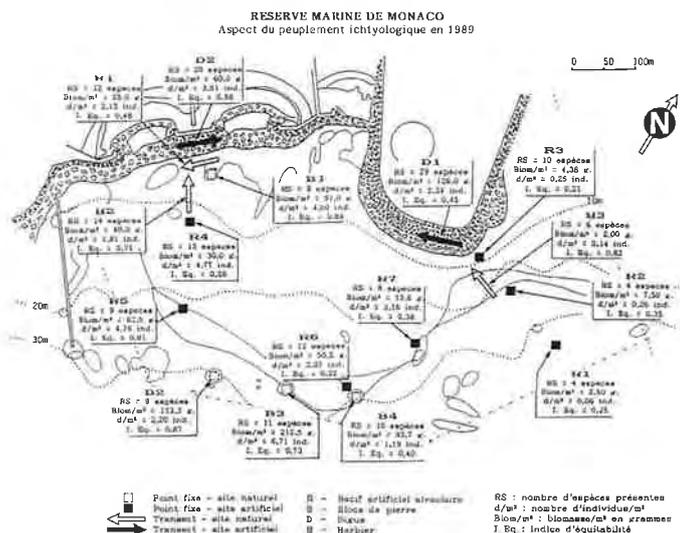
Par contre, le contact entre l'espèce humaine et les poissons revêt parfois une forme bien différente et plus pacifique : l'alimentation des poissons essentiellement l'été par les baigneurs, car cette réserve est contiguë à une plage

(1) Université de Montpellier II - Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral - Laboratoire d'Ecologie marine - 1 Quai de la Daurade - 34200 SETE.

## LES RÉSERVES MARINES/ LA RÉSERVE DU LARVOTTO



Carte 1



Carte 2

très fréquentée. Cette remarque ne concerne que certaines espèces qui partagent le pain avec l'homme ! Pour cette raison, nous avons évité toute évaluation en Juillet et Août et à l'intérieur de la digue protégeant les plages.

Dans de telles conditions que peut-on retenir des études qui ont été conduites sur les populations de poissons et d'abord où, quand et comment ont-elles été réalisées ?

### Chronologie des travaux et méthodologie d'étude

Les premières investigations qui avaient pour but de mettre au point la méthodologie d'étude ont eu lieu en Juin 1987, les plus récentes en Février 1995, mais l'essentiel des observations a été effectué avec une périodicité saisonnière en 1988 et 1989. A partir de 1994 et pour tenir compte d'un élément nouveau, la présence d'une éclosure aquacole embarquée sur le "Labrax", navire mouillé par 230 m de fond devant Monaco, et de cages d'aquaculture, le suivi a

repris et 2 nouvelles missions d'évaluation ont été effectuées ; l'une en présence d'une vaste cage d'élevage et du bateau (nommé "Labrax", car on y élève du Loup *Dicentrarchus labrax*), en Juin 1994, l'autre en présence du "Labrax" seulement en Février 1995. Une nouvelle investigation a eu lieu après le départ de ce dernier en Mai 1995.

La méthodologie devenue classique est celle de l'observation en plongée dont l'intérêt et la validité sont établis depuis longtemps (BARNABÉ, 1976 ; HARMELIN et Coll., 1985). De ce fait, nous ne l'exposerons pas à nouveau. Il s'agit d'une méthode fiable et peu traumatisante.

Les sites échantillonnés sont localisés sur la carte 1. Nous avons retenu des sites de profondeurs différentes et des sites qui, à des profondeurs similaires, diffèrent à la fois par la nature du substrat (herbier, roche, etc.) ainsi que par leur topographie (blocs rocheux naturels, récifs artificiels).

Les observations correspondaient à des points fixes sur des récifs et à des transects sur zones rocheuses ou sur herbier ; elles ont été réalisées à chaque saison.

- La surface couverte par un point fixe autour d'un récif correspond à un cercle d'une surface de 80 m<sup>2</sup>. Seuls les poissons situés à proximité du récif ( $\leq 3$  m) sont inventoriés.

