

Année 2009

**MONOGRAPHIE ET ETUDE DE LA
DYNAMIQUE DE POPULATION D'*Haliotis
tuberculata* AU SENEGAL**

THESE
Pour le
DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant
LA FACULTE DE MEDECINE DE CRETEIL

le

Marc LE PETIT

Né le 18 Novembre 1984 à Mantes-La-Jolie (Yvelines)

JURY

Président : M.

Professeur à la Faculté de Médecine de CRETEIL

Membres

Directeur : Jean-Marie MAILHAC

Maître de Conférences de Chirurgie à l'ENVA

Assesseur : Sophie LE PODER

Maître de Conférences de Virologie à l'ENVA

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

Directeur : M. le Professeur MIALOT Jean-Paul

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs MORAILLON Robert, PARODI André-Laurent, PILET Charles, TOMA Bernard

Professeurs honoraires: MM. BRUGERE Henri, BUSSIERAS Jean, CERF Olivier, CLERC Bernard, CRESPEAU François

LE BARS Henri, MOUTHON Gilbert, MILHAUD Guy, ROZIER Jacques,

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)

Chef du département : Mme COMBRISSEON Hélène, Professeur - Adjoint : Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences

<p>- UNITE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur M. DEGUEURCE Christophe, Professeur Mme ROBERT Céline, Maître de conférences M. CHATEAU Henry, Maître de conférences*</p> <p>- UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur* M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur M. FREYBURGER Ludovic, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE Mme COMBRISSEON Hélène, Professeur* M. TIRET Laurent, Maître de conférences Mme STORCK-PILOT Fanny, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur M. TISSIER Renaud, Maître de conférences* M. PERROT Sébastien, Maître de conférences</p> <p>- DISCIPLINE : ETHOLOGIE M. DEPUTTE Bertrand, Professeur</p>	<p>-UNITE D'HISTOLOGIE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE M. FONTAINE Jean-Jacques, Professeur * Mme BERNEX Florence, Maître de conférences Mme CORDONNIER-LEFORT Nathalie, Maître de conférences M. REYES GOMEZ Edouard, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE DE VIROLOGIE M. ELOIT Marc, Professeur * Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE GENETIQUE MEDICALE ET MOLECULAIRE M. PANTHIER Jean-Jacques, Professeur Mme ABITBOL Marie, Maître de conférences*</p> <p>- UNITE DE BIOCHIMIE M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences* M. BELLIER Sylvain, Maître de conférences</p> <p>- DISCIPLINE : ANGLAIS Mme CONAN Muriel, Professeur certifié</p> <p>- DISCIPLINE : EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE M. PHILIPS, Professeur certifié</p>
---	---

DEPARTEMENT D'ELEVAGE ET DE PATHOLOGIE DES EQUIDES ET DES CARNIVORES (DEPEC)

Chef du département : M. POLACK Bruno, Maître de conférences - Adjoint : M. BLOT Stéphane, Professeur

<p>- UNITE DE MEDECINE M. POUCHELON Jean-Louis, Professeur* Mme CHETBOUL Valérie, Professeur M. BLOT Stéphane, Professeur M. ROSENBERG Charles, Maître de conférences Mme MAUREY Christelle, Maître de conférences Mme BENCHEKROUN Ghita, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE DE CLINIQUE EQUINE M. DENOIX Jean-Marie, Professeur M. AUDIGIE Fabrice, Professeur* Mme GIRAUDET Aude, Praticien hospitalier Mlle CHRISTMANN Undine, Maître de conférences Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Maître de conférences contractuel Mme PRADIER Sophie, Maître de conférences contractuel M. CARNICER David, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, Professeur (rattachée au DPASP) M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences* M. REMY Dominique, Maître de conférences (rattaché au DPASP) M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences (rattachée au DPASP) Mme DEGUILLAUME Laure, Maître de conférences contractuel (rattachée au DPASP)</p> <p>- DISCIPLINE : URGENCE SOINS INTENSIFS Mme Françoise ROUX, Maître de conférences</p>	<p>- UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE M. FAYOLLE Pascal, Professeur * M. MOISSONNIER Pierre, Professeur M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences M. NIEBAUER Gert, Professeur contractuel Mme VIATEAU-DUVAL Véronique, Maître de conférences Mme RAVARY-PLUMIOEN Bérandère, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences M. JARDEL Nicolas, Praticien hospitalier</p> <p>- UNITE D'IMAGERIE MEDICALE Mme BEGON Dominique, Professeur* Mme STAMBOULI Fouzia, Praticien hospitalier</p> <p>- DISCIPLINE : OPHTALMOLOGIE Mme CHAHORY Sabine, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES M. CHERMETTE René, Professeur * M. POLACK Bruno, Maître de conférences M. GUILLOT Jacques, Professeur Mme MARGNAC Geneviève, Maître de conférences Mme HALOS Lénéaig, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. HUBERT Blaise, Praticien hospitalier</p> <p>- UNITE DE MEDECINE DE L'ELEVAGE ET DU SPORT M. GRANDJEAN Dominique, Professeur * Mme YAGUIYAN-COLLIARD Laurence, Maître de conférences contractuel</p> <p>- DISCIPLINE : NUTRITION-ALIMENTATION M. PARAGON Bernard, Professeur</p>
---	---

DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES ET DE LA SANTE PUBLIQUE (DPASP)

Chef du département : M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences - Adjoint : Mme DUFOUR Barbara, Professeur

<p>- UNITE DES MALADIES CONTAGIEUSES M. BENET Jean-Jacques, Professeur* Mme HADDAD/ HOANG-XUAN Nadia, Professeur Mme DUFOUR Barbara, Professeur Melle PRAUD Anne, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE M. BOLNOT François, Maître de conférences * M. CARLIER Vincent, Professeur Mme COLMIN Catherine, Maître de conférences M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Maître de conférences</p> <p>- DISCIPLINE : BIOSTATISTIQUES M. DESQUILBET Loïc, Maître de conférences contractuel</p>	<p>- UNITE DE ZOOTECHNIE, ECONOMIE RURALE M. COURREAU Jean-François, Professeur M. BOSSE Philippe, Professeur Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur Mme LEROY Isabelle, Maître de conférences M. ARNE Pascal, Maître de conférences M. PONTER Andrew, Professeur*</p> <p>- UNITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences * Mme BRUGERE-PICOUX Jeanne, Professeur (rattachée au DSBP) M. MAILLARD Renaud, Maître de conférences M. ADJOU Karim, Maître de conférences M. BELBIS Guillaume, Maître de conférences contractuel</p>
---	---

* Responsable de l'Unité

- REMERCIEMENTS -

Au Professeur de la Faculté de Médecine de Créteil, qui nous fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.

A Monsieur le Professeur Mailhac, Maître de Conférences en Chirurgie, qui a dirigé ma thèse, pour sa disponibilité et ses précieux conseils.

A Madame le Professeur Le Poder, Maître de Conférences en Virologie, assesseur de ma thèse, pour son soutien et sa prévenance.

A Monsieur le Professeur Chermette, Directeur de l'Unité de Parasitologie, pour sa participation à mon travail.

A Monsieur le Docteur Guzylack, pour m'avoir accueilli, conseillé et soutenu durant toute mon étude de terrain.

A toute ma famille pour son soutien permanent et indéfectible tout au long des mes études.

A tous mes camarades avec qui j'ai partagé tant de moments extraordinaires pendant ces années à l'école vétérinaire.

A ma fiancée, Valentine Peltier, pour les corrections et conseils qu'elle a su apporter pour cette thèse et pour le bonheur qu'elle me procure chaque jour.

A mes grand-pères René et Bernard, qui n'auront malheureusement pas eu la joie de me voir obtenir le titre de Docteur Vétérinaire. Cela comptait énormément pour eux et je leur dédie ce travail.

- TABLE DES MATIERES -

Introduction.....	5
Première Partie : Monographie d’Haliotis tuberculata	7
I. Systématique	7
II. Anatomie	9
A. La coquille.....	9
1. Conformation de la coquille.....	9
2. Constitution de la coquille.....	10
B. Les éléments mous	11
1. Présentation générale.....	11
2. Etude particulière	12
III. Biologie generale.....	14
A. Ecologie.....	14
1. Habitat	14
2. Répartition géographique	14
B. Vie de relation de l’ormeau.....	15
1. Organes sensoriels.....	15
2. Système nerveux	17
3. Mode de défense.....	21
4. Les déplacements	21
C. Alimentation.....	22
1. Prélèvement de la nourriture	22
2. Le tube digestif.....	22
3. Digestion et absorption.....	25
D. Respiration et Circulation.....	26
1. Respiration	26
2. Circulation.....	28
E. Excrétion	31
1. Reins.....	31
2. Formation de l’urine.....	31
F. Prédateurs et parasites	32
G. Reproduction	33
1. Organes reproducteurs.....	33

2.	Acquisition de la maturité sexuelle	33
3.	Cas d’hermaphrodisme juvénile.....	33
4.	Histologie des phénomènes de gamétogénèse	34
5.	Cycle annuel d’émission des gamètes	34
6.	Emission des gamètes et fécondation.....	35
7.	Développement larvaire et croissance.....	36
H.	Croissance	37
	Deuxième Partie : Etude de terrain.....	39
I.	Objectifs de l’étude	39
II.	Contexte de l’étude.....	41
A.	Contexte sénégalais sous l’égide de l’ambassade française.....	41
B.	Présentation du Parc National des Iles de la Madeleine.....	43
III.	Etude réalisée	45
A.	Réalisation de la cartographie et du balisage des fonds marins du parc	45
1.	Etat initial des connaissances	45
2.	Méthodes de cartographie sous-marine.....	46
3.	Fabrication du matériel nécessaire	67
4.	Entraînements à la réalisation de cartographie sous-marine	72
B.	Comptage des ormeaux	74
1.	Méthode de comptage	74
2.	Fabrication du matériel nécessaire	76
3.	Premiers essais en mer	78
C.	Composition de l’équipe de plongeurs et planification des plongées	78
1.	Composition et formation de l’équipe de plongée	78
2.	Planification des plongées.....	79
D.	Suivi de récifs artificiels.....	84
E.	Discussion	86
1.	Difficultés rencontrées	86
2.	Conclusion de l’étude.....	89
	Conclusion	91

- TABLE DES ILLUSTRATIONS -

<u>Figure 1</u> : Face supérieure d'une coquille d' <i>Haliotis</i> (Nicolas Jouault).....	9
<u>Figure 2</u> : Intérieur d'une coquille d' <i>Haliotis</i> (Nicolas Jouault)	10
<u>Figure 3</u> : Ormeau vu du dessus coquille enlevée	11
<u>Figure 4</u> : Ormeau vu du dessous pied appliqué contre une vitre (http://www.atlantisaquarium.net/images/abalone.jpg)	12
<u>Figure 5</u> : A gauche, papille du tentacule céphalique d' <i>Haliotis</i> . A droite, lobule nerveux	16
<u>Figure 6</u> : Coupe longitudinale de l'oeil d' <i>Haliotis</i> , oeil à cavité ouverte	17
<u>Figure 7</u> : Disposition du système nerveux d' <i>Haliotis tuberculata</i> [13]	19
<u>Figure 8</u> : Radula rhipidoglosse [13].....	23
<u>Figure 9</u> : Vue latérale d'une paire de filaments de la cténiédie gauche chez <i>Haliotis tuberculata</i> [13].....	26
<u>Figure 10</u> : Trajets en sens contraires du sang et de l'eau et maintien.....	27
<u>Figure 11</u> : Appareil ciculatoire d' <i>Haliotis</i> [13]	30
<u>Figure 12</u> : Schéma du développement et de la croissance de l'ormeau en liaison avec l'habitat, la vulnérabilité et la dissémination.	38
<u>Figure 13</u> : Carte du Parc National des Iles de la Madeleine.	43
<u>Figure 14</u> : Photographie des Iles de la Madeleine depuis Dakar.	44
<u>Figure 15</u> : Photographie de l'île Lougne depuis l'île Sarpan.....	44
<u>Figure 16</u> : Photo des sonars DF 1000 de la société Edgetech utilisés par Ifremer/Genavir (source : L'application du Sonar à balayage latéral (SBL) pour la cartographie des habitats marins en domaine subtidal par A. EHRHOLD).....	47
<u>Figure 17</u> : Schéma d'un poisson sonar tracté en position de balayage au-dessus du fond (source : L'application du Sonar à balayage latéral (SBL) pour la cartographie des habitats marins en domaine subtidal par A. EHRHOLD).....	47
<u>Figure 18</u> : Schéma d'une bouée grenade lestée à un kg (source : Jean de Vaugelas [11])	49
<u>Figure 19</u> : Schéma d'une balise mobile avec filin gradué et lestée à 1 kg (source : Jean de Vaugelas [11]).....	49
<u>Figure 20</u> : Etape 1 de la cartographie des fonds marins (source : Jean De Vaugelas, Aquascience [11])	52
<u>Figure 21</u> : Etape 2 de la cartographie des fonds marins (source : Jean De Vaugelas, Aquascience [11])	54
<u>Figure 22</u> : Etape 3 de la cartographie des fonds marins (source : Jean De Vaugelas, Aquascience [11])	55
<u>Figure 23</u> : Etape 4 de la cartographie des fonds marins (source : Jean De Vaugelas, Aquascience [11])	56

<u>Figure 24</u> : Feuille de dessin polyester préparé à l'avance pour le relevé topographique (source : Jean de Vaugelas, Aquascience [11]).....	58
<u>Figure 25</u> : Exemple de relevé topographique sur l'ardoise de plongée (source : Jean De vaugelas, Aquascience [11])	59
<u>Figure 26</u> : Tableau représentant la liste de matériel par plongeur pour effectuer l'opération de cartographie des fonds marins	63
<u>Figure 27</u> : Schéma des premières étapes de cartographie des fonds marins dans la baie des phoques	65
<u>Figure 28</u> : Schéma des étapes de relevé topographique pour une zone de 5 m ²	66
<u>Figure 29</u> : Photographies des différentes étapes de fabrication des ardoises de plongée.	68
<u>Figure 30</u> : Photographie d'une ardoise de plongée terminée.....	69
<u>Figure 31</u> : Photographie des différentes étapes de fabrication des bobines de fil.	71
<u>Figure 32</u> : Photographie d'une bobine de fil après ajustement et mise en place du fil nylon 1mm.....	72
<u>Figure 33</u> : Photographies des entraînements à terre à la réalisation de tracés topographiques.	73
<u>Figure 34</u> : Schéma des cadres de comptage (distance en millimètres).	76
<u>Figure 35</u> : Photographies des différentes étapes de fabrication des cadres de comptage.	77
<u>Figure 36</u> : Tableau d'organisation des plongées en fonction des moyens et conditions nécessaires.	81
<u>Figure 37</u> : Schéma de récifs artificiels en béton (modèles Comin et Bonna).....	84
<u>Figure 38</u> : Photographies de la mise en place de récifs artificiels au Sénégal.....	85
<u>Figure 39</u> : Tableau présentant les principales difficultés s'opposant à la réalisation de plongées régulières.	88

INTRODUCTION

L'ormeau est un coquillage appartenant à la classe des gastéropodes et il en existe de nombreuses espèces que l'on peut rencontrer dans beaucoup de régions du monde. *Haliotis tuberculata* est une de ces espèces, on la rencontre depuis les côtes bretonnes jusqu'en Afrique, plus précisément au Sénégal.

L'ormeau est un met très prisé, notamment en Asie où sa valeur marchande est importante. Une pêche intense et des élevages de grandes tailles alimentent ce marché. Les ormeaux sont l'objet de nombreuses études, certaines visent à suivre l'évolution des populations des différentes espèces et à réglementer la pêche en conséquence, d'autres ont pour objectif d'augmenter la productivité des élevages.

L'ormeau est pêché au Sénégal puis pour la plus grande part exporté. Bien qu'il soit une ressource importante pour de nombreux pêcheurs, aucune étude n'a porté sur le recensement des populations d'*Haliotis* au Sénégal et bien que plusieurs plongeurs affirment que les ormeaux sont nombreux aucun chiffre ne peut être avancé.

Il apparaît nécessaire de connaître les impacts de la pêche sur les populations d'ormeaux, d'une part afin d'assurer une bonne gestion de la ressource assurant la pérennité de l'espèce, et d'autre part, d'assurer une ressource économique stable pour de nombreux pêcheurs dépendant de l'ormeau.

L'objectif de mon travail était donc de mettre en place un protocole d'étude de la dynamique de population des ormeaux au large de Dakar au Sénégal. J'ai effectué mon travail sous l'égide du Ministère des Affaires Etrangères français et en collaboration avec Stéphane Guzylack, vétérinaire français et conseiller auprès des parcs nationaux sénégalais.

Au long de ce mémoire de thèse, je propose dans un premier temps une grande monographie de l'espèce *Haliotis tuberculata* dans laquelle j'aborde sa systématique, son anatomie ainsi que sa biologie générale. Dans un deuxième temps je décris l'étude que j'ai réalisée en présentant plus précisément mes objectifs, le contexte dans lequel j'ai effectué ce travail, les méthodes que j'ai été amené à développer, les difficultés que j'ai rencontrées et les résultats que j'ai finalement obtenus.

Première Partie : MONOGRAPHIE D'HALIOTIS TUBERCULATA

I. SYSTEMATIQUE

L'orveau fait partie de l'Embranchement des Mollusques, Classe des Gastéropodes, Sous-Classe des Prosobranches. Les Prosobranches sont caractérisés par la disposition antérieure de la cavité palléale ; les branchies sont situées en avant du cœur, d'où leur nom.

Leur chaîne nerveuse montre le croisement en X caractéristique et, on les appelle parfois Streptoneures. Ce sont les Gastéropodes les plus primitifs. Les sexes sont séparés.

Les premiers caractères qui furent utilisés pour subdiviser les Prosobranches furent ceux des cténidies. En effet, Cuvier (1817) proposa les termes de Scutibranches, Pectinibranches et Cyclobranches pour désigner les formes où les cténidies étaient respectivement bipectinées, monopectinées ou disposées en cercle autour du pied. Par la suite, la considération du cœur conduisit à établir les deux grands groupes des Diotocardes dont le cœur présente deux oreillettes, et des Monotocardes dont le cœur ne possède qu'une oreillette. Ces deux groupes devaient être subdivisés ultérieurement en d'autres ensembles qui tenaient des caractères de la radula. Dans cette classification, les orveaux feraient partie des Diotocardes, c'est-à-dire que le cœur possède deux oreillettes flanquant le ventricule. Cette classification (Pelseneer, 1906) très pratique ne traduit cependant pas l'aspect évolutif de l'histoire des Prosobranches et Thiele (1929), suivi par Wenz (1938 – 1944), abandonnant ces termes, divisent les Prosobranches en trois groupes :

- Archaeogastropoda (=Diotocardes)
- Mesogastropoda
- Neogastropoda

Les Mesogastropoda et Neogastropoda correspondent aux Monotocardes.