- En ce qui concerne les transects, le volume d'eau exploré correspond à un "tunnel" de 10 m de large et 5 m de haut, représentant un volume approximatif de 1 500 m<sup>3</sup> pour une longueur de 20 m et de 3 900 m<sup>3</sup> pour un transect de 50 m (détails in BARNABÉ et CHAUVET, 1992).

Ce travail n'a pas la prétention de couvrir la totalité de la réserve, ni la totalité des récifs, mais il correspond à un échantillonnage complet des divers types de fonds et de récifs que l'on rencontre dans la réserve sous-marine de Monaco.

C'est à partir de ces données qu'ont été établis les résultats quantitatifs pour chaque site visité.

Nous n'utiliserons ici que 2 paramètres :

N = richesse spécifique (nombre d'espèces)

d = densité en nombre au m<sup>2</sup>

Un autre indice E, nommé équitabilité, sert à apprécier l'abondance relative de chaque espèce (détails in BARNABÉ et CHAUVET, 1992). L'équitabilité varie de 0 à 1 ; quand E tend vers 1, les espèces ont des abondances équivalentes, quel que soit le nombre d'espèces. Quand E tend vers 0, l'une ou quelques-unes des espèces sont beaucoup plus abondantes que les autres.

Ces paramètres présentent un intérêt essentiellement comparatif, à la fois entre sites différents de la réserve, mais aussi avec des zones extérieures. De plus, le poids de poissons par mètre carré (la Biomasse/m<sup>2</sup>) a été estimé en utilisant des relations tailles/poids particulières qui nous ont été, en partie, transmises par FRANCOUR et ODY (communication personnelle).

## Principaux résultats obtenus

Nous rassemblerons ici les données obtenues en 1988-1989 qui ont été publiées (BARNABÉ et CHAUVET, 1992) et les résultats non publiés, mais communiqués à l'AMPN en 1995. La localisation de ces sites est indiquée sur la carte 1.

La distribution des poissons et leur abondance peuvent être appréciées en fonction de la nature du fond ou de la profondeur. La représentation schématique des peuplements selon 3 "sections" verticales de la réserve (Fig. 1 à 3) illustre bien ce que nous avons observé et relevé par écrit au cours de nos plongées. Les variations saisonnières n'y figurent pas, mais elles ne modifiaient pas le schéma d'ensemble : la diversité en espèces se retrouve au fil des saisons avec une variabilité limitée. Les photographies reproduites permettent de se rendre compte de la façon dont se présentent les populations de poissons dans la réserve.

### L'abondance des petits poissons de pleine eau

Toutes les zones peu profondes de la réserve (jusqu'à 20 m environ) que nous avons visitées sont riches en poissons, mais le nombre d'espèces n'est pas très grand. Le poisson le plus abondant est la Castagnole (*Chromis chromis*) suivi par la Mendole (*Spicara maena*). Il s'agit d'espèces vivant en pleine eau et au voisinage du fond (démersaux), mais se nourrissant de plancton et de particules en suspension. Leur abondance tient à ce qu'ils ne sont limités ni par les ressources alimentaires (leur présence indique des ressources planctoniques abondantes), ni par l'habitat (les eaux sont profondes près de la côte et la nature des fonds variés). Il s'agit de petits poissons représentant un faible poids total (biomasse). Leur abondance décroît de la surface vers le fond. On trouve ces espèces aussi bien au-dessus des herbiers que des récifs ou des digues (avec, de temps à autre, des Mendoles et des Bogues).

### Les poissons des récifs

La richesse de la faune ichthyologique, autour ou au-dessus des récifs, est variable selon leur forme, leur taille et leur structure :

- Les récifs octogonaux, en hourdis par exemple, sont peu peuplés lorsqu'ils sont isolés (en moyenne 2 Rascasses, 2 Serrans et éventuellement quelques Castagnoles). Ils sont nettement plus attractifs lorsqu'ils sont répartis au voisinage les uns des autres : tout se passe, alors, comme si le récif était constitué par les divers éléments de son ossature et l'espace compris entre ces éléments. Ces constats rejoignent ceux réalisés par ailleurs (THIERRY, 1988 ; CHARBONNEL, 1989). L'examen du peuplement du récif, constitué de blocs parallélépipédiques creux assemblés en pyramide, confirme cette appréciation, mais les différences de profondeur ne permettent pas une comparaison rigoureuse.
- Les récifs artificiels constitués de blocs de roches sur des fonds de sable, à 25-30 m sont bien peuplés (récifs B2, B4 et

Saupes et Castagnoles  
au niveau du brise-lames.