L'orveau fait donc partie de l'Ordre des Archaeogastropoda qui regroupe des Mollusques qui ont conservé des caractères primitifs et possèdent des coquilles de formes très variables, spiralée, patelliforme, ou en capuchon. Le cœur présente deux oreillettes et le ventricule est généralement traversé par le rectum dans cet Ordre. Il y a deux reins. Les branchies sont bipectinées, portant deux rangées latérales de filaments (on les nomme encore aspido-branchies). Il n'y a pas d'organe d'accouplement et le système nerveux est encore très primitif, peu condensé : les ganglions pédieux, peu individualisés, sont chacun représentés par une sorte de cordon.

On sépare l'Ordre des Archaeogastropoda en deux Sous-Ordres : les Azygobranches dont les trochus n'ont qu'une branchie et les Zygobranches (Ihering 1876) (ou pleurotomarioidea :

Swainson 1840) qui ont deux branchies et dont la coquille possède une échancrure facilitant la sortie de l'eau de la cavité palléale. L'ormeau appartient au sous-ordre des Zygobranches.

L'ormeau fait partie de la Famille des Haliotidae (Rafinesque, 1815). Il présente une coquille auriforme, nacrée à l'intérieur, de peu de tours à croissance rapide dont le dernier s'orne d'une série de perforations correspondant au déplacement de la fente pleurotomarienne au cours de la croissance et qui s'oblitérent successivement. Il n'y a pas d'opercule. La cavité palléale est fortement échancrée sous les perforations. La radula est rhipidoglosse. Les deux branchies sont fortement inégales, de même que les deux reins.

Dans tout ce groupe, le système nerveux se rapproche de celui des Amphineures dont dérivent certainement les Gastéropodes : les cordons palléaux sont concentrés en ganglions palléaux, d'où part la chaîne nerveuse croisée, tandis que les cordons pédieux subsistent et se concentrent progressivement en ganglions pédieux.

Le Genre *Haliotis* a été créé par Linné et accepté depuis par tous les zoologistes. Il est divisé en de très nombreuses espèces.

Les plus connues sont :

- ✚ *Haliotis tuberculata*, sur les côtes Normandes et Bretonnes et d'Afrique (jusqu'au Sénégal) ; (variété *lamellosa* sur les côtes méditerranéennes),
- ✚ *Haliotis marmorata*, sur les côtes d'Afrique de l'Ouest,
- ✚ *Haliotis rufescens* ou ormeau rouge, sur les côtes californiennes en particulier,
- ✚ *Haliotis fulgens* ou ormeau vert,
- ✚ *Haliotis cracherodii* ou ormeau noir,
- ✚ *Haliotis diversicolor*, *Haliotis discus*, *Haliotis gigantea*, *Haliotis sielboldi*, au Japon,
- ✚ *Haliotis kamatschatkana* en Colombie britannique.

L'essentiel : Position taxonomique de l'ormeau

- ✓ **Embranchement** : Mollusques
- ✓ **Classe** : Gastéropodes
- ✓ **Sous-Classe** : Prosobranches
- ✓ **Ordre** : Archaeogastropoda
- ✓ **Sous-Ordre** : Zygobranches
- ✓ **Famille** : Haliotidae
- ✓ **Genre** : Haliotis

II. ANATOMIE

A. La coquille

1. Conformation de la coquille

a. Face externe

L'ormeau tire son nom de la contraction de « oreille de mer » faisant ainsi allusion à sa forme ovoïde allongée, ressemblant à celle d'une oreille humaine. La coquille est large et aplatie, nacrée en dedans, recouvrante, ovale ou arrondie, à spires petites, peu saillante, inclinée postérieurement et à droite (figure 1).

Figure 1 : Face supérieure d'une coquille d'*Haliotis* (Nicolas Jouault)



L'ouverture est presque aussi grande que la coquille, à bords continus : le droit, mince et tranchant, le gauche, épais, solide, réfléchi à l'intérieur. Le sommet de la coquille est perforé d'une série d'orifices, parallèles au bord gauche, dont un certain nombre seulement reste ouvert au-dessus de la cavité branchiale. Ces orifices permettent la sortie du courant d'eau qui a circulé dans la cavité palléale et distribué l'oxygène. De nouveaux orifices s'ouvrent au fur et à mesure de la croissance de la coquille, les anciens se bouchant pour former une rangée d'excroissances.

b. Face interne

L'intérieur de la coquille est nacré (figure 2). On y voit une seule impression musculaire, subcentrale, circulaire ou ovale, correspondant à l'insertion du pied.

Figure 2 : Intérieur d'une coquille d'*Haliotis* (Nicolas Jouault)



2. Constitution de la coquille

La coquille est constituée de trois couches :

Une couche de nacre sur la face interne, formée de carbonate de chaux et de conchyoline.

La nacre est sécrétée par toute la face interne du manteau et sert à épaissir la coquille,

Une couche moyenne, appelée émail, formée de petits prismes de calcaire,

Une couche externe, la cuticule.

Ces deux dernières couches sont produites par les bords du manteau et servent à l'allongement de l'animal.

<u>L'essentiel</u> : La coquille
Elle est large et aplatie, ressemblant à une oreille humaine. Elle est nacrée à l'intérieur et présente sur le dessus une série d'orifices.

B. Les éléments mous

1. Présentation générale

Tous les organes de l'ormeau sont organisés autour de la cavité palléale dans laquelle circule un courant d'eau (figure 3). Le pied, musculeux permet la fixation au support (figure 4).

Figure 3 : Ormeau vu du dessus coquille enlevée

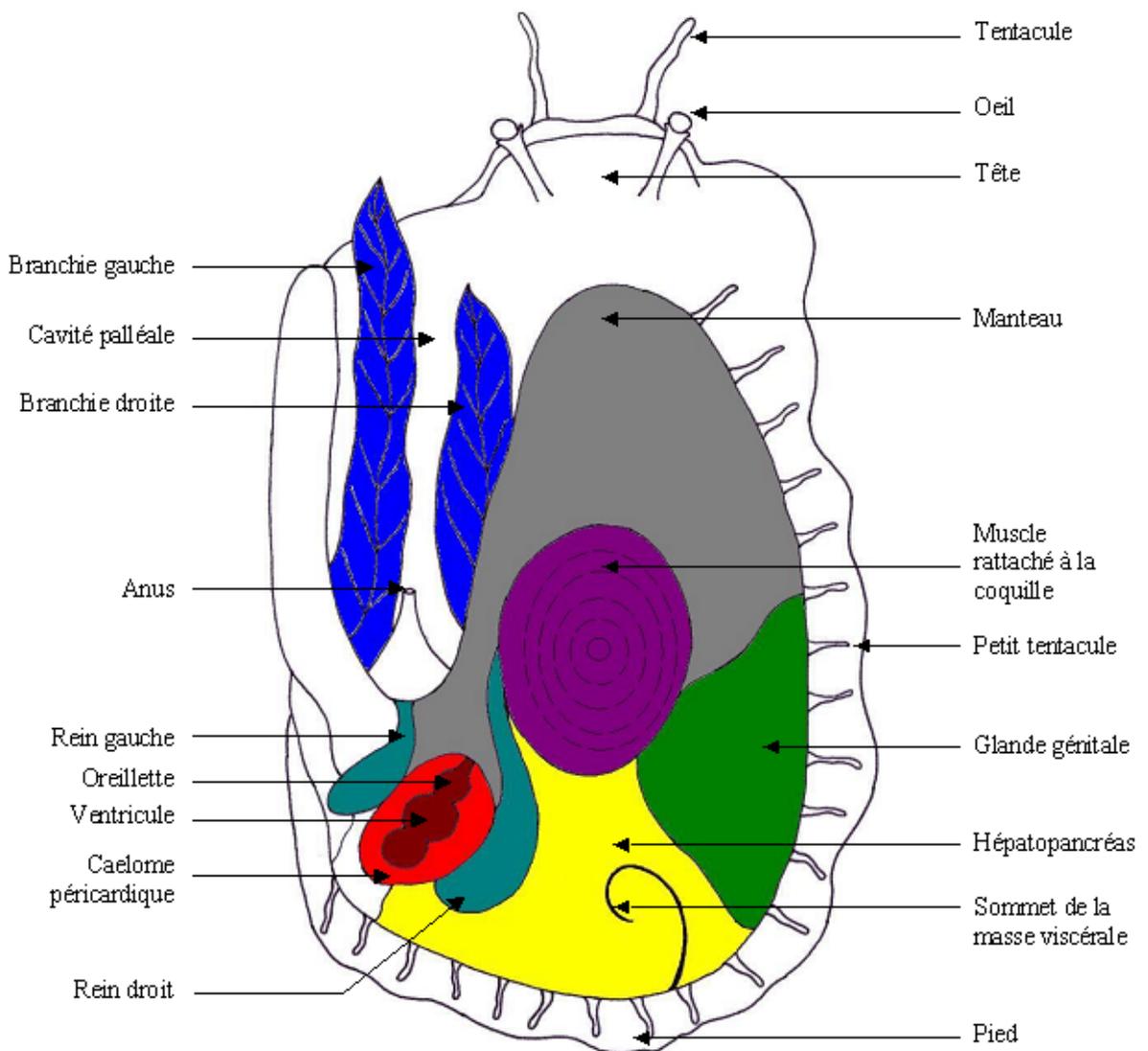
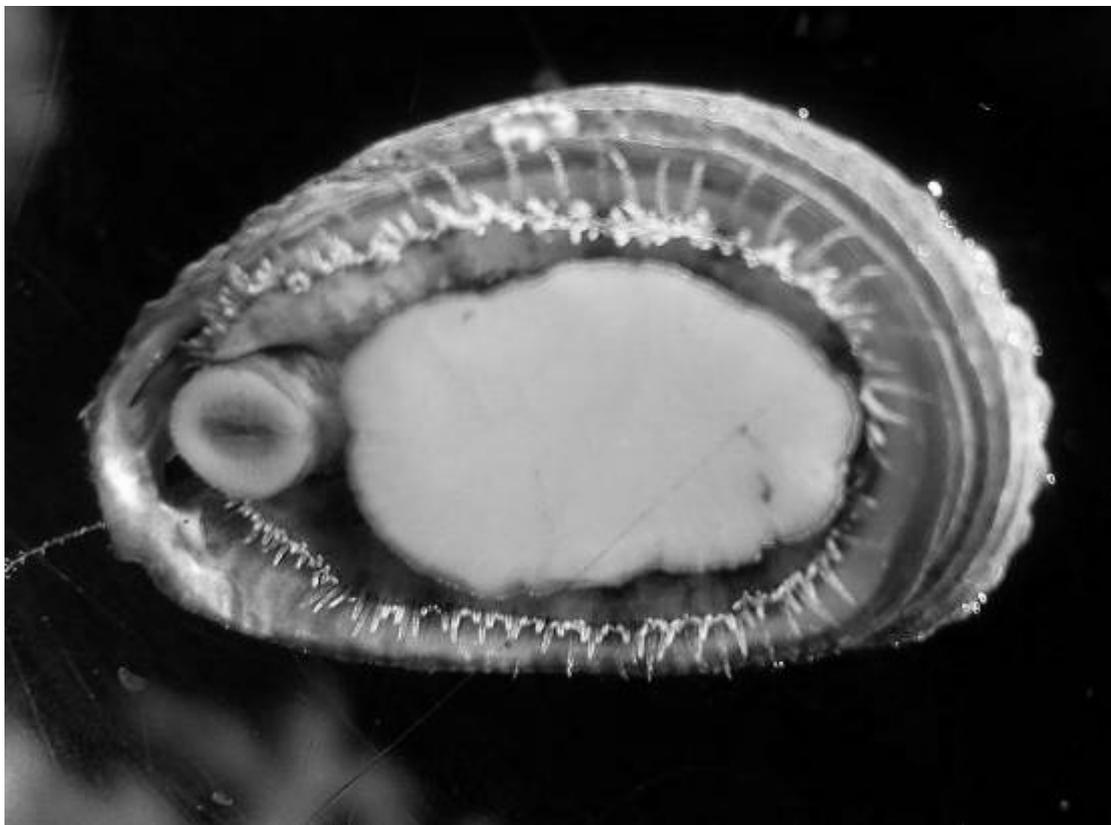


Figure 4 : Ormeau vu du dessous pied appliqué contre une vitre
(<http://www.atlantisaquarium.net/images/abalone.jpg>)



2. Etude particulière

a. Organisation externe

La tête présente une trompe très réduite et a en dessus une paire de grands tentacules sensoriels coniques finement ciliés et une paire d'yeux. Ces yeux sont placés au sommet de tubercules coniques situés au côté externe du tentacule.

Le manteau sécrète la coquille et porte sur ses bords de petits tentacules sensoriels. Il est simple, fendu en avant et à gauche, au-dessus de la cavité branchiale.

Le pied est très musclé, large, épais vers le centre, aminci sur les bords et porte une large expansion chargée d'ornements divers et un grand nombre de tentacules. Il y a deux muscles, mais ici le muscle gauche, comme chez les Scissurelles, n'est représenté que par un faible ligament. De chaque côté du pied, il apparaît comme un repli continu, fréquemment compliqué de longues papilles ou tentacules. Ces replis sont très développés dans le genre *Haliotis*. Le pied est revêtu d'un épithélium qui se compose sur la sole de hautes cellules ciliées placées sur une basale qui surmonte un conjonctif parcouru par de nombreuses fibres musculaires. Le système glandulaire, très important, comprend un système de glandes unicellulaires plus profondes à mucocytes à long col.

Les glandes hypobranchiales correspondent à des champs glandulaires situés au voisinage des cténidies. Elles élaborent du mucus destiné à agglomérer les particules en suspension et les déchets afin d'en faciliter l'évacuation. Elles produisent aussi des substances protéiques, des pigments.

Les osphradies sont des différenciations tégumentaires à récepteurs sensoriels qui sont associées aux cténidies. Ce sont des organes olfactifs et à même d'apprécier la teneur de l'eau en sédiments. L'osphradie se présente comme un bourrelet placé contre l'axe cténidial. Histologiquement, c'est une zone épithéliale différenciée en cellules muqueuses, ciliées et sensorielles qui se situe au-dessus du ganglion ou du nerf osphradial.

b. Organisation interne

Le système nerveux se caractérise par la disposition en huit de chiffre de la commissure viscérale. Il est assez primitif et les ganglions ne sont pas bien individualisés.

La gonade est une glande en grappe. Elle enveloppe la glande digestive dans l'appendice conique, situé du côté droit de l'animal. Chez les adultes, elle peut également remonter du côté gauche jusqu'à la branchie, en longeant le gros muscle de la coquille et en recouvrant la masse viscérale.

Il faut noter que les ormeaux présentent, d'une part, des caractères d'adaptation à la vie fixée sur les rochers battus par les vagues : aplatissement, appendices du manteau passant par des trous et contribuant à la respiration ; d'autre part, des caractères archaïques : deux reins, dont l'un reçoit les produits génitaux, diverses ressemblances avec *Fissurella*, *Pleurotoma*, *Trochus*...

<u>L'essentiel</u> : Les éléments mous
L' <i>Haliotis</i> , comme tous les Gastéropodes se caractérise par un corps en trois parties : tête, pied et masse viscérale. Le pied est particulièrement musclé et permet ainsi une fixation très forte au support. Suite à un développement larvaire particulier, les organes présentent une asymétrie gauche/droite.

III. BIOLOGIE GENERALE

A. Ecologie

1. Habitat

Les mollusques sont habituellement situés dans les fentes des rochers, sur les bords des récifs ou sur les côtés des pierres et des éboulis. Ils sont souvent cachés sous les pierres et on ne les trouve qu'exceptionnellement sur du sable car il obstrue les branchies. L'habitat consiste donc en un substrat dur et stable, abrité de la lumière et situé à faible profondeur. Cependant, dans les sites où l'espèce atteint une forte densité, on a constaté la présence d'individus de grande taille immobiles et exposés sur la roche. D'autre part, de rares ormeaux ont pu être remarqués parmi les algues. Cet état ne s'applique souvent qu'à des spécimens recherchant activement leur nourriture et se déplaçant sur la végétation de manière temporaire. Chez d'autres espèces d'*Haliotis*, les algues peuvent parfois servir de refuge pour les juvéniles.

Il semble que l'ormeau préfère les surfaces de rocher recouvertes d'algues roses encroûtantes « lithotamniée ». Cette surface donne plus de pouvoir d'adhésion aux ormeaux que celles couvertes d'éponges et d'ascidies. Sur beaucoup de rochers entourés par du sable, on ne trouve en effet les ormeaux que sur une mince bande de roche couverte de lithotamniée située immédiatement au-dessus du niveau du sable [20].

Les ormeaux habitent la zone du ressac. Vers 13-14 mètres *Haliotis tuberculata* devient rare. Ceci a été observé dans le PNIM (Parc National des Iles de la Madeleine, Sénégal) mais aussi en Bretagne [20, 3, 7, 8, 14].

Les autres espèces d'*Haliotis* peuvent parfois vivre dans des milieux très différents de celui de *tuberculata*. L'ormeau noir vit dans la zone des embruns, là où les vagues couvrent et découvrent tour à tour les rochers. L'espèce rare et peu connue *Haliotis pourtalesae* (qui vit au large de la Floride) se fixerait à des profondeurs de 100 à près de 400 mètres.

Cependant, la plupart des espèces, vivent en eau superficielle, ne dépassant pas une profondeur d'une vingtaine de mètres, le long des côtes rocheuses. Les densités de population observées varient en fonction des espèces, de la région étudiée et de la pression de pêche exercée. Dans certaines zones on peut atteindre des densités de plusieurs individus par m².

2. Répartition géographique

L'ormeau est rencontré dans la plupart des régions du monde. On le trouve le long des côtes de la méditerranée, de l'Afrique, de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande, dans les îles du Pacifique et le long de la côte Ouest de l'Amérique du Nord. La plupart des espèces de cette famille vivent dans l'Océan Pacifique.

Haliotis tuberculata se trouve sur les côtes de Normandie, Bretagne, Espagne et jusqu'en Afrique. L'ormeau méditerranéen (*Haliotis lamellosa*) n'est qu'une sous-espèce d'*Haliotis tuberculata* avec les sculptures obliques et lamellaires de sa coquille.

L'essentiel : Habitat et répartition

L'habitat consiste généralement en un substrat dur et stable, abrité de la lumière et situé à faible profondeur. La répartition du genre *Haliotis* est mondiale.

B. Vie de relation de l'ormeau

1. Organes sensoriels

Les stimulations tactiles, thermiques, chimiques, statiques et lumineuses sont perçues par des récepteurs groupés en organes parfois très différenciés ou dispersés en divers points du tégument.

a. Récepteurs tactiles et thermiques

Ils existent sur tout le tégument, mais surtout sur les tentacules, le bord du manteau, les parois latérales du pied.

b. Chimiorécepteurs

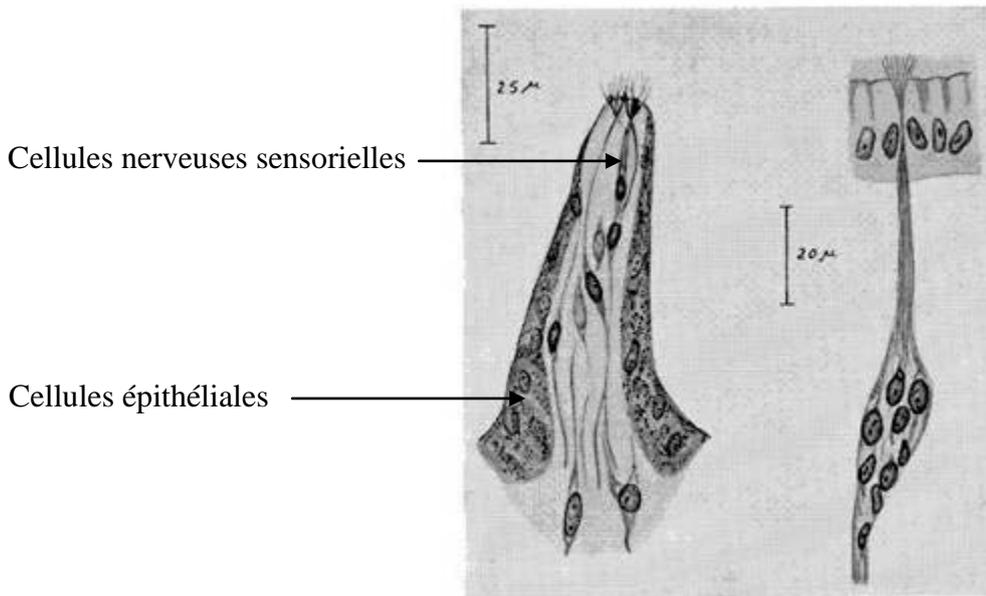
▪ L'osphradie

L'axe de cet organe est occupé par le nerf osphradial. Le bourrelet osphradial d'*Haliotis*, sous lequel passe le nerf osphradial, est recouvert d'un épithélium où coexistent des cellules ciliées, des cellules sécrétrices en urne, des éléments neuro-épithéliaux et des cellules ganglionnaires. Les cellules neuro-épithéliales, à noyaux allongés, sont bipolaires, tripolaires ou multipolaires. La surface sensorielle est large ; de nombreuses cellules ganglionnaires s'intercalent entre le nerf osphradial et l'épithélium.

▪ Chimiorécepteurs tentaculaires

Les cellules sensorielles d'*Haliotis* sont contenues dans des papilles tentaculaires et leurs prolongements distaux réunissent leurs terminaisons en un petit pinceau (figure 5).

Figure 5 : A gauche, papille du tentacule céphalique d'*Haliotis*. A droite, lobule nerveux sensoriel du tentacule céphalique de *Patella* [13]



▪ Statocystes

Ce sont des organes d'équilibration. Les statocystes consistent en des vésicules revêtues d'une couche de tissu conjonctif simple ou à inclusions calcaires dans laquelle peuvent exister des fibres musculaires. Sous ce conjonctif se trouve l'épithélium sensoriel qui limite la statolymphe où baignent une ou plusieurs concrétions : les statolithes. Ces inclusions contiennent surtout du calcaire et une substance organique du type conchyoline.

L'épithélium interne porte ordinairement des cils assez courts contre lesquels se déplacent les concrétions au cours des changements de position des animaux. Cet épithélium, simple, comprend parfois des cellules de soutien. L'innervation de ces organes se fait par les ganglions cérébroïdes, mais dans de nombreux cas, les nerfs statocystiques s'accrochent aux connectifs cérébro-pédonculaires et ils semblent émerger des ganglions pédonculaires.

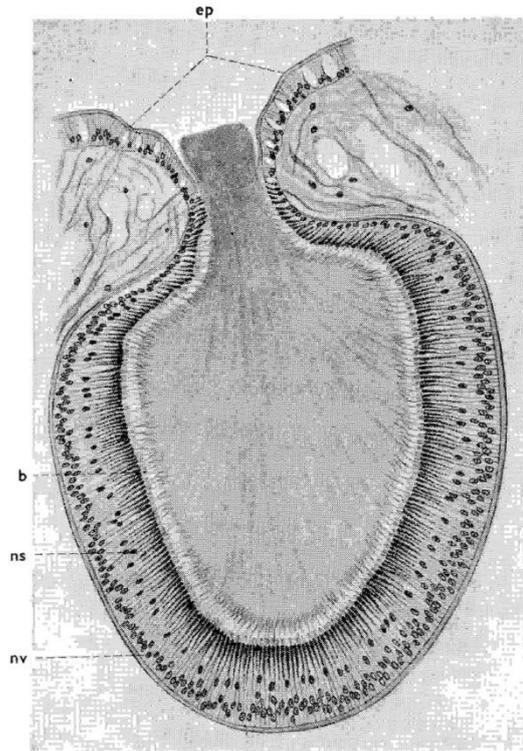
▪ Les yeux

Chez *Haliotis*, l'œil est une invagination ouverte mais remplie par un corps vitré et à ouverture rétrécie (figure 6). L'invagination oculaire est tapissée d'une rétine à deux sortes d'éléments :

- des cellules de soutien,
- des cellules visuelles qui sont les véritables photorécepteurs.

Figure 6 : Coupe longitudinale de l'oeil d'*Haliotis*, oeil à cavité ouverte contenant un corps vitré [13]

b : bâtonnets
ep : épithélium
ns et nv : noyaux des cellules de soutien et visuelle



2. Système nerveux

a. Organisation

Le fait le plus singulier de la disposition du système nerveux chez les Prosobranches est la chiasmaturie ou disposition en huit de chiffre de la commissure nerveuse viscérale.

Le collier périoesophagien se situe au niveau de la masse buccale, en arrière de la bouche. Il unit entre elles six masses ganglionnaires dont deux, les cérébroïdes, sont placées au-dessus de la masse buccale et latéralement. Au-dessous de cette masse buccale et en arrière se trouvent deux ganglions palléaux, l'un droit, l'autre gauche ; qui surmontent les deux ganglions pédieux. La liaison entre ces centres se fait par une commissure cérébroïde, deux connectifs cérébro-palléaux et deux cérébro-pédieux.

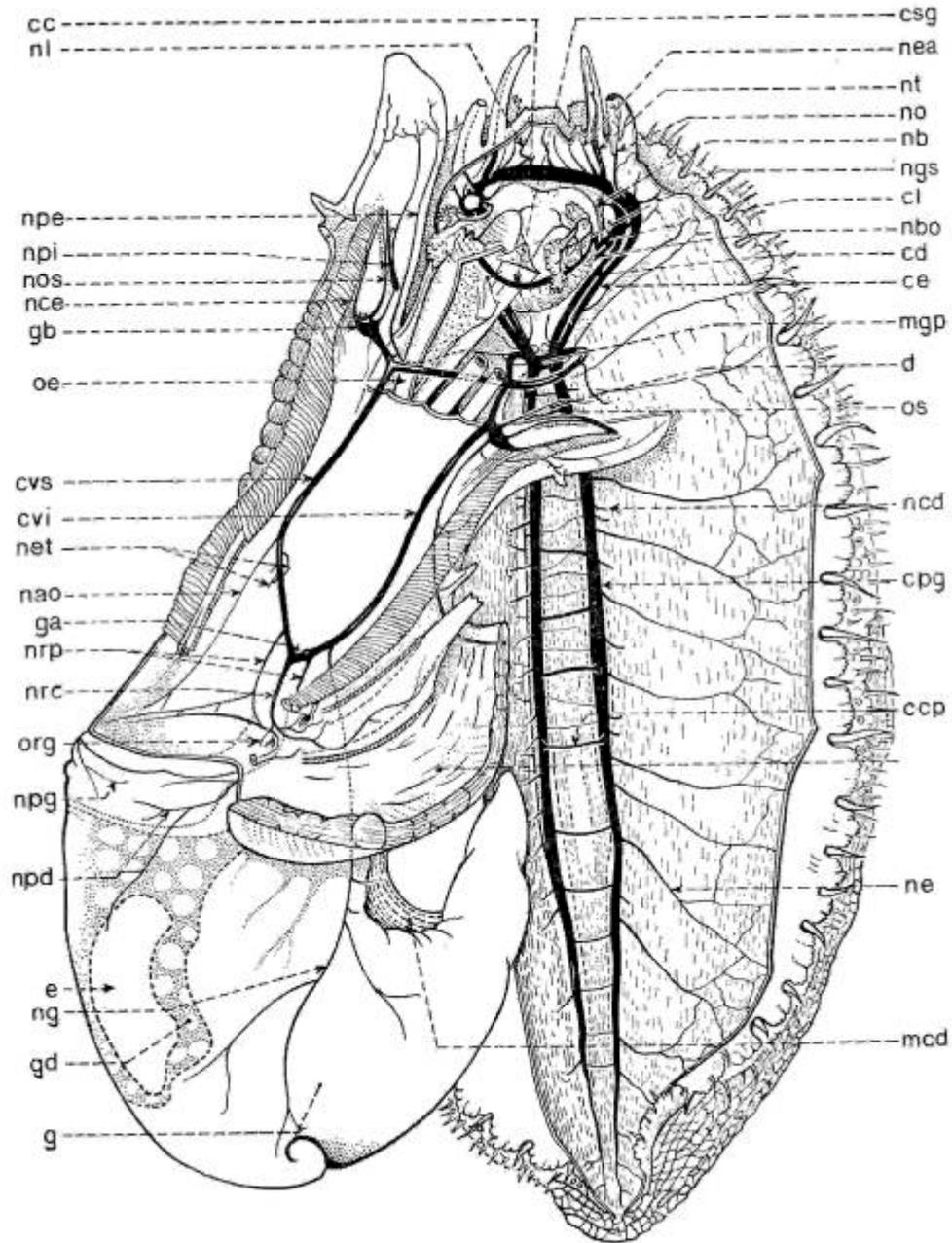
Aucun de ces six centres n'offrent réellement l'aspect de ganglions et de plus les centres pleuro-pédieux d'un côté sont unis à leur homologue de l'autre côté par une forte commissure.

Depuis les ganglions pédieux, s'allongent vers l'arrière deux forts cordons pédieux ganglionnaires qui sont reliés par de nombreuses commissures transversales.

Depuis les ganglions cérébroïdes, un collier périoesophagien antérieur, fin, dilaté ventralement se sépare en deux ganglions labiaux indistincts. Ceux-ci sont reliés par une assez courte commissure labiale et ils sont unis aux cérébroïdes par deux connectifs buccaux.

L'anse viscérale est croisée. Du ganglion palléal droit part le cordon supra-intestinal qui se dirige à gauche, se relie au ganglion branchial gauche, et poursuit sa course jusqu'au ganglion viscéral qui est dorsal à l'intestin postérieur. Du ganglion palléal gauche, part l'autre branche qui se dirige vers l'arrière, de gauche à droite, et rejoint le ganglion viscéral en passant sous la portion antérieure du tube digestif. Un rameau de cette branche gagne le ganglion branchial droit (figure 7).

Figure 7 : Disposition du système nerveux d'*Haliotis tuberculata* [13]



cc, commissure cérébrale ; ccp, commissures reliant les cordons pédieux ganglionnaires cpg ; cd, ce, connectifs cérébro-pédieux et cérébro-pleural ; cl, csg, commissures labiale et stomatogastrique ; cvi, cordon viscéral infra-oesophagien (gauche pré-torsionnel) ; cvs, cordon supra-oesophagien (droit pré-torsionnel) ; d, dialyneurie, ou anastomose du nerf palléal avec le cordon viscéral ; e, estomac ; g, gonade ; ga, ganglion abdominal ; gb, ganglion branchial ; gd, gm ; glandes digestive et muqueuse ; mcd, insertion du muscle coquillier droit ; mgp, masse ganglionnaire pleuro-pédieuse ; nao, nerf aortique et péricardique ; nb, nerf buccal ; nbo, nerf bucco-oesophagien ; ncd, nerf du muscle coquillier droit ; nce, nerf cténidial efférent ; ne, nerf épipodial ; nea, nerf épipodial antérieur ; net, nerfs oesophagiens tégumentaires ; ng, nerf génital ; ngs, nerf des glandes salivaires ; nl, nerf labial ; no, nerf optique ; nos, nerf osphradial ; npd, npg, nerfs péricardiques droit et gauche ; npe, npi, nerfs

palléaux externes et internes ; nrc, nerf rectal ; nrp, nerf réno-péricardique ; nt, nerf tentaculaire ; oe, œsophage ; org, pore rénal gauche ; os, osphradie.

b. Principaux nerfs

▪ Ganglions cérébroïdes

Ils émettent une paire de nerfs tentaculaires, une paire de nerfs optiques, une paire de nerfs statocystiques, une paire de nerfs épipodiaux destinés aux formations épipodiales céphaliques, deux paires de nerfs tégumentaires. Quelques nerfs quittent en outre la commissure cérébrale et se rendent aux lèvres.

▪ Ganglions labiaux

Ils fournissent quatre paires de nerfs aux lèvres ventrales et des nerfs aux muscles du bulbe buccal.

▪ Ganglions buccaux et commissure buccale

Il en part des nerfs destinés à la gaine radulaire, à la membrane radulaire, à la valvule oesophagienne, aux poches oesophagiennes, aux parois de la cavité buccale, aux poches buccales, aux glandes salivaires et oesophagiennes.

▪ Ganglions pleuraux

De ceux-ci naissent deux importants nerfs palléaux qui se ramifient dans les lobes palléaux correspondants et se relient par une anastomose au ganglion branchial du même côté (dialyneurie).

▪ Ganglions pédieux

Ils innervent l'épipodium et ses tentacules, le muscle columellaire et les différentes régions du pied.

▪ Ganglions branchiaux

Ils émettent des nerfs osphradiaux, branchiaux, palléaux internes et tégumentaires. La branche gauche de l'anse viscérale détache un nerf oesophagien, la droite un nerf gonadal ; des deux branches partent des nerfs réno-péricardiques.

▪ Ganglion viscéral

Il fournit un nerf au rectum.

c. Caractères primitifs du système nerveux d'*Haliotis*

Haliotis tuberculata présente un système nerveux primitif caractérisé par :

- Des ganglions très peu différenciés ; les cérébroïdes notamment ne forment qu'une très légère dilatation de l'anneau nerveux,
- Une commissure cérébroïde longue,
- Une commissure labiale,
- Deux nerfs statocystiques indépendants,

- Des ganglions pleuraux très rapprochés des pédieux,
- Des cordons pédieux ganglionnaires s'étendant longuement vers l'arrière et réunis par de nombreuses commissures,
- Une commissure viscérale ne différenciant qu'un ganglion viscéral, mais ni ganglion supra-intestinal, ni sous-intestinal ; par contre elle émet plusieurs nerfs.

Enfin, entre les ganglions branchiaux et les pleuraux du même côté, les seules relations qui existent se font par des anastomoses entre les nerfs qui en naissent.

3. Mode de défense

L'ormeau se dissimule, simplement, dans une fissure ou sous une pierre, évitant la lumière et sortant la nuit.

Inquiété, l'ormeau s'attache à la roche, son pied faisant alors office de ventouse ; les deux muscles principaux du corps exercent une force énorme, jusqu'à 180 kg pour un spécimen de 10 cm de longueur. La puissance adhésive du pied est plus de 4000 fois supérieure au poids de l'animal.

4. Les déplacements

L'ormeau se déplace plutôt la nuit, par des contractions musculaires courant le long du pied et qui le poussent en avant. Tandis que, une partie du pied s'étend, l'autre se fixe au sol à l'aide d'un mucus visqueux, la partie avancée se fixe à son tour pour permettre au reste du corps de suivre. La sole est parcourue par des ondes de contraction animées d'une vitesse constante. Ces ondes sont dites ditaxiques car elles forment une double série, alternant d'un côté à l'autre du pied. Cette manière diffère de celle des patelles et des escargots en ceci que les vagues musculaires passent de part et d'autre du pied, de telle sorte que lorsqu'un côté se déplace l'autre reste fixe.

L'ormeau est très rapide pour un coquillage : on a relevé une vitesse de 5 à 6 mètres à la minute mais aucun ormeau ne saurait accomplir d'une traite ce parcours.

<u>L'essentiel :</u> La vie de relation
L'ormeau, bien qu'étant fixé à un support est capable de déplacements. C'est un animal essentiellement nocturne capable d'appréhender les changements de luminosité (yeux), de composition de l'eau (osphradie), capable aussi de sentir les obstacles de son environnement (tentacules tactiles) ainsi que sa position dans l'espace (statocyste). Son système nerveux reste cependant assez primitif et on est bien loin de la réactivité d'une seiche ou de la capacité cognitive d'une pieuvre. Les moyens essentiels de défense restent la coquille alliée à une fixation très forte sur le support et à la recherche de fissures et fentes pour se cacher durant la journée.

C. Alimentation

1. Prélèvement de la nourriture

L'ormeau est un phytophage et rampe à la surface des rochers, broutant les algues qu'il repère grâce à ses tentacules sensoriels. Il préfère les algues rouges et les laitues de mer vertes, mais il ratisse également des fragments de varech arrachés par les vagues. Les jeunes mangent les formes végétales qui encroûtent les pierres, *Corralina* par exemple.

L'ormeau ne possède pas, contrairement à d'autres Prosobranches, une trompe mais présente uniquement un mufler réduit.