Mendoles sur l'herbier.



Castagnoles et sar  
sur un récif de hourdis.



surtout B3) avec une dizaine d'espèces appréciées : Daurade, Sar, Pageot, Rouget, Rascasse, etc. On a observé jusqu'à 300 sars sur B3, mais une seule fois ! Les castagnoles y sont aussi très abondantes. Notons, cependant, que ces récifs constituent des zones de surface limitée sur des fonds de sable ou d'herbier dont la pauvreté est caractéristique. Ces récifs se comportent alors comme des zones de rassemblement, des "oasis", au sein de zones complètement désertes.

### Les poissons des digues

L'observation de l'évolution saisonnière des peuplements inventoriés sur la Digue du Sporting, sur toute sa hauteur (0 à 12 m de profondeur), montre qu'il s'agit d'une

LES RÉSERVES MARINES/  
LA RÉSERVE DU LARVOTTO

FIGURE N° 1

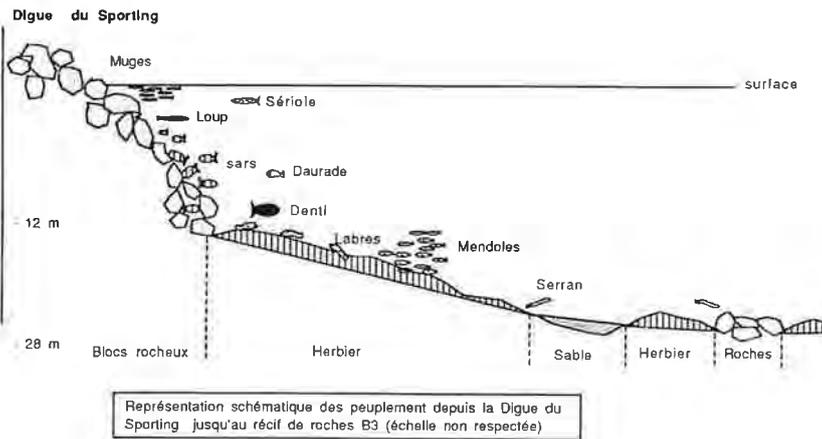
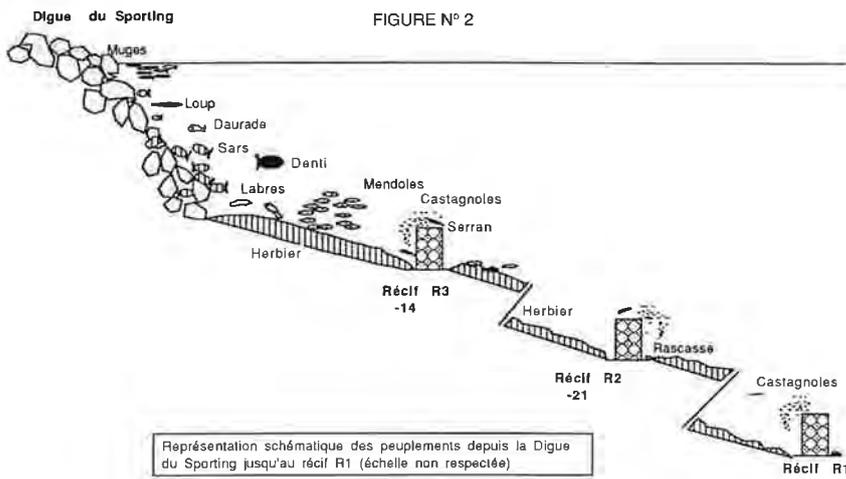


FIGURE N° 2



Brise-lames  
(Plage du Larvotto)