2. Le tube digestif

a. Cavité buccale

Cette cavité, où fait saillie l'odontophore, est délimitée en arrière par les orifices de l'œsophage et du caecum radulaire. Elle est délimitée en avant par les mâchoires, pièces chitineuses ordinairement tranchantes, implantées à son plafond. Entre la bouche et ces mâchoires s'étend le vestibule ou tube buccal, où se poursuivent les plis des lèvres et dont les parois musculeuses sont revêtues d'une mince cuticule et de champs glandulaires. Le vestibule est bien distinct chez les formes dépourvues de trompe comme l'ormeau. La cavité buccale se complique, dans le genre *Haliotis*, d'évaginations latérales : les poches buccales. Elle est tapissée sur ses parois d'une cuticule, de champs glandulaires, mais son plafond est parcouru par deux bourrelets longitudinaux qui prennent leur origine juste en arrière des mâchoires et laissent entre eux une gouttière médio-dorsale : le conduit alimentaire dorsal. Ces formations se prolongent dans l'œsophage. Bourrelets et conduits sont ciliés. C'est dans la cavité buccale que débouchent les conduits des glandes salivaires.

b. Bulbe radulaire et radula

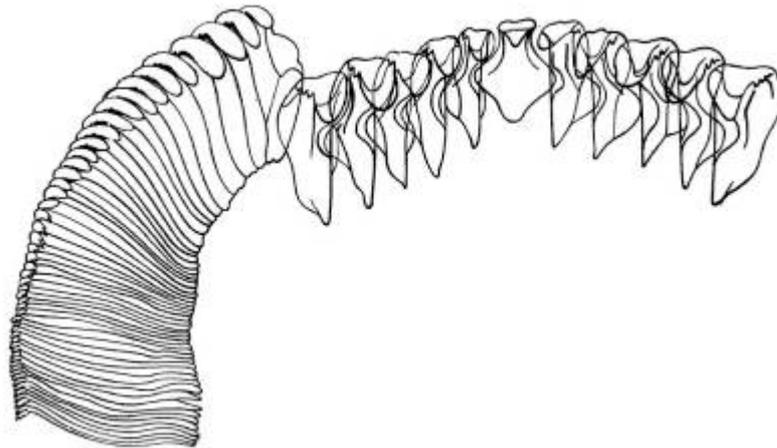
Le bulbe radulaire est un appareil complexe renfermant des cartilages radulaires, sur lequel s'applique la gaine radulaire. Au fond de ce dernier les dents sont élaborées sur une membrane radulaire, qui, sauf à son origine repose sur la membrane subradulaire, cuticule étendue à la surface de l'odontophore. Le plancher de la gaine est donc la partie en contact avec l'odontophore, le plafond se trouvant au-dessous de l'œsophage. L'ouverture de la gaine radulaire n'est séparée de l'œsophage que par une mince lame tégumentaire : la valvule œsophagienne, mais son extrémité postérieure, souvent bifurquée sur une courte distance est, du fait de la courbure de la gaine, située plus profondément vers la face postérieure de l'odontophore.

De nombreux muscles assurent la mobilité de l'odontophore et lui communiquent des mouvements divers, surtout de protraction et de rétraction, grâce auquel l'animal peut porter ses dents au niveau de la bouche, ou au-dehors pour prélever des particules alimentaires et introduire ces particules dans la cavité buccale.

c. Radula

Les dents sont fixées sur la membrane radulaire et sont produites comme celle-ci au fond de la gaine. Elles sont disposées avec régularité sur toute la longueur de la radula en séries longitudinales, toutes les dents d'une même série ayant la même conformation (figure 8). La radula des ormeaux est de type rhipidoglosse, les dents sont nombreuses mais ne portent pas de soies.

Figure 8 : Radula rhipidoglosse [13]



d. Gaine radulaire et élaboration des dents

La gaine radulaire, sous l'œsophage, repose sur la masse de l'odontophore et, par la suite d'un enfoncement médial de sa paroi supérieure, sa lumière est en U sur des coupes transversales. Le caecum que forme la gaine radulaire diminue de diamètre jusqu'au fond souvent bifurqué de celle-ci. C'est justement dans cette dernière région que sont élaborées les dents et la membrane radulaire par des groupes de cellules particulières : les odontoblastes.

L'épithélium du plafond de la gaine n'a pas de caractères notables mais celui du plancher est revêtu, comme les parties adjacentes de la cavité buccale d'une cuticule : la membrane subradulaire.

L'activité des odontoblastes est continue et la radula constamment renouvelée.

e. Glandes salivaires

A la cavité buccale, sont annexées des glandes salivaires qui ont pour rôle essentiel de produire du mucus. Sous le nom de glandes buccales on désigne plutôt des zones de mucocytes sur la face interne des lèvres, les parois de la cavité buccale et dans les poches buccales. Les glandes salivaires ou glandes pharyngiennes sont des formations paires reliées par des conduits courts (en liaison avec l'absence de trompe).

Les glandes salivaires des Zeugobranches ne sont que des poches ou des petits amas de tubules qui débouchent par un court conduit dans la cavité buccale. La structure acineuse est la plus fréquemment observée et les sécrétions sont muqueuses et protéiques.

f. Œsophage

La cavité buccale ou pharynx s'ouvre en arrière, au-dessus de la gaine radulaire, dans l'œsophage, tube relativement court en liaison avec l'absence de trompe dans le genre *Haliotis*. (on observe plutôt un muflle). Sur les côtés de l'œsophage antérieur s'observent en arrière des poches buccales deux évaginations : les poches œsophagiennes qui s'ouvrent dans l'œsophage antérieur par deux fentes longitudinales latérales. Elles présentent des plissements lamelleux et des villosités dans le genre *Haliotis*.

La portion de paroi œsophagienne comprise entre les bourrelets supérieurs et inférieurs s'orne fréquemment de plis transversaux, mais bourrelets et plis disparaissent dans l'œsophage postérieur qui ne montre plus que des plissements longitudinaux modérément accusés.

Chez *Haliotis* plus particulièrement, les deux poches œsophagiennes sont très développées, mais la poche de droite, plus grande que la gauche, s'étend dorsalement vers la gauche, en liaison avec la torsion. L'accroissement de la surface épithéliale se réalise dans les poches œsophagiennes. L'épithélium de l'œsophage antérieur et de l'œsophage moyen comporte des cellules ciliées, en particulier sur les bourrelets et le sillon dorsaux, et des cellules glandulaires.

g. Estomac

Par suite de la disposition en U du tube digestif, l'orientation de l'estomac est l'inverse de celle que l'on peut concevoir chez le Gastéropode pré-torsionnel, car l'œsophage s'y raccorde typiquement vers sa partie inférieure et postérieure, tandis que l'intestin prolonge son extrémité antérieure. Mais les faces supérieures restent respectivement dorsales et ventrales, comme chez le Gastéropode pré-torsionnel. L'estomac s'individualise en une poche qui se situe en arrière de la cavité palléale, vers la base de la masse viscérale. Il reçoit les canaux de la glande digestive et si certains aliments peuvent être dégradés dans sa cavité même, d'autres, après triage, sont conduits dans les diverticules de la glande digestive pour y subir une digestion intracellulaire ou extracellulaire.

L'estomac des Prosobranches se divise en une partie postérieure dilatée où pénètrent les aliments enrobés dans le mucus et une partie antérieure, cylindrique ou conique. Dans la partie globuleuse se produit un brassage des aliments et un triage, les déchets étant dirigés vers une gouttière intestinale ciliée, bordée en principe de deux bourrelets : les typhlosolis qui les acheminent vers l'intestin. Mais triage et conduction des matériaux ne se réalisent que dans des zones déterminées et une bonne partie de la paroi stomacale interne est revêtue d'une cuticule (ou bouclier) gastrique.

Les courants ciliaires produits sur l'aire de triage et sur les typhlosolis accompliraient un tri des matériaux alimentaires et canaliseraient les déchets vers la gouttière intestinale. La cuticule gastrique protège les zones non ciliées de la paroi stomacale.

h. Glande digestive

La glande digestive est typiquement constituée, même dans les stades qui suivent son apparition, par deux lobes, un droit et un gauche, ce dernier devenant d'ordinaire plus développé que le droit. Sa coloration semble être influencée par le régime alimentaire. Entre elle et la gonade s'intercale du tissu conjonctif qui se réduit beaucoup pendant la période de reproduction mais où, en dehors de celle-ci, se localisent des réserves, glycogène en particulier.

C'est une glande tubuleuse composée qui débouche typiquement par deux conduits, correspondant chacun à un lobe, dans l'estomac, les orifices étant voisins.

i. Intestin

Entre l'estomac et l'anus, le tube digestif forme souvent des anses et peut atteindre de la sorte une longueur considérable. L'intestin présente une double enveloppe musculaire : musculature circulaire interne et musculature longitudinale ou oblique externe. Le passage de l'intestin au rectum s'effectue au niveau du cœur qui est traversé par cette partie du tube digestif.

Histologiquement, ces deux portions diffèrent car le rectum comporte un épithélium assez bas, où les cellules montrent une faible activité sécrétrice, alors que la paroi interne de l'intestin est bordée d'un épithélium plus élevé, plus riche en éléments glandulaires, avec des zones d'activité sécrétoires différentes.

3. Digestion et absorption

Les matériaux alimentaires absorbés par les Prosobranches ne subissent pas de transformation profonde jusqu'à ce qu'ils parviennent dans l'estomac. C'est dans cet organe que se produisent les transformations les plus importantes qui précèdent l'absorption aux dépens des matériaux non utilisés ou inutilisables qui constituent les fèces. Là, les particules alimentaires sont brassées, mélangées au fluide stomacal, puis triées. Dans l'estomac, la digestion est extracellulaire et le fluide nutritif qui en résulte est alors poussé dans les tubules de la glande digestive où il est absorbé.

Les matériaux non utilisés dans l'estomac, enrobés de mucus, s'agencent en un cordon stomacal et à ce cordon se joint un second cordon issu de la glande digestive où se sont incorporées les substances de déchets provenant des phénomènes de digestion. C'est à partir de ce cordon mixte que se modèlent les fèces.

L'essentiel : L'alimentation

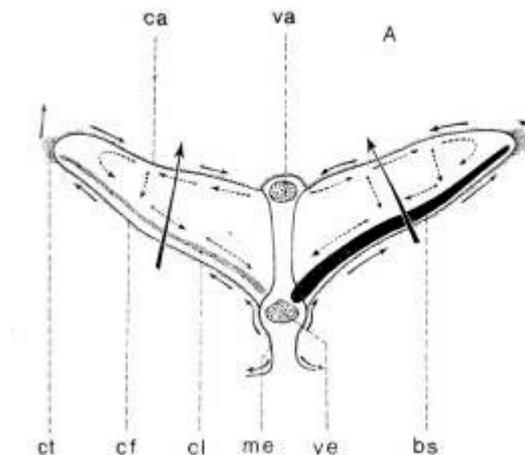
L'ormeau est un herbivore, il broute des algues en utilisant sa radula comme une sorte de râpe. Son tube digestif est relativement long en liaison avec un régime alimentaire phytophage et présente une forme de U à relier aux phénomènes particuliers du développement larvaire. Ce tube digestif présente plusieurs annexes qui participent activement à la digestion. Les fèces sont enrobés de mucus et rejetés dans la cavité palléale d'où ils sont évacués par un courant d'eau créé essentiellement par les mouvements des cils des cténidies.

D. Respiration et Circulation

1. Respiration

La fonction respiratoire est assurée très majoritairement par les cténidies (figure 3), ou branchies même si une grande partie de la surface du corps peut « respirer directement » par diffusion de l'oxygène depuis l'eau vers les tissus. Par leur ciliature, les cténidies assurent la filtration de l'eau entrée dans la cavité palléale et le rejet des particules qui s'y trouvent. Une cténidie se compose d'un axe lamelleux fixé vers le fond de la cavité palléale et qui porte sur ses deux faces une série de filaments branchiaux (feuillet, lamelles branchiales) à contour grossièrement triangulaire (figure 9). Dans l'axe passent deux vaisseaux sanguins, l'un afférent, relié à un sinus veineux, où le courant est centrifuge, l'autre efférent, où le sang circule en direction du cœur. Ce dernier vaisseau se trouve placé vers le plancher de la cavité palléale face au flux inhalant, tandis que le vaisseau afférent est plus voisin de la paroi dorsale de la cavité palléale, de sorte qu'il est atteint par le flux qui a traversé la cténidie.

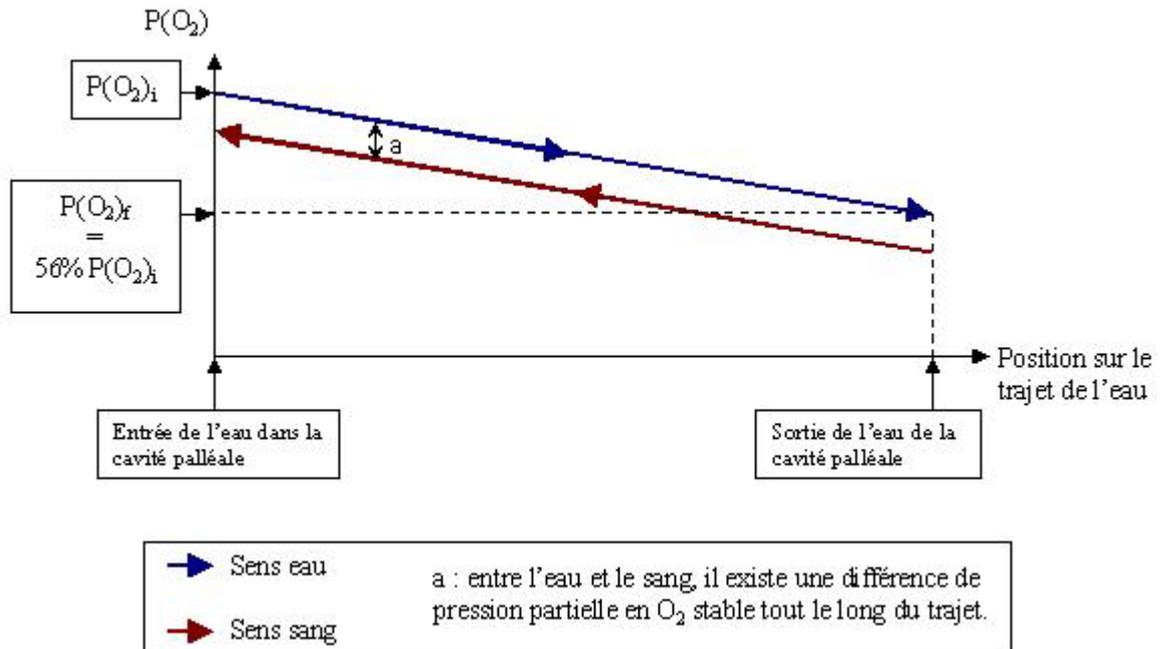
Figure 9 : Vue latérale d'une paire de filaments de la cténidie gauche chez *Haliotis tuberculata* [13]



bs, bague squelettale ; cd, cg, cténidies gauche et droite ; ca, cf, cl, ct, cils abfrontaux, frontaux, latéraux et terminaux ; m, manteau ; ma, me, membranes afférente et efférente ; va, ve, vaisseaux afférent et efférent. Flèches simples : trajet des particules ; grandes flèches : courants respiratoires ; flèches pointillées : trajet du sang.

Cette disposition permet de maintenir une différence de pression partielle en oxygène sur toute la longueur du vaisseau efférent et ainsi une diffusion de l'oxygène depuis l'eau où sa pression partielle est plus importante vers le sang (figure 10).

Figure 10 : Trajets en sens contraires du sang et de l'eau et maintien de la différence de pression partielle en O₂



La quantité d'oxygène extraite de l'eau est de 56% chez *Haliotis*. La consommation en oxygène varie avec la température, la salinité et la teneur de l'eau en oxygène.

L'axe branchial, ou rachis, est relié à la paroi latéro-ventrale et à la paroi latéro-dorsale de la cavité palléale par une membrane de soutien plus ou moins étendue qui laisse libre l'extrémité de la cténidie. Les filaments branchiaux parallèles entre eux, perpendiculaires à la lamelle axiale, sont séparés par les espaces que franchit l'eau. Ils diminuent de taille en direction de l'extrémité de la cténidie. Leur ciliature comprend notamment (figure 7) : a) les cils frontaux, sur le bord des feuillets (ou filaments) que vient frapper le flux venu de l'extérieur ; b) les cils abfrontaux, sur le bord opposé des feuillets ; c) les cils latéraux, répartis selon des bandes allongées sur les deux faces de chaque feuillet. C'est le battement de ces derniers qui engendre entre les feuillets adjacents le courant qui, dirigé de la partie infrabrancheiale de la cavité palléale à la partie suprabrancheiale, crée l'appel d'eau dans cette cavité.

Les espèces du genre *Haliotis* présentent des cténidies bipectinées, à double rangée de feuillets branchiaux qui possèdent un important degré de mobilité.

L'essentiel : La respiration

La respiration s'effectue essentiellement au niveau des branchies ou cténidies dont la très grande surface autorise les échanges gazeux. Ces échanges sont facilités par le maintien d'un gradient de pression partielle en O₂ et CO₂, en effet le sang dans les branchies circule en sens inverse de l'eau dans la cavité palléale.

2. Circulation

a. Anatomie de l'appareil circulatoire

Toujours affecté par la torsion, l'appareil circulatoire des Prosobranches consiste en un cœur enclos dans un péricarde, en artères et en veines sur le trajet desquelles s'intercalent les reins et les cténidies.

Du cœur qui est placé vers la jonction de la masse viscérale et du céphalopodium, au fond de la cavité palléale, non loin de la base des cténidies partent :

Une aorte céphalique ou antérieure destinée au céphalopodium.

Une aorte abdominale ou postérieure qui gagne la glande digestive et la gonade où elle se ramifie.

L'aorte céphalique franchit un septum transverse à hauteur du passage de l'œsophage moyen à l'œsophage postérieur, se dilate dans la région du bulbe buccal et le sang qu'elle contient est distribué à plusieurs espaces céphaliques, ainsi qu'à des artères pédieuses.

Tout ce sang parvient ensuite dans un sinus collecteur postérieur au septum transverse et il est conduit aux cténidies en passant par le rein droit. Le retour au cœur s'effectue par des vaisseaux cténidiaux efférents qui aboutissent aux oreillettes.

La seconde voie aortique, celle de l'aorte abdominale ou viscérale, implique après le passage du sang dans les espaces ou sinus viscéraux la traversée du rein droit. Du rein, la plus grande partie du sang gagne les cténidies.

Chez les Prosobranches, le cœur est, par suite de la torsion, orienté de telle sorte que les aortes naissent le plus souvent à sa partie postérieure, isolément ou sous forme d'un bulbe aortique. Toutefois, le ventricule d'*Haliotis* émet une aorte par chacune de ses extrémités. Dans cette même forme, le cœur est disposé obliquement de haut en bas et de droite à gauche.

Le rectum traverse le ventricule, ce qui se réalise au cours du développement par extension, puis fusion, des bords du ventricule autour de lui. Les oreillettes accolées au ventricule y débouchent par un orifice muni d'une ou de deux valvules destinées à empêcher le reflux du sang.

La paroi du ventricule, épaisse, comporte de nombreuses et fines fibres musculaires grossièrement longitudinales, circulaires, obliques et d'aspect strié. Celle des oreillettes, notablement plus mince, contient beaucoup moins d'éléments contractiles.

Les artères ont des parois musculeuses et les veines, de calibres variés, mais à parois plus minces, sont tapissées intérieurement, comme les artères principales, d'un mince endothélium. Les fines ramifications de ces deux catégories de vaisseau méritent le nom de capillaires.

Quant aux sinus sanguins, ce sont des espaces sans forme définie, plus ou moins vastes, entre les organes et ils ne sont pas limités par un endothélium. Le sang qui y parvient baigne aussi directement les muscles, les organes, les glandes ou les éléments nerveux.

b. La circulation du sang

Chez *Haliotis*, un tronc aortique commun quitte l'extrémité inférieure du ventricule et se bifurque en une aorte céphalique et une aorte viscérale, alors qu'à son extrémité supérieure naît une artère palléale supérieure. A peine sortie du cœur, cette dernière se bifurque en deux branches qui suivent les bords de la fente palléale (figure 11). Elle irrigue la glande hypobranchiale, une partie du manteau et devient un réseau de fins vaisseaux dont certains vont jusqu'aux tentacules.