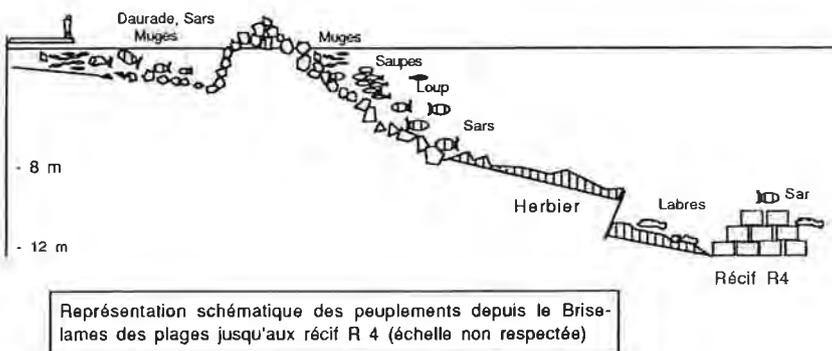


FIGURE N° 3

zone très riche à la fois en espèces et en effectifs, mais aussi que les différentes tranches des populations y sont représentées, notamment les petits spécimens, les juvéniles. Les espèces rencontrées sont typiques des fonds rocheux naturels de même profondeur. La digue centrale du brise-lames protégeant les plages du Larvotto est également très riche à la fois en espèces et en nombre d'individus, quelle que soit la saison. Les espèces présentes sont les mêmes sur ces 2 digues.

Les enrochements des digues constituent la zone la plus peuplée de la réserve (Fig. 1 à 3). Ce n'est pas étonnant, car le volume des roches qui les constitue est sans commune mesure avec celui des récifs ; d'un autre point de vue, ces digues s'étendent de la surface à une profondeur de 12 m environ. La proximité de la surface et les faibles profondeurs associées à l'habitat rocheux (empilements de blocs de roche naturels) offrent des conditions exceptionnelles : aucun récif artificiel n'a été immergé par aussi faible profondeur !

Ces digues artificielles sont très peuplées en Sars (4 espèces largement dominées par *Diplodus sargus*). Toutes les classes de taille sont représentées et il n'y a donc aucun "vieillessement" très marqué de ces populations (qui se traduirait par la seule présence de gros individus). On aurait pu craindre ce type de phénomène en l'absence de toute prédation humaine et compte tenu du fait que de nombreuses espèces du biotope rocheux sont des poissons réputés sédentaires, donc en compétition possible pour un habitat rocheux limité.

### Les poissons de l'herbier

Comparativement aux digues, les vastes herbiers de la réserve (Carte 1) sont beaucoup plus pauvres, autant en espèces qu'en nombre d'individus (Fig. 1 à 3). Au niveau du fond, les enrochements des digues au contact de l'herbier sont des zones au peuplement diversifié. Sans être très abondantes sur les digues, diverses espèces de Crénilabres et Labres sont présentes à des densités notables pour un faciès rocheux.

### Comparaison entre la richesse de la réserve et celle d'une zone avoisinante

La zone inventoriée hors réserve se situe à l'Ouest de la plage du Larvotto, le long de la

digue qui renforce la ligne de côte. La pauvreté supposée de cette zone nous a fait retenir une zone d'échantillonnage étendue (400 m) afin d'être assuré d'un nombre suffisant d'observations. La partie contiguë à la plage est encore en réserve ; c'est à partir de la limite de la réserve matérialisée par une bouée, vers l'Ouest, qu'a donc été effectué l'échantillonnage, depuis la surface et jusqu'à la base de la digue qui s'appuie sur un fond sableux, profond de 10 à 12 m selon les endroits.

Nous avons d'abord comparé le peuplement en poissons de cette zone avec celui de la digue du Sporting. On peut grossièrement résumer ces observations en disant que l'on rencontre autant de poissons en un seul transect, de la surface jusqu'au bas de la digue du Sporting, qu'en comptabilisant tous les poissons de la surface jusqu'à la base des 400 m de la digue située hors réserve !

Si l'on compare la zone hors réserve avec l'épi central des plages, qui rappelons-le ne mesure que 60 m environ, la contradiction est frappante au niveau des effectifs qui dépassent le millier sur l'épi des plages contre environ 400 sur une distance 6 fois plus grande hors réserve (ce qui correspond à une abondance 15 fois plus forte dans la réserve). Bien que ce chiffre ne soit pas d'une précision absolue, il rend bien compte de l'extraordinaire richesse de la réserve en poissons.