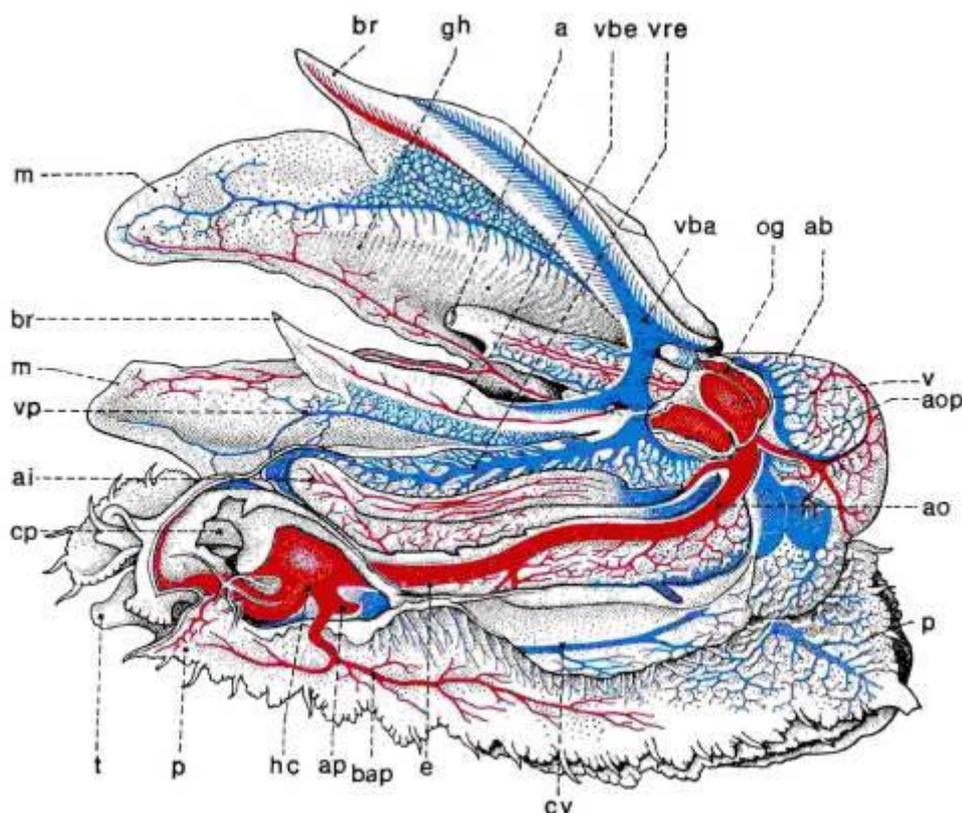
L'aorte viscérale s'insinue entre l'intestin et la glande digestive ; elle apporte du sang à ces organes ainsi qu'à la glande génitale. De la partie initiale de l'aorte céphalique se détache une artère génitale qui irrigue non seulement la gonade, mais aussi la glande digestive et le manteau. Au-delà de l'origine de cette artère, l'aorte fournit de nombreuses branches à l'estomac, à l'œsophage, à l'intestin, puis elle se dilate brusquement au niveau du bulbe buccal en un vaste sinus délimité en haut par le plancher de l'œsophage, sur les côtés par les poches latérales, en avant par une membrane incomplète par où le sang peut gagner les muscles de la trompe et de la radula. A la face dorsale, ce sinus n'atteint que la valvule œsophagienne, mais, à la face ventrale, il se continue en lacunes au-delà du bulbe. Ce sinus englobe ainsi l'appareil radulaire et le sang pénètre même entre le cartilage et les muscles. A sa face ventrale, ce sinus est creusé d'un orifice qui marque l'origine des artères du pied. Enfin vers le haut, deux perforations correspondent aux petites artères des tentacules, des yeux, et d'autres voies permettent au sang de passer dans la cavité de la tête et de baigner les connectifs cérébro-pédieux.

Le sang qui traverse l'orifice pédieux assure l'irrigation des formations nerveuses pédieuses, et, par quatre artères pédieuses inférieures et deux supérieures, celle de tout le pied.

Tout le sang revenant de la tête et du pied se rassemble dans un sinus veineux situé en arrière du septum transversal qui reçoit aussi le sang d'une partie du manteau par la grande veine circulaire, puis il passe dans le rein droit. En outre, une veine de la glande digestive s'unit à deux veines génitales avant de se résoudre en fins vaisseaux dans le même rein, d'où partent les deux vaisseaux afférents des cténidies.

Une certaine quantité de sang issu des deux lobes du manteau et de la glande hypobranchiale ne traverse ni les reins, ni les cténidies, mais se déverse dans la veine branchiale efférente avant qu'elle atteigne le cœur.

Figure 11 : Appareil ciculatoire d'*Haliotis* [13]



a, anus ; ab, abdomen ; ai, anse intestinale ; ao, aorte ; aop, aorte postérieure ; ap, artère pédieuse ; ap, branche de l'artère pédieuse ; br, branchie ; cp, cavité pharyngienne ; cv, conduit veineux marginale ; e, estomac ; gh, glande hypobranchiale ; hc, hemocoele céphalique ; m, lobe du manteau ; og, oreillette gauche ; p, pied ; t, tête ; v, ventricule embrassant l'aorte ; vba, vaisseau branchial afférent gauche ; vbe, vaisseau branchial efférent ; vp, veine palléale ; vre, veine rénale efférente.

L'essentiel : La circulation

L'appareil circulatoire consiste en un cœur enclos dans un péricarde, en artères et en veines sur le trajet desquelles s'intercalent les reins et les cténidies. Tout le sang qui a irrigué la tête, le pied, les glandes digestive et génitale passe ensuite dans le rein pour être épuré puis passe dans les cténidies afin de s'enrichir en O₂ et de se débarrasser du CO₂. Le sang a un rôle de transport essentiel des nutriments, gaz respiratoires, déchets métaboliques, messagers chimiques...

E. Excrétion

La fonction excrétrice des Prosobranches s'exerce essentiellement par les reins qui sont intercalés sur les voies de retour du sang au cœur, entre les sinus veineux et les cténidies, mais de nombreuses cellules excrétrices se trouvent dans le tissu conjonctif et la glande digestive contient de nombreux ensembles de cellules aptes à retirer de l'hémolymphe les produits de déchet du métabolisme.

La nature des substances éliminées est en relation avec le milieu : les Prosobranches marins comme *Haliotis* rejettent leurs déchets principalement sous forme d'ammoniaque (ammonotélie).

1. Reins

Les deux reins qui débouchent de part et d'autre du rectum sont très différents. Le rein droit est un vaste sac rétréci en avant, d'aspect spongieux du fait de plissements de sa paroi interne et d'une intrication de trabécules formés de conjonctif et de vaisseaux. Les produits génitaux y pénètrent par une large fente située sur la paroi dorsale. Ce rein ne communique pas avec le péricarde, et le sang qu'il reçoit provient pour une bonne part des sinus viscéraux. Le sang gagne ensuite le sinus basibranchial et les cténidies.

Le rein gauche ou « sac papillaire » apparaît comme un petit sac ovoïde qui suit le bord gauche du péricarde et s'ouvre à l'extérieur par une fente. Sa paroi interne est hérissée de nombreuses papilles de 1,5 à 2 mm de long. Il recevrait son sang directement de l'oreillette, et il communiquerait avec le péricarde par un canal creusé dans l'épaisseur de sa paroi.

2. Formation de l'urine

Comme chez les autres Mollusques aquatiques, le sang filtrant à travers la paroi du cœur produit le liquide péricardique qui gagne par le conduit réno-péricardique le rein où sécrétion et réabsorption en extraient l'urine.

<u>L'essentiel :</u> L'excrétion
L'excrétion est ammonotélique en liaison avec le mode de vie aquatique qui évite l'intoxication par l'ammoniaque. C'est le sang filtrant à travers la paroi du cœur qui forme l'urine primitive qui devient l'urine définitive après des mécanismes de sécrétion réabsorption.

F. Prédateurs et parasites

Contrairement à la patelle, ce mollusque ne peut recouvrir son corps entier de sa coquille et le bord du pied frangé de filaments tactiles, reste à l'extérieur. Bien que son taux de mortalité soit le plus élevé au stade de larve libre, l'ormeau adulte compte de nombreux prédateurs : poissons, oiseaux de mer, loutres de mer, crabes et étoiles de mer qui le délogent ou le grignotent. Sa seule défense, réside dans la solidité de sa fixation sur les roches et dans le camouflage protecteur de sa coquille et du pied, qu'améliorent encore les algues et les animaux sédentaires qui se fixent sur sa coquille. On a découvert, d'autre part que lorsque l'ormeau se nourrit d'algues rouges, sa coquille devient rouge.

On désigne sous le nom de *Clione* ou *Cliona* une éponge perforante de la famille des *Hadroméridés*. Cette éponge vit dans des objets calcaires : coquilles, cailloux. On n'en voit, à l'extérieur, que des papilles cylindriques portant les orifices de communication avec le dehors. La partie cachée de l'éponge forme un réseau contenu dans des galeries creusées par l'animal, qui est parcouru par un système compliqué de canaux, avec corbeilles vibratiles. L'éponge n'a pas d'appareil spécial, ne se sert pas de spicules, n'a pas de sécrétion acide. Elle arrache de tout petits fragments à la pointe des galeries. Les *Cliones* font des dégâts dans les huîtres, dont elles perforent, en tous sens, les coquilles et occasionnent chez ces mollusques, la maladie dite « du pain d'épice » ; on y remédie en lavant les huîtres à l'eau douce qui fait périr les *Cliones*. Celles-ci ne s'attaquent, d'ailleurs, qu'aux huîtres ayant au moins deux ans et demi. L'ormeau n'échappe pas à ces *Cliones*, qui le rendent plus vulnérable encore en forant sa coquille, l'ouvrant ainsi pour d'autres prédateurs.

On trouve parfois dans l'ormeau des perles foncées. Comme les perles fines d'huîtres, elles se forment quand un corps étranger pénètre dans le manteau, créant une source d'irritation. Dans le cas particulier de l'ormeau, il s'agit d'un minuscule bivalve parasite : *Pholalidea parva* qui perce la coquille et s'introduit dans les tissus de l'ormeau.

Une étude récente [1] a mis en évidence une bactérie pathogène de la famille des Rickettsiaceae à l'origine d'une mortalité importante en élevage : *Candidatus Xenohaliotis californiensis*. Les ormeaux atteints présentent une coloration sombre de leur pied et une perte de leur surface d'adhérence. Le diagnostic est obtenu par PCR et analyse histopathologique permettant la visualisation des bactéries dans les cellules épithéliales gastro-intestinales. C'est la première fois que cette bactérie est mise en évidence chez *Haliotis tuberculata* dans des élevages en Europe.

Cette atteinte bactérienne est souvent concomitante dans cette étude d'un parasitisme à *Haplosporidium montforti*, protozoaire de la famille des haplosporidia.

L'essentiel : Prédateurs et parasites

Les prédateurs de l'ormeau varient en fonction de la région du monde où ils se situent. Ils peuvent être représentés par des poissons, oiseaux de mer, loutres de mer, crabes ou étoiles de mer. L'homme reste cependant le premier prédateur. Le principal parasite des ormeaux semble être une éponge perforante du genre *Cliona* qui fragilise grandement la coquille en creusant des galeries

dedans.

G. Reproduction

1. Organes reproducteurs

L'ormeau est une espèce dioïque. Cependant, il n'existe pas d'autre différence macroscopique dans l'aspect des mâles et des femelles, que la couleur de la glande génitale en période d'activité sexuelle (vert plus ou moins sombre chez les femelles, beige ou gris clair chez les mâles). Pour observer les gonades sur un animal vivant, il faut prendre l'animal dans les deux mains et appliquer une pression modérée du pouce sur le pied. L'animal va se détendre et essayer d'enrouler son pied autour du pouce, nous permettant d'observer la gonade.

L'orifice génital est une simple fente s'ouvrant dans la cavité rénale droite : il n'y a pas de conduit génital.

La gonade mâle débouche dans le rein et les spermatozoïdes sont évacués par l'orifice rénal droit, au fond de la cavité palléale.

La gonade femelle ne comprend qu'une portion rénale, logée dans la masse viscérale et les œufs non fécondés sont expulsés par l'orifice rénal, au fond de la cavité palléale de sorte que la fécondation est externe. L'ovaire devient volumineux à l'époque de la maturité sexuelle.

2. Acquisition de la maturité sexuelle

L'âge exact de la première émission de gamètes, est très difficile à mettre en évidence. Par contre, on peut déterminer, par l'examen microscopique, l'apparition des gamètes mâles et femelles dans les gonades. Les femelles semblent pouvoir effectuer la première maturation des ovocytes à partir de trois ans (longueur de la coquille comprise entre 40 et 55 mm). Les mâles semblent pouvoir produire les premiers spermatozoïdes actifs au cours de leur deuxième année (longueur de la coquille comprise entre 25 et 40 mm). Cependant les premières émissions suivies de fécondations, c'est-à-dire, l'acquisition effective de la maturité sexuelle, sont probablement postérieures.

3. Cas d'hermaphrodisme juvénile

Chez les jeunes, jusqu'à la troisième année (longueur de la coquille inférieure à 55 mm) la gonade peut redevenir indifférenciée en hiver. Il arrive d'observer, assez rarement, un individu dont la gonade est composée de deux parties différentes. Une partie présente des tubules mâles caractéristiques, ayant produit des spermatozoïdes et une autre partie présente des ovocytes en voie de cytololyse. Les deux parties sont distinctes l'une de l'autre et séparées par une petite zone moins différenciée.

De plus, si on observe les pourcentages de mâles et de femelles, dans les différentes classes de tailles, on s'aperçoit que le pourcentage de mâles est beaucoup plus faible que le pourcentage de femelles dans les petites classes de taille (jusqu'à 40 mm), puis c'est l'inverse et enfin les deux pourcentages se stabilisent au voisinage de 50%.

Le sexe resterait donc labile jusqu'aux environs de la troisième année (55mm). Les jeunes ormeaux, après avoir commencé à se différencier en femelle, sans avoir acquis la maturité

sexuelle, pourraient devenir des mâles fonctionnels au cours de l'hiver. Il s'agirait donc d'hermaphrodisme successif juvénile.

4. Histologie des phénomènes de gamétogénèse

Les gonades alternent de manière cyclique entre une période de repos et d'activité.

Après les dernières émissions de gamètes qui ont lieu en Octobre, les animaux entrent dans une phase de repos sexuel qui dure jusqu'à la fin du mois de Mars. Il n'y a donc plus d'ovocytes mûrs dans les gonades femelles à la fin de Décembre, on observe un tissu conjonctif dont les trabécules sont un peu épaissies et qui renferme de nombreuses protogonies. Suivant l'âge de l'animal, les gonades mâles sont vidées plus ou moins vite. Chez les individus âgés, il peut rester une grande quantité de spermatozoïdes en Janvier, alors que chez les plus jeunes, la gonade est entièrement vide. La spermatogénèse se poursuit pendant l'automne, mais les spermatocytes ne sont pas renouvelés. Puis les spermatides et les spermatozoïdes résiduels sont phagocytés au cours de l'hiver et, en Mars, il n'en reste plus rien. Les tubules sont réduits en hiver à une couche de protogonies semblables à celles de la gonade femelle, mêlées à de nombreuses spermatogonies.

Au printemps, les protogonies, en attente le long des trabécules ou des tubules de la gonade, se mettent à se multiplier et à se différencier activement.

Pour ce qui est de l'ovogénèse, les protogonies donnent naissance à de très nombreuses ovogonies. Ces ovogonies ne se divisent pas, mais leur taille augmente progressivement. Lorsqu'elles ont suffisamment grossi, elles entrent en méiose et deviennent des ovocytes. Les jeunes ovocytes subissent, ensuite, une première phase d'accroissement sans vitellogénèse. Ensuite, commence la vitellogénèse : une membrane vitelline va s'épaissir autour de l'ovocyte. L'ovocyte mûr est libéré dans la lumière entre les trabécules. Ses dimensions finales sont de 190 μm pour le plus grand diamètre. (épaisseur de la membrane vitelline : 9 μm)

Pour ce qui est de la spermatogénèse, elle est classique. Finalement, les spermatozoïdes sont très nombreux et remplissent tous les intervalles restant entre les tubules pendant la période de reproduction. (acrosome = 2,5 μm ; noyau = 2 μm ; pièce intermédiaire = 1 μm ; flagelle = 7 μm)

5. Cycle annuel d'émission des gamètes

a. Variations du volume de la gonade

De fin Décembre à milieu Mars, la gonade est vidée (phase de repos ; pas de gamétogénèse). Par contre, la glande digestive atteint son développement maximum en Janvier-Février.

Au début du mois d'Avril, commence la phase de restauration de la gonade. Cette phase se poursuit jusqu'en Juin, tandis que la glande digestive réduit de volume.

De Juillet à Novembre, la gonade se vide progressivement (émission des gamètes). En même temps, il y a mise au repos complet de la glande digestive. Un petit nombre d'individus commencent à émettre les produits sexuels dès le mois de Juin.

De fin Novembre à début Décembre, la gonade entre dans sa phase de repos. Pour certains individus qui ont émis leurs gamètes au début de la saison, cette phase s'instaure en Octobre. En

Décembre toute la population a vidé ses gonades. La glande digestive retrouve son activité à cette époque.

b. Variation quantitative des éléments de la spermatogénèse

En hiver, les gonades mâles sont vides. Elles contiennent quelques gonies et des spermatozoïdes résiduels. Chez les jeunes, la gonade redevient indifférenciée (phase de repos).

En Avril-Mai, la gonade fabrique activement spermatogonies, spermatocytes et spermatides (phase de restauration).

En Juin-Juillet-Août, la gonade est remplie de spermatozoïdes et de cellules de la série spermatogénétique. Il y a émission de gamètes et reconstitution simultanée des spermatozoïdes à partir des spermatocytes.

En Septembre-Octobre-Novembre, la gonade contient presque uniquement des spermatozoïdes. Il y a encore possibilité d'émission de gamètes mais il n'y a plus de reconstitution.

c. Facteurs influençant le cycle reproducteur

Quatre paramètres semblent influencer le cycle reproducteur :

La photopériode agit sur le déclenchement de la gamétogénèse qui débiterait au moment du solstice d'hiver.

La température joue un rôle sur la vitesse de développement des gonades. Il est ainsi possible de prévoir la période de reproduction par une prise en compte simultanée de la température et du temps. Le nombre de degrés-jours nécessaires à la pleine maturation des produits serait d'environ 1500 à 1800 (variable selon les espèces).

La quantité de nourriture disponible n'assurerait qu'une fonction secondaire en raison du rôle « tampon » joué par les réserves accumulées dans le pied.