La comparaison des catégories de poisson (Gros, Moyen, Petit), inventoriées sur chaque zone, est encore plus parlante : alors que le peuplement hors réserve est constitué surtout de petits et de quelques moyens, le peuplement de la réserve est constitué d'adultes qui représentent en effectif le double des petits ! Cet effet est spectaculaire sous l'eau et il faut penser à sa signification en terme de biomasse : les gros individus représentent plus de 10 fois le poids des petits. En prenant pour base cette simplification, on constate que les 750 gros poissons de l'épi des plages représentent le poids de 7 500 petits poissons, alors que l'on n'en trouve que 400 sur une distance 6 fois plus grande, soit 66 sur une distance équivalente hors réserve. En terme de biomasse, la différence d'abondance est de plus de 100 entre la zone hors réserve et la réserve !

La réserve est d'un ordre de grandeur plus riche en nombre d'individus que la zone hors réserve ; pour la biomasse, cette différence est de 2 ordres de grandeur !

### **L'influence du "Labrax" et des structures d'élevage aquacole**

Afin d'évaluer avec le moins de perturbations possibles les alentours du "Labrax", c'est la plongée en apnée qui a été utilisée (le point le plus bas du bateau, la poupe, est à 6,5 m de profondeur). Un seul poisson (une liche de 15 cm de long) a été observée en arrière de l'hélice en Juin 1994. Nous n'avons vu aucun autre poisson le long des

*Serran chèvre  
sur un récif de hourdis*



*Rougets près de l'herbier.*

*Photo STUDIO CLÉMENT*



*Banc de saupes.*



flancs ou sous le bateau. Autour des chaînes du mouillage, à la proue, un banc de 50 Oblades de taille moyenne était présent. En avant de ces chaînes, en position verticale, quelques dizaines de petits pélagiques, Sardines ou Sprats juvéniles (taille < 5 cm) ont été observés ; lors de la 2ème investigation, en Février 1995, aucun poisson n'a pu être vu !

Pour une masse aussi imposante en pleine eau quelle pauvreté ! On note que les espèces rencontrées, à l'exception de l'Oblade, ne sont pas présentes dans la réserve. Comme cela a été confirmé en hiver, le "Labrax" ne joue aucun rôle significatif pour la faune ichtyologique de la réserve. Il n'est pas en relation avec les fonds côtiers et vu la grande profondeur sur laquelle il est ancré (230 m), seuls les poissons du

Saupes en cage  
au large de Monaco.



Banc de saupes  
au brise-lames des plages.



large (pélagiques) sont susceptibles de pouvoir le fréquenter. Ils sont très rares, comme ils sont rares dans la réserve : une seule Sériole a été vue sur l'ensemble des échantillonnages. La partie immergée de la coque du "Labrax" est recouverte de moules, avec quelques huîtres plates et de rares oursins. Ce n'est donc pas la nourriture qui manque.

Les choses changent au niveau de la grande et unique cage d'élevage qui était par contre enveloppée par des milliers de Chinchards (*Trachurus trachurus*) mêlés à des Bogues (*Boops boops*) nageant lentement autour de la cage (voir clichés). Il s'agit toujours d'individus de grande taille. La présence de tels rassemblements est liée à la présence de poissons en élevage : les déchets de ces poissons (fèces, particules alimentaires) sont consommés par les Chinchards. Cette nourriture n'est pas négligeable. Les petits Loups en élevage sont très visibles au travers du filet et leurs mouvements de nage sont sans doute très stimulants pour les Bogues et Chinchards qui sont aussi des prédateurs de pleine eau. La stimulation visuelle peut donc être forte.

## Discussion

### La richesse des digues

A partir des données chiffrées obtenues lors des comptages en plongée (BARNABÉ et CHAUVET, 1992) on peut calculer un ordre de grandeur du nombre de poissons sur les digues : celle du Sporting présentant une pente approxima-

tive de  $45^\circ$ , a une surface immergée de :  $12 \times \sqrt{2} = 16,97 \text{ m}^2$  par mètre linéaire de digue. Sachant que la densité de poissons est de 6,34 par  $\text{m}^2$  (Carte 2), elle passe à 107,6 poissons par mètre linéaire de digue, (soit 107 600 par km) ! En excluant les Castagnoles, cette évaluation revient à 39 700 poissons. La biomasse (sans Castagnoles) est de l'ordre de  $126 \times 16,97 = 2 138 \text{ g/m}$  linéaire de digue (2 100 kg par km de digue).

En ce qui concerne le brise-lames abritant les plages du Larvotto (mais en tenant compte d'une profondeur de 8 m seulement et du seul côté mer), le même calcul à partir des données numériques conduit à des densités par mètre linéaire de :  $8 \times \sqrt{2} = 11,31 \times 4,61 = 52,14$  poissons. Sans Castagnoles, ce chiffre passe à  $11,31 \times 3,61 = 40,8$  poissons par mètre linéaire de digue pour un poids de poissons de 678 g par mètre linéaire de brise-lames.

Ces effectifs estimés sont à considérer avec précaution puisqu'il s'agit d'extrapolations ; ces calculs confirment, cependant, la richesse des peuplements également traduite sur les photographies. Ces clichés montrent aussi que la répartition des peuplements n'est pas homogène : les poissons sont en groupe ou en bancs, et, en ce sens, les données de densité moyenne traduisent mal la localisation de l'ichtyofaune. Les espèces rencontrées se nourrissent sur le fond et il est vraisemblable que le peuplement n'augmentera plus beaucoup faute de ressources alimentaires suffisantes.

Un des effets les plus évidents de l'absence de prélèvements par pêche, qui ressort mieux des observations que des comptages, est l'abondance de juvéniles notamment dans les zones les moins profondes.

Le comportement adopté par les poissons, situés à l'intérieur du brise-lames protégeant les plages (acceptation de nourriture fournie par l'homme), n'est pas spécifique à la réserve de Monaco mais à plusieurs zones protégées (Iles Mèdes, Iles Lavezzi) ; il intéresse, ici, des espèces différentes (Muges, Sars, Daurades) et démontre que l'action humaine altère le comportement naturel des populations sauvages protégées. On peut, d'ailleurs, avancer que l'abondance des effectifs de poissons, à cet endroit, est liée à la distribution de nourriture (ce rassemblement aux points de distribution de nourriture est courant dans les élevages de poissons marins). Malgré cette concentration qui paraît spectaculaire, vue des pontons, on constate en plongée que ces rassemblements ne concernent guère plus d'une centaine d'individus et essentiellement des Muges.

On sait que les poissons pondent en pleine eau de grandes quantités d'oeufs ; il en éclôt une larve de quelques millimètres qui vit en pleine eau dans le "plancton". A la fin de la vie larvaire, les survivants se rassemblent sur des zones peu profondes connues sous le nom de "nurseries". La Côte d'Azur, privée de plateau continental et surexploitée par la pêche, offre peu de nurseries, et on pense à la suite

de FAGE (1958) que la pauvreté de ses rivages serait en partie due à cet état de fait. Les importants prélèvements de juvéniles dus à la pêche à la ligne sont bien connus et la pêche professionnelle à la “poutine” (qui est en fait un prélèvement d’alevins), contribuent encore à détruire ce “blé en herbe” hors des zones protégées.

En ce sens, les digues de la réserve de Monaco peuvent jouer le rôle de nurseries, ce que ne peuvent faire les récifs lorsqu’ils sont situés trop profond (les larves de poissons attirées par la lumière [phototropisme] fréquentent les eaux superficielles). La présence de ces juvéniles indique que la reproduction des espèces impliquées est toujours active dans la région. Les récifs profonds serviront à fixer les populations existantes ou des espèces spectaculaires, mais c’est seulement par le recrutement sur des nurseries peu profondes et protégées que l’on augmentera l’effectif des populations.

### L’efficacité des divers types de récifs

L’abondance plus grande de poissons sur les récifs de blocs naturels que sur les récifs octogonaux de hourdis peut être attribuée à 2 faits : un volume plus important des récifs de blocs naturels ( $\approx 100 \text{ m}^3$ ) et une hétérogénéité structurale plus grande.