Les facteurs internes (d'origine hormonale) se superposent à la photopériode pour l'activation de la maturation ; ils permettraient une synchronisation des pontes en milieu naturel.

Le cycle de reproduction d'*Haliotis tuberculata* semble être soumis à l'influence du facteur thermique ; la maturation et l'émission des gamètes seraient conditionnées par des valeurs critiques de la température de l'eau de mer.

6. Emission des gamètes et fécondation

Les gamètes sont libérés par les orifices respiratoires directement dans la mer. La mer devient laiteuse dans un rayon de 90 cm autour du mâle quand il émet sa laitance et, la femelle est induite à pondre ses œufs par la présence des spermatozoïdes dans son voisinage, ce qui réduit les pertes. La fécondation se fait directement dans le milieu marin. Les œufs fécondés sont protégés par une enveloppe gélatineuse. Ils sont sphériques et mesurent 0,2 mm de diamètre (mesure qui comprend la membrane externe de l'œuf), le noyau mesure 0,16 mm une fois la fécondation effectuée. Les œufs flottent dans la mer jusqu'à ce que, quelques heures plus tard, ils éclosent, donnant naissance à de minuscules larves trocophores en forme de toupie et qui nagent grâce à une bande ciliée entourant la partie la plus épaisse.

7. Développement larvaire et croissance

Le stade morula est atteint 2h50 après la fécondation. La division de l'œuf est totale et spirale.

a. Stade trocophore

Il est atteint entre 4h40 et 5h30 après la fécondation. Le diamètre de la larve trocophore est de 198 μm . Chez *Haliotis tuberculata*, ces larves trocophores ont une vie pélagique de deux jours environ. A la température de 26,2 à 26,8°C, la larve trocophore s'extrait de la membrane de l'œuf environ 6 heures après la fécondation. Ces larves nageuses présentent l'avantage de répandre les ormeaux qui sont plutôt sédentaires mais elles sont très vulnérables, aux poissons se nourrissant de plancton en particulier.

b. Stade véligère

Il est atteint 11h00 après la fécondation. La larve va subir une torsion et la coquille va apparaître.

Sur la larve véligère qui a terminé sa torsion on voit apparaître les tentacules céphaliques, les yeux, le pied et l'opercule. La longueur de la coquille larvaire est de 0,25 mm. La véligère tombe au fond environ 43 à 46 heures après la fécondation. Les facteurs induisant cette fixation au fond semblent divers. On pourrait suggérer l'intérêt d'une zone à faible courant mais les principaux paramètres seraient plutôt d'ordre biochimiques. Les algues rouges qui tapissent le substrat libèrent de l'acide γ amino butyrique (GABA) qui induit la fixation des larves. La présence de traces muqueuses laissées par des ormeaux en déplacement provoque la fixation des larves.

c. Stade benthique

Le premier lobe ciliaire apparaît trois jours et demi après la fécondation et le second treize jours après. A ce moment, la coquille mesure 0,23 mm de long.

Le premier trou respiratoire se forme environ 23 jours après la fécondation, la longueur de la coquille étant à ce moment de 1,8 à 1,9 mm.

Le deuxième orifice respiratoire apparaît à 27 jours.

A 32 jours, le jeune ormeau possède quatre orifices respiratoires. Sa coquille fait 2,6 mm de long.

A 60 jours, il possède 11 orifices respiratoires et mesure 5,9 mm de long.

Finalement, à 201 jours, la coquille mesure 23,8 mm de long.

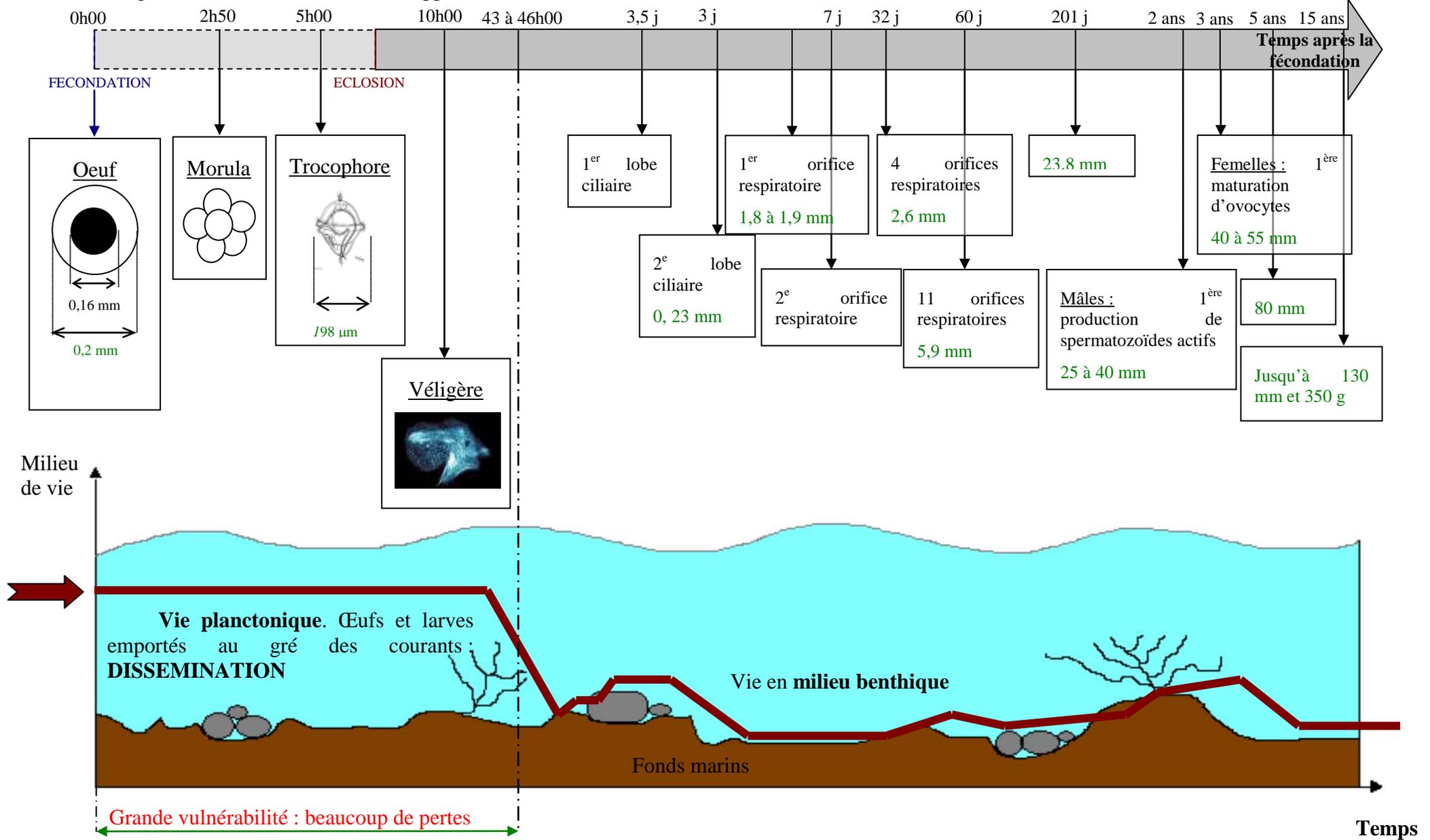
L'essentiel : La reproduction

L'ormeau est une espèce dioïque à fécondation externe en pleine mer. Les femelles semblent pouvoir effectuer la première maturation des ovocytes à partir de trois ans (longueur de la coquille comprise entre 40 et 55 mm). Les mâles semblent pouvoir produire les premiers spermatozoïdes actifs au cours de leur deuxième année (longueur de la coquille comprise entre 25 et 40 mm). La période de reproduction semble s'étaler de manière générale entre Juin et Novembre et l'émission des gamètes semble être essentiellement conditionnée par les variations de température de l'eau. La fécondation libère une larve trochophore libre et nageuse qui se transforme en larve véligère. Ces larves sont transportées au gré des courants avant de se fixer sur un support fixe. La larve constitue la principale forme de dissémination de l'ormeau.

H. Croissance

La croissance de l'ormeau est lente : il lui faut plus de cinq années pour atteindre la longueur de 80 mm (figure 12). Les ormeaux peuvent vivre au moins quinze ans et les plus gros individus peuvent atteindre 130 mm de longueur pour un poids de 350 g. La croissance de l'ormeau n'est pas continue au cours de l'année : elle marque un arrêt en hiver et, chez les spécimens matures, pendant la période de reproduction.

Figure 12 : Schéma du développement et de la croissance de l'ormeau en liaison avec l'habitat, la vulnérabilité et la dissémination.



Deuxième Partie : ETUDE DE TERRAIN

I. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'ormeau est un met très prisé, notamment en Asie où sa valeur marchande est importante. Une pêche intense et des élevages de grandes tailles dans de nombreuses régions du monde alimentent ce marché.

Malgré de très gros volumes de production par l'élevage, la pêche peu régulée dans certaines régions du globe, comme au Sénégal, met aujourd'hui en péril la pérennité de plusieurs espèces d'ormeaux. Cette ressource est donc l'objet de nombreuses études à travers le monde à la fois afin de mieux la protéger mais aussi afin d'augmenter la productivité des élevages industriels.

Cependant, il n'existe que très peu d'études concernant les populations d'ormeaux en Afrique. Pourtant, les ormeaux sont bel et bien présents sur le pourtour des côtes africaines et font l'objet d'une pêche importante.

Il apparaît donc nécessaire de connaître les impacts de cette pêche sur les populations d'ormeaux, d'une part afin d'assurer une bonne gestion de la ressource assurant la pérennité de l'espèce, et d'autre part d'assurer une ressource économique stable pour de nombreux pêcheurs dépendant de l'ormeau.

L'objectif de mon travail était donc de mettre en place un protocole d'étude de la dynamique de population des ormeaux au large de Dakar au Sénégal. Cela devait permettre à plus long terme de suivre l'évolution de la population dans le temps et ainsi fournir un outil scientifique aux autorités afin qu'elles puissent gérer au mieux cette ressource.

Mon travail s'effectuait sous l'égide du Ministère des Affaires Etrangères français et en collaboration avec Stéphane Guzylack, vétérinaire français et conseiller auprès des parcs nationaux sénégalais.

Dans un premier temps, j'ai voulu réaliser un état des lieux des connaissances des fonds marins du PNIM et de sa périphérie. J'ai donc interrogé les gardes et écogardes du parc afin de mieux connaître le milieu dans lequel évoluaient les ormeaux. J'ai été assez étonné de la connaissance plus que partielle qu'avaient les gardes et écogardes des fonds sous-marins de leur réserve.

Heureusement, Stéphane Guzylack, le représentant de l'ambassade et conseiller technique pour le parc avait déjà plongé à plusieurs reprises dans la réserve et ses environs et réalisé des repérages des fonds et des espèces marines présentes. Il est notamment à l'origine de mon travail concernant les ormeaux. Il avait également établi une carte sommaire des fonds marins du parc qui constituait une formidable base de travail.

J'ai également pris des renseignements auprès des plongeurs du club de plongée « l'Océanium » explorant régulièrement les fonds marins du PNIM.

Au fur et à mesure des discussions avec les acteurs du PNIM, j'ai pu définir une stratégie pour mettre en place un suivi de la population d'ormeaux. Cette stratégie comportait trois grands volets.

Il fallait dans un premier temps étudier précisément la topographie et la nature des fonds marins du parc afin de pouvoir réaliser une carte des fonds et ainsi déterminer les méthodes de comptage et d'échantillonnage ad hoc pour évaluer la population d'ormeaux et son évolution dans le temps. On devait notamment recenser les zones du parc se prêtant à la fixation des ormeaux. Il fallait également repérer des zones à l'extérieur du parc soumises à la pêche afin de comparer les populations dans et à l'extérieur du parc et ainsi évaluer l'efficacité et l'impact de l'interdiction de la pêche.

Dans un deuxième temps, il fallait déterminer la technique la plus propice pour évaluer les populations d'ormeaux en tenant compte des fonds marins, des moyens dont on disposait et des informations à recueillir (répartition selon la taille, la nature du support, la profondeur...).

Dans un troisième temps, il fallait former une équipe de plongeurs aptes à effectuer ces opérations sur le long terme afin de pérenniser le suivi de la population d'ormeaux. Bien sûr cette formation devait également donner des clés pour élargir par la suite le suivi à d'autres espèces.

Au cours de mon séjour, d'autres objectifs plus secondaires sont apparus comme la nécessité de réfléchir à un système de balisage du parc marin afin de matérialiser de façon objective la zone d'interdiction de pêche, sujet fréquent de discordance entre pêcheurs et gardes du parc. Un autre objectif secondaire était l'évaluation de l'efficacité des récifs artificiels dans l'optique de favoriser l'installation de populations marines. Cet objectif passait par la recherche et l'observation de récifs artificiels mis en place il y a plusieurs années et dont on n'avait jamais effectué le suivi.

Toutes ces connaissances devaient permettre de justifier les limites du parc et non plus de fixer de façon arbitraire une bande de 50 mètres de large autour des îles interdites à la pêche. Elles devaient également donner des pistes afin de mieux réglementer la pêche en dehors du parc et d'assurer la pérennité de toutes les espèces de la côte sénégalaise.

Ces informations étaient donc globalement nécessaires à une bonne gestion du parc et à plus grande échelle de la pêche sur les côtes sénégalaises.

Enfin, et ce sur le très long terme, ces connaissances étaient un préalable pour envisager éventuellement l'introduction de naissains afin de compenser les prélèvements dus à la pêche dans un futur lointain.

Bien entendu, l'objectif de formation d'une équipe de plongeurs motivés et compétents était capital pour assurer la poursuite du travail après mon départ et pérenniser un outil scientifique utile aussi bien pour la conservation du parc que pour permettre aux autorités de gérer au mieux leurs ressources halieutiques.

II. CONTEXTE DE L'ETUDE

A. Contexte sénégalais sous l'égide de l'ambassade française

Lorsque l'on arrive pour la première fois en Afrique, la réalité nous frappe en pleine face. Tous nos repères sont bousculés, on se sent vaciller. Nos sens sont assaillis par toutes sortes d'informations : couleurs, odeurs, chaleur, mouvements, bruits... Tout est si différent. Puis, une fois passée la première vague de sensation, on apprend à mieux connaître nos hôtes : les uns nous voient comme une opportunité de gagner un peu d'argent, ce sont eux qui nous abordent dans la rue. Mais beaucoup d'autres ne nous démarchent pas et il faut aller chercher et découvrir par soi-même l'amitié qu'ils nous offriront d'emblée. Ils sont ouverts et accueillants, nous offrent de partager leur repas spontanément.

Au Sénégal on nous appelle « toubab » ce qui signifie tout blanc et pour la première fois dans ma vie je comprends ce que peut ressentir un étranger loin de chez lui dans un pays qu'il ne connaît pas, dont les mœurs et la mentalité lui sont totalement étrangères. On peut faire tous les efforts que l'on veut pour s'intégrer, la couleur de notre peau ne ment pas : nous sommes toubabs.

Beaucoup de sénégalais ne comprennent pas nos motivations pour venir en Afrique, pour eux la France c'est le paradis et qui voudrait quitter le paradis pour l'Afrique : uniquement des toubabs blasés venus dépenser de l'argent parce qu'ils ne savent pas quoi en faire. C'est un peu simpliste mais ça résume bien le fond des choses. On peut leur assurer que l'on vient pour réaliser un projet, parce que l'environnement nous tient à cœur, parce que l'étude scientifique est notre passion, on reste avant toute autre chose des touristes en vacances. Alors on veut leur montrer, on se retrouse les manches et on essaie de prouver qu'on est là pour faire bouger les choses, on se bat pour notre projet. Mais au final on se rend compte que les clichés perdurent.

Pour ma part, j'ai eu une conversation révélatrice à ce sujet juste avant de quitter l'Afrique. Un des écogardes m'a demandé si j'étais satisfait de mon séjour, je lui ai répondu qu'au vu de toutes les difficultés rencontrées et des maigres résultats obtenus j'étais déçu. Ce à quoi il a rétorqué : « au moins ça t'aura fait des bonnes vacances ». Pour moi cette phrase est vraiment révélatrice de l'état d'esprit des personnes que l'on a côtoyées au parc pendant les trois mois de stage. Nous étions, et ce quoi que nous fassions, des « stagiaires vacanciers ». Cela n'avait absolument rien de méchant, ce n'était pas du tout une critique ni du mépris, ils ne comprenaient simplement pas nos motivations si occidentales et si éloignées de leur quotidien.

Car effectivement nous pensions en bons occidentaux, mais la pensée africaine ignore les fondements de la pensée occidentale. Et la vie au quotidien conditionne une façon de penser radicalement différente de la notre, basée originellement sur la nécessité de survivre. Comment faire passer des idées à propos de la gestion de l'environnement quand l'Africain moyen ne sait pas ce qu'il sera demain ni comment il mangera aujourd'hui ? Comment parler d'avenir à une personne qui remet son destin à Dieu et répond « inch Allah » quand on lui présente un projet ? Comment affirmer qu'il faut pêcher moins pour gérer les ressources halieutiques ? On ne peut pas empêcher quelqu'un de pêcher si sa survie alimentaire en dépend.

Personne ne peut penser à l'avenir de l'environnement le ventre vide.

Et il faut un certain temps pour comprendre tout cela. Ce contexte de travail est présent au quotidien et il faut composer avec ou rentrer chez soi.

Une deuxième donnée à intégrer : en Afrique, si une personne réussit dans la vie, elle doit tout partager avec sa famille proche, éloignée, très éloignée et avec ses amis aussi. Il n'est pas rare de voir une famille entière dont la survie ne dépend que d'une seule personne. Le problème c'est que ce système de partage qui permet, à l'échelle d'un village, la survie de toute la communauté, n'est pas tout à fait adapté à la vie à Dakar. En effet, beaucoup des gens qui vivent entretenus par un membre de leur famille abandonnent toute initiative et se contentent de survivre grâce à l'argent donné. Un Africain qui réussit peut donc se retrouver avec plusieurs personnes vivant totalement à ses dépens et bien que cela soit profondément ancré dans les mœurs, certains se découragent et abandonnent tout projet en se disant que ce n'est pas la peine de se donner du mal puisque de toute façon ils ne vivront pas mieux car ils devront tout donner. L'esprit d'entreprise est ainsi réprimé.

Cet aspect, je l'ai retrouvé à l'échelle du GIE (Groupement d'Intérêt Economique) des écogardes. Les revenus du GIE étaient partagés de manière égale entre tous alors que certains passaient leur journée à boire le thé tandis que les autres travaillaient et généraient tous les revenus. Forcément, ceux qui travaillent se lassent au bout d'un moment et finissent par travailler de moins en moins. De plus cela finit par créer des tensions néfastes au fonctionnement du GIE.