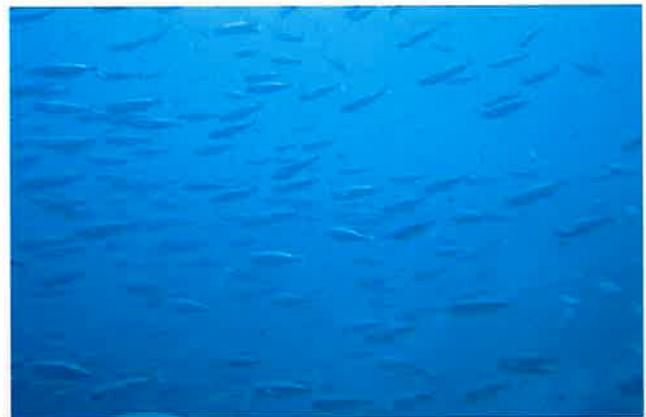
Les résultats chiffrés nous ont montré que les récifs artificiels constitués de blocs rocheux naturels, immergés à des profondeurs de 20-30 m, présentent, en poids, les densités de poissons les plus fortes ; malgré leur richesse relative, leur contribution au peuplement global de la réserve est plus faible que celle des digues, car ils sont moins étendus : en estimant à environ  $100 \text{ m}^2$  la surface d’un récif de  $100 \text{ m}^3$ , on a noté que les densités de poissons (en poids) varient de 90 à  $212 \text{ g/m}^2$ , soit de 9 à 21 kg par récif de blocs rocheux. Ces résultats peuvent être comparés à ceux obtenus par CHARBONNEL (1989) sur les récifs des Alpes Maritimes : des structures artificielles de  $158 \text{ m}^3$  présentent des biomasses de l’ordre de  $14,08 \text{ g/m}^3$ , tandis qu’elles peuvent atteindre  $300 \text{ g/m}^3$  pour des récifs plus petits “imitant assez bien les zones rocheuses”. On voit que les résultats obtenus, toutes proportions gardées, sont convergents.

Les digues sont les sites les plus peuplés après les récifs de blocs naturels, mais leur grande étendue ne permet plus de les considérer comme des zones de rassemblement au sein de zones dépeuplées : le peuplement observé est réparti (mais en groupes) sur l’ensemble des digues. Fait essentiel, leur faible profondeur les conduit aussi à jouer un rôle insoupçonné de nurseries. Le statut de réserve intégrale a donc un effet très positif sur l’abondance des espèces et l’accueil des jeunes individus.

Sars  
et Castagnoles.



Bogues  
en pleine eau.



### L’extraordinaire effet de la réserve sur les populations de Poissons

La réserve est 10 fois plus riche en nombre d’individus que la zone hors réserve ; pour la biomasse, cette différence est de 100 fois ! Voilà des ordres de grandeur qui se passent de commentaire pour mettre en évidence l’effet réserve.

### La présence du “Labrax” et d’infrastructures aquacoles

Les Chinchards et Bogues sont les seuls poissons abondants et uniquement autour de la cage d’élevage : or le Chinchard est absent des inventaires de la réserve et les grosses Bogues n’ont été signalées qu’en 2 occasions sur la digue du Sporting avec 1 et 4 individus en 1989-1990. On peut donc dire que la faune gravitant autour de la cage est complètement différente de celle de la réserve. Ce n’est pas étonnant, il s’agit de poissons pélagiques de pleine eau, même si la Bogue peut aussi être rencontrée près des côtes. Du fait de la profondeur du site (100 m), seuls ces poissons se déplacent en pleine eau, loin au-dessus de fonds aussi importants ; les espèces de la réserve sont des espèces inféodées au fond, même les Castagnoles qui se réfugient dans un abri la nuit. Les quelques Oblades que l’on a rencontrées (une seule fois) autour du mouillage du Labrax ont l’habitude de se déplacer alors en zone côtière, juste au-dessus de la surface.

Sars de diverses tailles  
sur la digue du Sporting.



Saupes et Labres.



La quasi-absence de poissons autour du Labrax par rapport à la cage montre que la mer au large est vide en l'absence de rejets alimentaires ou de stimulation visuelle. L'effet d'ombrage ou de présence de substrat due à la coque est peu efficace par rapport à l'attraction due à la présence de poissons dans la cage : ils stimulent l'"appétit" et fournissent de grandes quantités de déchets alimentaires qui fixent ces populations de pélagiques.