En plus de ces contraintes culturelles, il existe d'autres difficultés beaucoup plus matérielles. Le calendrier sénégalais compte des jours fériés chrétiens, musulmans et païens, mais quelle que soit la confession de chacun la plupart fête indifféremment toutes ces dates. De plus, un jour férié se transforme rapidement en deux ou trois jours voire en une semaine de festivités.

D'autres contraintes sont liées à la difficulté de se procurer du matériel un peu technique, en particulier pour effectuer les suivis de population en milieu marin.

Enfin, une dernière contrainte : la lourdeur de l'administration française qui augmente considérablement le temps nécessaire pour réaliser un certain nombre d'actions.

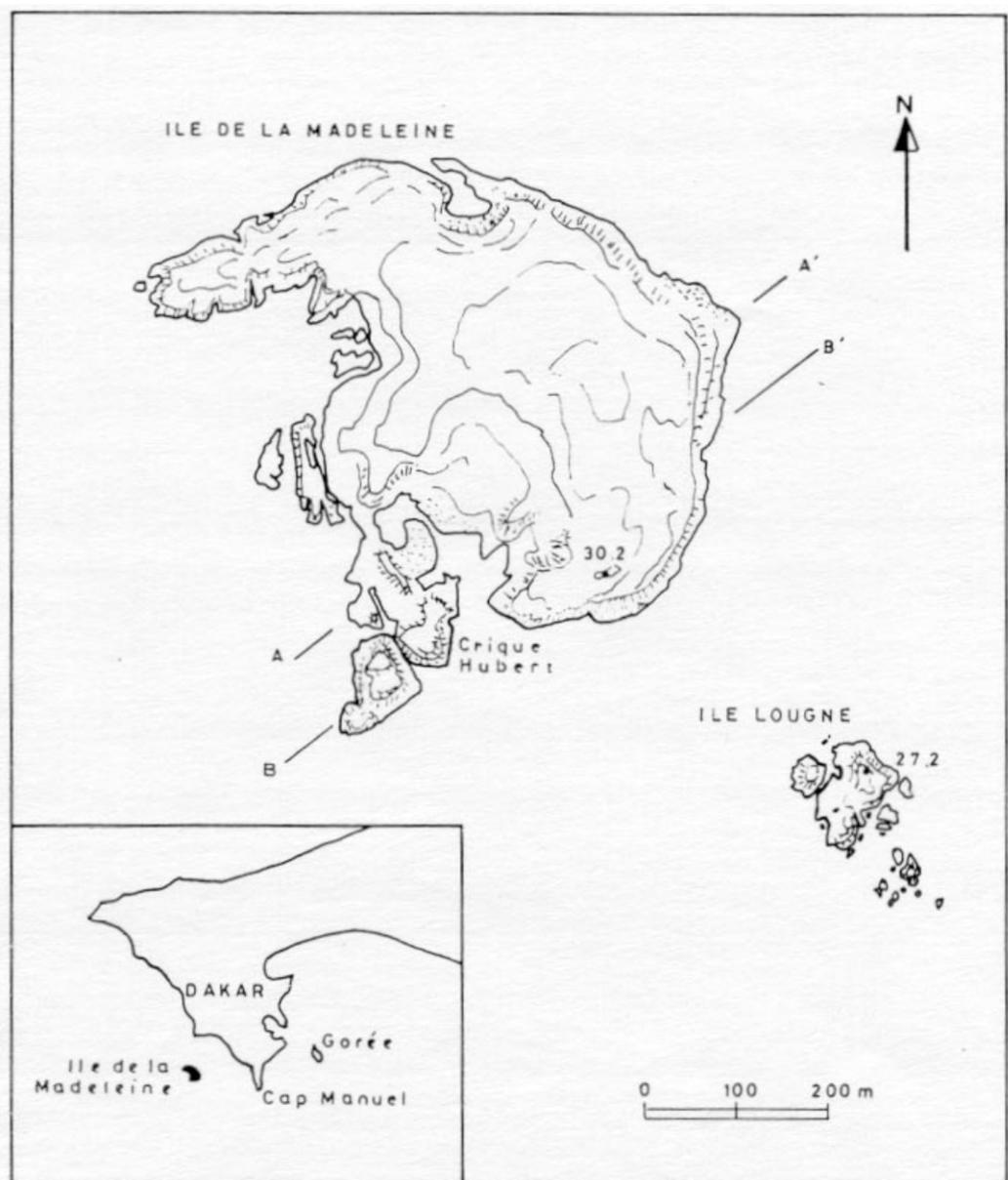
Pour ce qui est des achats, on doit demander au commerçant une facture proforma avec RIB et clef RIB, ce qui pose souvent problème au Sénégal. Il faut ensuite que la facture proforma soit acceptée par l'ambassade. Si la valeur de l'achat est trop faible l'ambassade refuse, et comme il n'existe pas de caisse en argent liquide pour les petits achats on doit souvent acheter par soi-même les fournitures nécessaires, ce que nous avons dû faire à plusieurs reprises. Si la facture proforma est acceptée on doit convaincre le commerçant de nous donner les fournitures sans pour autant le payer tout de suite. On ne peut que lui donner la promesse d'un virement de l'ambassade dans les jours à venir et après que nous ayons fait réception du matériel et déclarer celui-ci conforme. Ce virement n'arrivera bien souvent que plusieurs semaines après la réception du matériel, discréditant ainsi l'ambassade et ses représentants.

Tous ces aspects font un contexte tout particulier à cette étude et expliquent beaucoup des difficultés rencontrées.

B. Présentation du Parc National des Iles de la Madeleine

Le Parc National des Iles de la Madeleine se situe à l'Ouest de la presqu'île de Dakar, au Sénégal, en face du marché au poisson de Soumbédioune (figure 13). Les deux îles (île Sarpan et île Lougne) se situent environ à 2 miles nautiques (soit 3,6 km) au large, on y accède donc par pirogue lorsque les conditions de mer sont bonnes. Au large de la presqu'île du Cap Vert, les courants marins sont souvent importants et la houle peut bien souvent interdire la plongée dans le parc. La zone marine protégée consiste en une bande de 50 m autour des îles, zone qui n'est malheureusement pas matérialisée par des bouées et dont les limites sont donc soumises à l'évaluation personnelle des gardes comme des pêcheurs.

Figure 13 : Carte du Parc National des Iles de la Madeleine.



Les îles de la Madeleine font partie des quatre petites îles (les autres étant, au nord, les îles de Yof et de Ngor, et au sud l'île Gorée) qui entourent la presqu'île du Cap Vert. Elles ont une origine volcanique (figures 14 et 15).

<p><u>Figure 14</u> : Photographie des Iles de la Madeleine depuis Dakar.</p>	<p><u>Figure 15</u> : Photographie de l'île Lougne depuis l'île Sarpan.</p>
	

C'est en 1976 que l'île acquiert le statut de parc national, la principale motivation de la classification du site étant la présence de phaétons, oiseaux menacés, et qui ne nichent et se reproduisent que dans trois endroits en Afrique dont les îles de la Madeleine. Deux équipes gèrent et protègent la réserve :

- 8 gardes appartenant à l'armée
- 8 écogardes appartenant à la population locale.

Les écogardes sont des membres de la population locale regroupés en GIE (Groupement d'Intérêt Economique) et sont autorisés à valoriser le parc en développant des activités touristiques ou de suivi écologique. Les activités touristiques les plus classiques sont le guidage ; dans le cas des îles de la Madeleine il y a également le transport en bateau jusque sur l'île. Cependant, diverses activités peuvent être envisagées : vente de boissons fraîches, boutique souvenirs, restaurant, sentier sous-marin pour la pratique du snorkeling... Les activités de suivi écologique peuvent être financées par diverses structures, ONG, pays étrangers dans le cadre de projets d'appui ou de coopération, Direction des Parcs Nationaux du Sénégal... Ces activités peuvent consister en des recensements d'animaux lors de grandes campagnes de comptage (essentiellement dans le cadre de comptage d'oiseaux), des suivis plus précis d'animaux en particulier ou encore consister en de la sensibilisation à la protection de l'environnement sous forme de conférences. Les écogardes ont également un rôle de médiation avec les populations

locales, ils peuvent servir d'intermédiaires entre le conservateur du parc et les communautés de pêcheurs par exemple.

En échange de la possibilité d'« exploiter » le parc pour en tirer un revenu, les écogardes participent à l'entretien de ce dernier. De plus ils doivent reverser une partie de leurs revenus au parc : ces fonds constituent le fond d'appui qui peut être utilisé par le parc pour payer les écogardes lors de travaux ou projets divers (de construction par exemple).

L'ambassade française apporte quant à elle un appui pour la réalisation des différents projets du parc, autant financier que sous forme d'apport de compétences et de conseils. Cet apport se fait sous l'égide du Ministère des Affaires Etrangères et Stéphane Guzylack est un des conseillers travaillant directement avec le PNIM.

Les gardes, quant à eux, appartiennent à l'armée et ont pour rôle d'assurer la protection du parc contre les braconniers. Ils ne participent en temps normal ni à l'activité touristique ni au suivi scientifique du parc. Nous verrons néanmoins qu'un des membres de l'équipe de plongeurs était un garde du PNIM.

III. ETUDE REALISEE

A. Réalisation de la cartographie et du balisage des fonds marins du parc

1. Etat initial des connaissances

Jusqu'à maintenant, la réalisation de cartes précises des fonds sous-marins entourant les îles n'avait jamais été entreprise. De même, la description de la flore fixée ainsi que le recensement des espèces n'avaient pas été réalisés. Ces travaux sont pourtant la base d'une bonne gestion de la réserve. En effet, comment protéger les espèces sous-marines du parc si on ignore quelles espèces sont présentes et quel est l'habitat qui leur est proposé. De plus, une connaissance des fonds permettrait de justifier la zone d'interdiction de la pêche, qui pour l'instant est fixée arbitrairement à une bande de 50 mètres autour des îles, mais qui n'a aucun fondement scientifique. On pourrait envisager par exemple d'agrandir localement la zone d'interdiction si un éperon rocheux fondamental pour la reproduction de certaines espèces se prolongeait au-delà des 50 mètres réglementaires.

Plus particulièrement, dans le cadre de notre étude, le suivi de la population d'ormeaux n'est pas envisageable sans une connaissance précise des fonds marins. De nombreuses études à propos des ormeaux ont eu lieu à travers le monde et plus particulièrement là où cette espèce est abondante ou présente un grand intérêt économique. Rappelons en effet que l'ormeau a aujourd'hui une grande valeur sur le marché international et que la demande est importante. On recense donc des études sur l'ormeau au Canada, au Japon, en Australie, en Nouvelle-Zélande, au Mexique et en Californie, en Tasmanie, en France. Aucune étude n'a cependant été entreprise au Sénégal. Il existe une étude réalisée en Afrique du Sud qui concerne *Haliotis midae*.

Nous avons donc à notre disposition des informations sur les ormeaux, même si il ne s'agit pas forcément de l'espèce *tuberculata*. Cela dit, pour pouvoir adapter les techniques de suivi utilisées dans ces études aux îles de la Madeleine, il faut connaître la topographie des fonds.

De même, connaître exclusivement les fonds de la réserve n'est pas suffisant, en effet, il faut aussi connaître des zones à l'extérieur du parc afin de pouvoir par la suite comparer la densité et la richesse en espèces sous-marines à l'intérieur et à l'extérieur du parc afin de juger de l'efficacité de la zone d'interdiction à la pêche [19]. Afin de déterminer ces zones de suivi extra-parc, une discussion avec les pêcheurs locaux s'imposait afin de savoir où se trouvent les principaux lieux de pêche. C'est un sujet un peu délicat et dans ce contexte, le rôle des écogardes est fondamental car, étant issus de la population locale, ils établissent beaucoup plus facilement un dialogue. Un des écogardes membre de l'équipe de plongée étant un ancien pêcheur d'ormeaux, il était donc possible de cartographier des zones de pêche et d'effectuer un recensement dans ces zones.

Allant de pair avec la cartographie, le balisage précis des limites du parc est fondamental. En effet, un des soucis rencontrés par les gardes du parc est que la bande de 50 m, interdite à la pêche, n'est matérialisée par aucune bouée ce qui amène de nombreuses controverses lors de l'appréhension de braconniers. Les gardes affirment que les pêcheurs sont dans la zone interdite, ces derniers jurent qu'ils restent à la limite des 50 m réglementaires. C'est un débat sans fin. Le représentant de l'ambassade française, Stéphane Guzylack, avait donc pour projet l'installation de bouées balises signalant les limites du parc. Techniquement il s'agit d'un défi car les forts courants marins imposent un ancrage particulièrement efficace à l'aide de grandes vis enchâssées dans le fond marin. Il faut donc concevoir des systèmes d'ancrage adaptés aux fonds sableux et rocheux ainsi que l'appareil permettant de les mettre en place. S'agissant de travaux sous-marins, la difficulté est encore majorée. Bien entendu il serait plus facile de faire appel à une entreprise spécialisée mais le coût serait prohibitif. Il a donc été pris contact avec une entreprise locale pour la fabrication du matériel sur plans réalisés par Stéphane Guzylack et l'équipe de plongeurs du parc devait réaliser la pose des systèmes d'ancrage.

2. Méthodes de cartographie sous-marine

a. Méthode de référence : utilisation d'un Sonar à Balayage Latéral (SBL)

La cartographie en milieu sous-marin demeure un exercice difficile et délicat, coûteux en temps et en énergie. Un positionnement précis, de l'ordre du mètre, n'est possible qu'à l'aide d'un matériel sophistiqué (GPS différentiel, balises acoustiques, théodolite à laser, etc.) et une description plus ou moins automatique des fonds nécessite généralement un sonar latéral multifaisceaux (figure 16) dont les signaux sont traités en temps réel par un ordinateur.

Le sonar à balayage latéral est un système acoustique de haute définition (submétrique) qui fournit une image en continue et en niveau de gris du fond marin. Il permet d'insonifier à différentes fréquences, et perpendiculairement à la route du navire, une bande constante de 50 à 1000 m de largeur en fonction de la profondeur (figure 17). Le traitement des données brutes est réalisé par un logiciel informatique (ex : Caraïbes 2.5 de l'Ifremer) et l'analyse des mosaïques acoustiques géoréférencées sous SIG (Système d'Informations Géographiques). C'est un système onéreux qui nécessite des compétences techniques spécifiques. Certaines espèces macro-benthiques peuvent être détectées et cartographiées directement lorsqu'elles sont en densité importante sur le fond (herbiers, maërl, crépidule, lanice, ...). L'utilisation d'un sonar à balayage latéral, souvent en combinaison avec d'autres systèmes acoustiques, est un préalable à la caractérisation des habitats par un échantillonnage biologique optimisé et stratifié.

Figure 16 : Photo des sonars DF 1000 de la société Edgetech utilisés par Ifremer/Genavir (source : L'application du Sonar à balayage latéral (SBL) pour la cartographie des habitats marins en domaine subtidal par A. EHRHOLD)

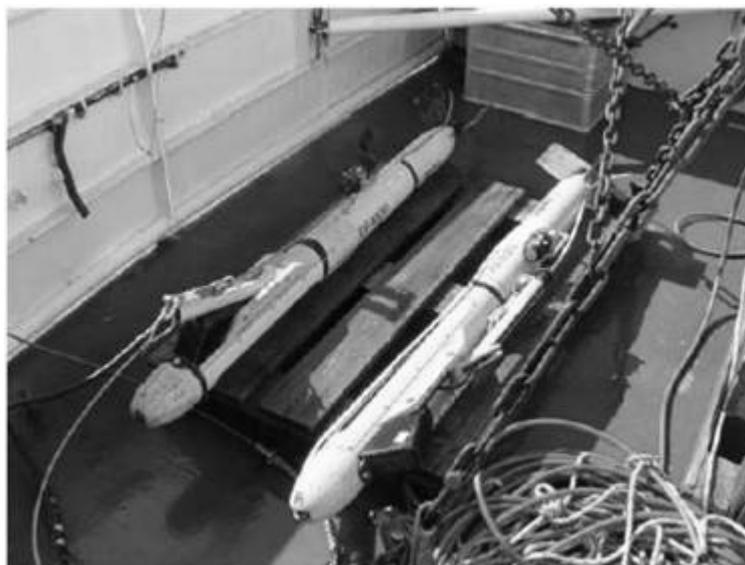
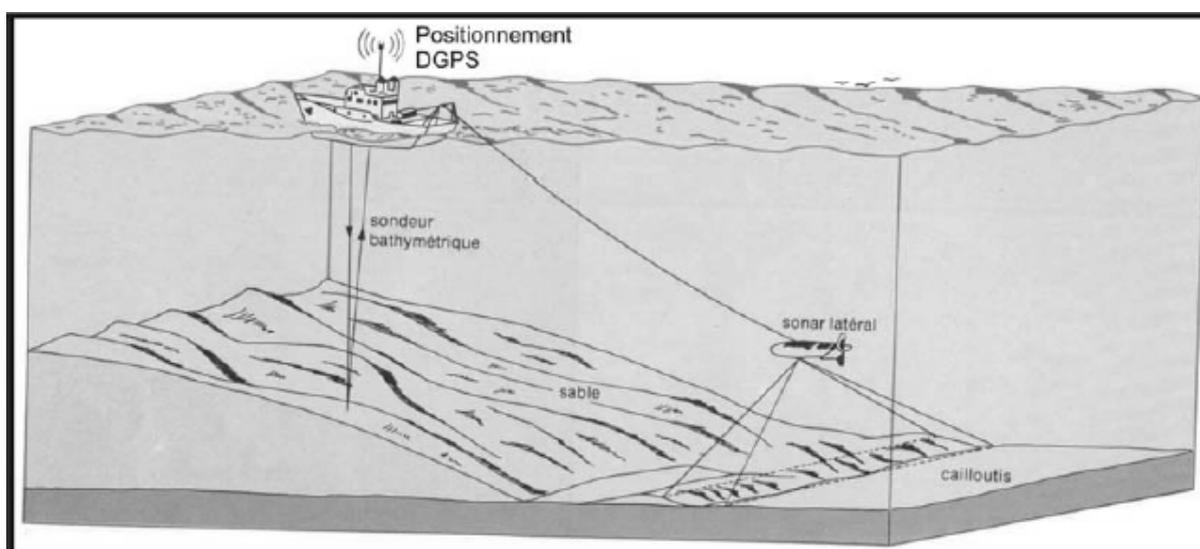


Figure 17 : Schéma d'un poisson sonar tracté en position de balayage au-dessus du fond (source : L'application du Sonar à balayage latéral (SBL) pour la cartographie des habitats marins en domaine subtidal par A. EHRHOLD)



L'utilisation d'un sonar à balayage latéral, bien qu'étant une méthode de choix, ne peut pas s'envisager dans le cadre de notre étude. En effet de telles configurations représentent un investissement trop lourd pour de petites unités de recherche. La plongée reste alors la seule alternative pour une description fine de petits territoires (quelques hectares au maximum).

b. Méthode plus accessible

Il existe une autre façon de cartographier les fonds marins de façon « plus artisanale » et moins onéreuse. Ce protocole est proposé par Jean de Vaugelas pour AquaScience-UNSA [11].