## Perspectives de conservation et d'aménagement

Dans l'avenir, la réserve de Monaco continuera de jouer le rôle d'un outil de premier plan au niveau de la recherche en milieu marin : en effet, elle est un des seuls exemples de réserve intégrale dont le statut soit respecté du fait de sa situation au centre de la Principauté.

Les travaux sur les poissons pourraient être complétés par des études fines du comportement par exemple, mais aussi par l'expérimentation de nouvelles structures, telles des récifs en pleine eau ou des récifs spécialement conçus pour la protection du frai, ou des dispositifs de concentration de poissons (DCP). De tels DCP auraient sans doute intérêt à incorporer une cage centrale avec quelques poissons capables de se nourrir des salissures de la cage : ils joueraient le rôle d'attractant et multiplieraient des milliers de fois l'efficacité des DCP !

Dans un autre cadre, la comparaison de la richesse de la réserve littorale, de la pauvreté de la faune du "Labrax",

de l'abondance de celle de la cage est instructive pour des recherches comparatives futures ; on a là, réunis à peu de distance, des sites qui permettent à la fois l'accès à des eaux côtières sauvegardées de l'action de l'homme et aux eaux du large.

La Recherche doit aussi se préoccuper de répondre aux besoins de la Société, dominés par la demande d'emplois ; la mer littorale offre de nombreuses voies exploratoires.

Ainsi, la présence de moules et surtout d'huîtres plates *Ostrea edulis* (Bellon) sur les amarrages et les surfaces planes du "Labrax" et des bouées, ouvre peut-être la voie à l'affinage de coquillages de luxe, au large : on sait, en effet, que les huîtres sont consommées par l'équipage de ce bateau.

De telles perspectives s'inscrivent dans une optique qui n'est plus celle de la simple exploitation d'un plan d'eau par la pêche ou le tourisme, mais d'un début d'aménagement raisonné de la mer littorale. Il ne s'agit pas d'utopie lointaine : les grands programmes du type "Marinovation", qu'ont mis en oeuvre les Japonais pour la pêche professionnelle, sont déjà une réalité. A Agde, en Languedoc, 16 km<sup>2</sup> de fonds sont réservés à la pêche côtière par 200 récifs artificiels.

L'importance du tourisme et l'attrait pour la Méditerranée permettent une valorisation plus fructueuse encore d'aménagements de la mer adaptés à notre littoral : l'installation de cages ou de dispositifs de concentration de poissons hors réserve, non plus pour l'élevage direct mais pour attirer des poissons pour la pêche de loisir, révolutionnerait cette activité.

La réserve de Monaco est témoin que la pauvreté légendaire des eaux côtières de la Méditerranée n'est que le résultat de l'action de l'homme.

### Références Bibliographiques

- BARNABÉ G., 1976 - Utilisation des techniques de la pêche sous-marine pour l'étude des populations de poissons littoraux. Rapp. Comm. int. Mer Médit., 23 (6) : 63-64.
- BARNABÉ G., CHAUVET C., 1992 - Évaluation de la faune ichtyologique dans la réserve sous-marine de Monaco. Assoc. Monég. Prot. Nat., C.R. 1990-1991: 51-59.
- CHARBONNEL E., 1989 - Évaluation des peuplements ichtyologiques des récifs artificiels dans les Établissements de pêche des Alpes Maritimes, Rapport final. Cons. Gén. Alpes Maritimes, Dir. Aménag. Equip. Rural Environ. : 92 pp.
- FAGE L., 1958 - Croissance, Races, Migrations. In : Traité de Zoologie (P.P. Grassé), Masson et Cie Ed., Paris, 13, (3) : 1835-1849.
- HARME LIN-VIVIEN M.L., HARME LIN J.G., CHAUVET C., DUVAL C., GALZIN R., LEJEUNE P., BARNABÉ G., BLANC F., CHEVALIER R., DUCLERC J. et LASSERRE G., 1985 - Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : Méthodes et problèmes. Rev. Ecol. (Terre et Vie), 40 : 467-539.
- THIERRY J.M., 1988 - Artificial Reefs in Japan. A general Outline. Aquacultural Engineering, 7 : 321-348.