Cette opération de cartographie sous-marine est destinée à fournir une carte très précise de petits fonds sous-marins situés dans la zone de profondeurs 0 à 40 m. Cela correspond donc parfaitement à la situation du parc en terme de profondeur et répond à priori à nos attentes en terme de qualité de la topographie même si cette qualité reste opérateur-dépendante.

Cet exercice permet de réaliser, au cours d'une seule plongée, une carte précise (1 : 100ème ou 1 : 125ème) d'une zone d'environ 2000 m² à l'aide de 3 palanquées de 3 plongeurs. Il sera donc nécessaire soit de faire appel à des plongeurs bénévoles supplémentaires soit de modifier la technique pour l'adapter à nos moyens humains à savoir 6 plongeurs (3 écogardes, 2 représentants de l'ambassade française, moi-même). Les plongeurs doivent avoir l'équivalent du Niveau 2 de plongée et être très à l'aise dans l'utilisation du gilet stabilisateur. Ils doivent être capables d'évoluer à ras du fond sans perturber celui-ci à grands coups de palmes, en particulier dans les zones sableuses ou vaseuses et le long des tombants.

▪ Principe

Chaque palanquée décrit un couloir de 5 m de large sur 150 m de long. Si les eaux sont très claires et la zone à cartographier peu profonde, on peut envisager des couloirs de 10 m de large et longs de 200 m. Trois couloirs sont établis côte à côte et perpendiculairement à la ligne de rivage, de façon à couvrir un rectangle de 15 x 150 m, soit 2250 m². La description consiste à relever soigneusement les limites des principales biocénoses, qui sont identifiées au fur et à mesure de l'avancée de la palanquée. La qualité du travail est proportionnelle à la cohérence des descriptions d'un couloir à l'autre. En particulier, il doit y avoir une excellente correspondance au niveau des structures qui traversent les 3 couloirs. La description part du large, de la zone la plus profonde, et progresse vers le rivage, ce qui facilite le respect des paliers de décompression.

▪ Matériel

Pour mener à bien cette opération de cartographie il est nécessaire de préparer :

- Quatre bobines de fil (diamètre 2 ou 2,5 mm) de 200 m de longueur chacune,
- Trois petits filins de 5 m équipés de mousquetons à chaque extrémité,
- Douze plombs de 1 kg (zones rocheuses) ou 24 plombs de 1 kg (zones sableuses),
- Trois bouées grenades lestées à 1 kg (figure 18),

Figure 18 : Schéma d'une bouée grenade lestée à un kg (source : Jean de Vaugelas [11])



- Trois décamètres plastifiés,
- Six petites balises mobiles avec filin gradué et lestées à 1kg (figure 19),

Figure 19 : Schéma d'une balise mobile avec filin gradué et lestée à 1 kg (source : Jean de Vaugelas [11])



- Trois grandes ardoises de plongée au format 250 x 300 mm, équipées de calques polyester et munies de crayons plastifiés,
- Six profondimètres digitaux, que l'on s'efforcera de calibrer entre eux avant la plongée,
- Un sextant, un cercle hydrographique, ou un GPS différentiel,
- Une carte de référence la plus précise possible de la zone (1 : 25 000ème au minimum mais une carte cadastrale au 1 : 2 000ème est recommandée),
- Une photo aérienne IGN au 1:1 000ème,
- Un rapporteur articulé,
- Un compas à pointes sèches,
- Une boîte de crayons ou de feutres de couleur.

Chaque palanquée dispose du matériel suivant :

- 1 bobine de fil terminée par un plomb de 1 kg (zones rocheuses) ou 3 kg (zones sableuses),
- 1 petit filin de 5 m avec ses mousquetons,
- 3 plombs de 1 kg,
- 1 bouée grenade,
- 1 décamètre,
- 2 petites balises mobiles,
- 2 profondimètres digitaux,
- 1 ardoise avec calque et crayon.

Chaque plongeur dispose du matériel suivant :

Plongeur n° 1

- 1 bobine de fil munie d'un plomb de 1 kg,
- 2 plombs de 1 kg équipés d'un mousqueton,
- 1 profondimètre digital.

Plongeur n° 2

- 1 petit filin de 5 m muni de ses mousquetons,
- 1 ardoise de plongée pour les relevés,

Plongeur n° 3

- 2 petites balises mobiles,
- 1 bouée grenade,
- 1 profondimètre digital,
- 1 décamètre.

Nota :

1. la première bobine de fil est confiée à un plongeur externe (plongeur-assistant) ou à l'un des 3 plongeurs de la première palanquée. Dans ce cas, la première palanquée est chargée d'établir les deux premiers filins,
2. le sextant est confié à un assistant embarqué sur l'un des Zodiacs qui surveillent en surface. Il sert à relever la position des bouées grenade situées à la fin de chaque transect.

▪ Méthode

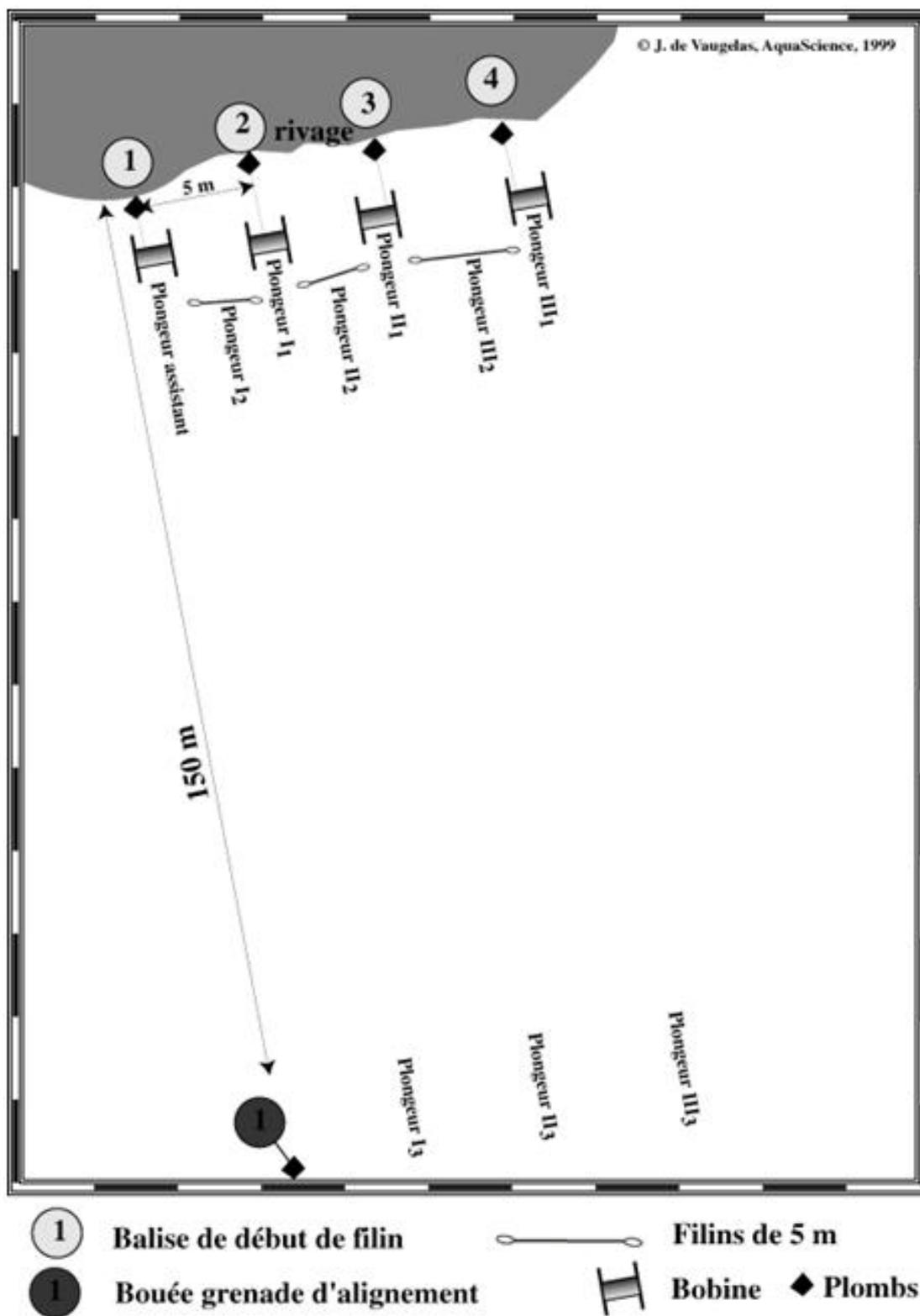
L'exercice est divisé en plusieurs phases : mise à l'eau des palanquées, établissement des couloirs, description des couloirs et récupération du matériel. Au retour, les relevés sont mis au propre et chaque biocénose est affectée d'une couleur caractéristique, puis les trois relevés sont disposés côte à côte pour créer la carte de la zone décrite en plongée. Enfin, cette carte peut être recalée dans une carte de référence de manière à s'intégrer dans les documents officiels (cartes IGN) ou un Système d'Informations Géographiques (SIG).

• Mise à l'eau des palanquées

Le soin apporté à la mise en œuvre initiale est déterminant pour le succès de toute l'opération. Il faut agir vite et de manière synchronisée, en particulier s'il y a un peu de courant latéral. En effet, le courant déporte les palanquées hors du champ d'exploration prévu. Il est illusoire de tenter cette opération lorsqu'il y a un fort courant latéral.

Les palanquées sont numérotées de I à III. Elles doivent être prêtes à partir l'une après l'autre à 2 mn d'intervalle maximum. Aussitôt à l'eau, les 4 plongeurs qui ont les bobines (i. e. le plongeur assistant et les 3 plongeurs n° 1) et les 3 plongeurs qui ont les petits filins de 5 m (plongeurs n° 2) se dirigent vers le rivage où des petites balises flottantes (préalablement installées) indiquent les endroits d'où doivent partir les filins. Ils fixent le début du filin en se servant du plomb de 1 kg comme ancre coincée dans les rochers. Si le fond est sableux (plage), prévoir 3 kgs en début de ligne (Etape 1, figure 20).

Figure 20 : Etape 1 de la cartographie des fonds marins (source : Jean De Vaugelas, AquaScience [11])

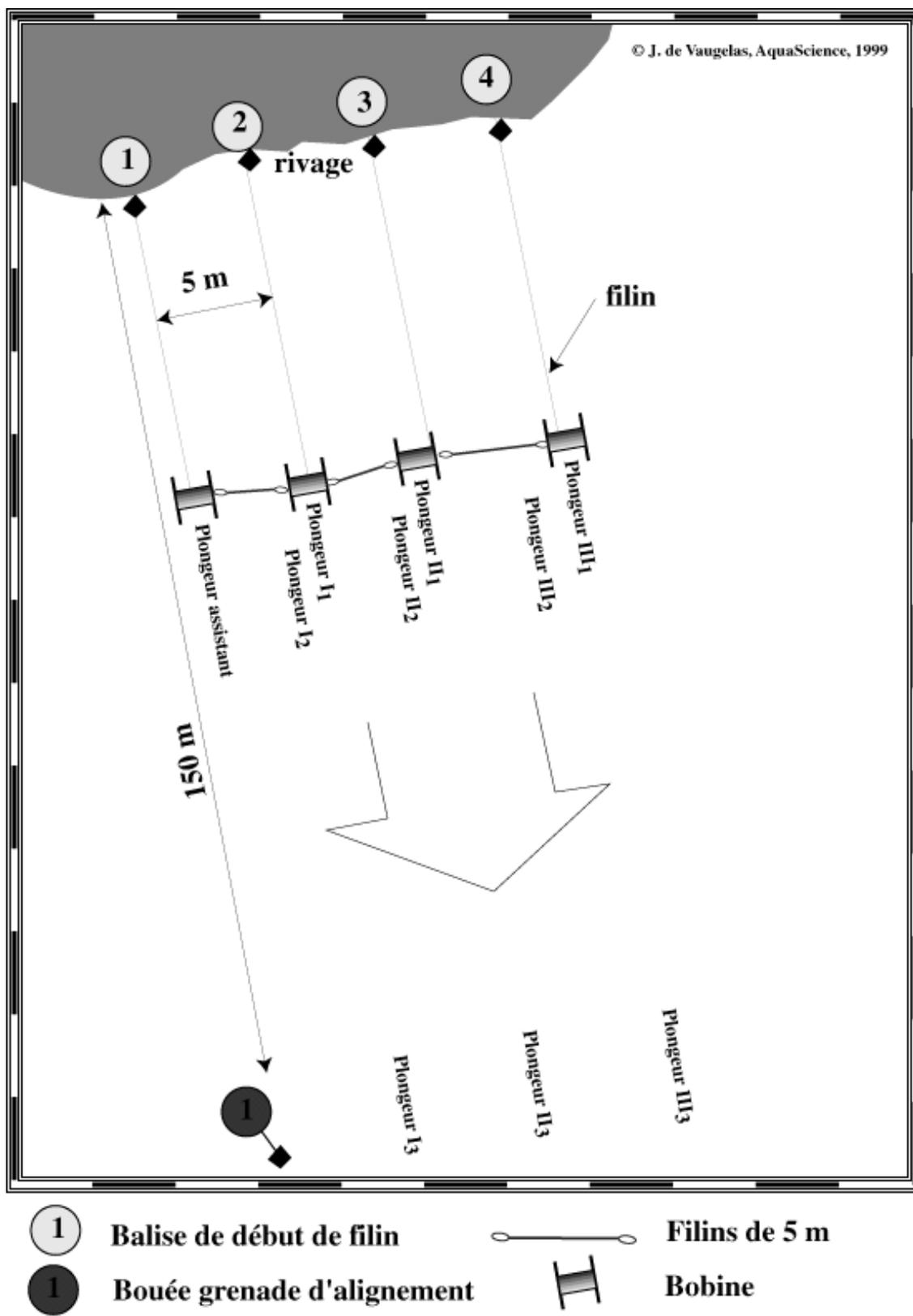


Nota : Chaque début de filin est muni d'une bobine vide qui sert à la fin de l'exercice pour rembobiner et récupérer le filin.

- *Pose des filins délimitant les couloirs*

Dès que les 4 filins sont fixés au rivage, les 4 plongeurs n° 1 déroulent une vingtaine de mètres en nageant en surface puis les bobines sont reliées entre elles par les 3 plongeurs qui ont les petits filins de 5 m munis de mousquetons. Cette étape doit aller très vite et les plongeurs n° 2 doivent veiller à ne pas emmêler les filins de 5 m dans les bobines. Les plongeurs n° 1 peuvent alors continuer à dérouler les filins en se calant sur le plongeur-assistant qui donne la direction générale. Le plongeur-assistant se dirige vers une balise située au large, à 150 m du rivage (balise préalablement installée). Comme les plongeurs qui tiennent les bobines doivent nager sur le dos pendant cette phase de la manoeuvre, il est utile qu'une personne située dans le zodiac aide le plongeur-assistant à coordonner l'avancée des plongeurs qui déroulent les filins. Les 3 autres plongeurs (plongeurs n° 2) s'efforcent de ne pas gêner ceux qui déroulent les bobines en se maintenant toujours plus au large et à gauche des plongeurs n° 1 (Etape 2, figure 21).

Figure 21 : Etape 2 de la cartographie des fonds marins (source : Jean De Vaugelas, AquaScience [11])



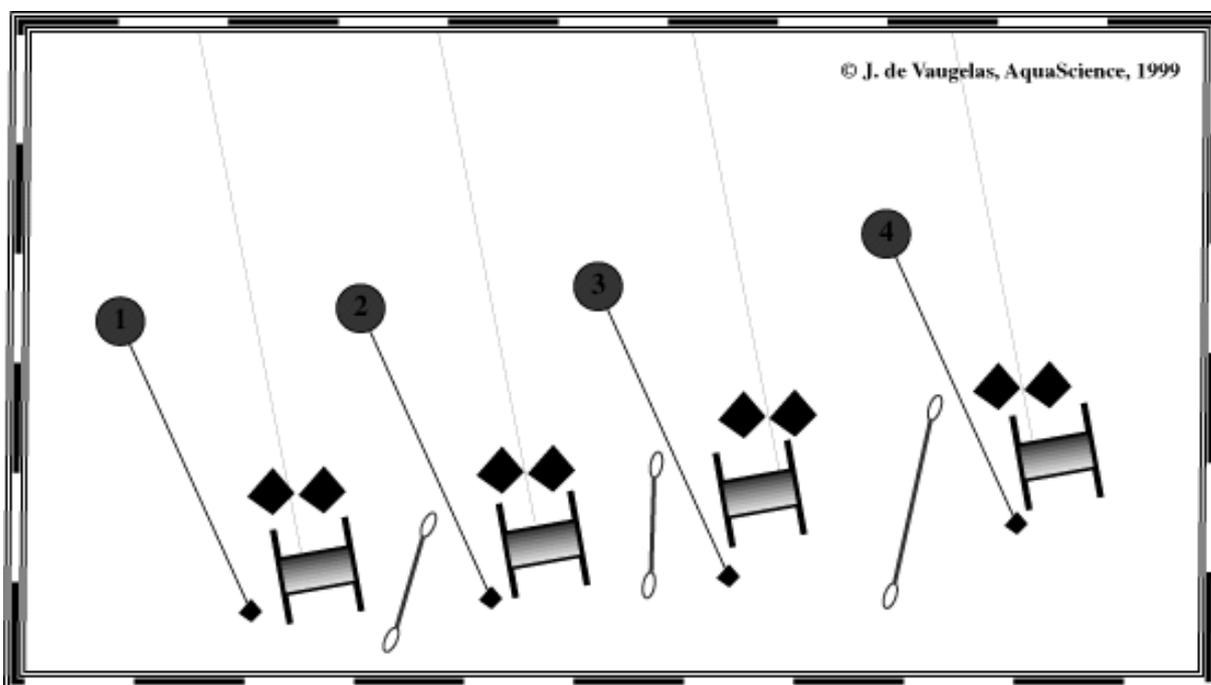
Lorsque le plongeur-assistant est parvenu à la balise située au large, il attend 1 ou 2 minutes pour que :

- les 3 autres plongeurs n° 1 qui ont les bobines soient bien positionnés et que chacun ait pris soin de retendre son filin de manière à ce qu'il soit le plus rectiligne possible,
- les autres plongeurs (plongeurs n° 2 et 3) se regroupent bien par palanquée, à gauche du plongeur n° 1.

Ensuite, au signal du plongeur-assistant, tous les plongeurs s'immergent simultanément et descendent jusqu'au fond. La synchronisation est capitale durant cette phase !

Arrivés sur le fond, les plongeurs réalisent les opérations suivantes (Etape 3, figure 22) :

Figure 22 : Etape 3 de la cartographie des fonds marins (source : Jean De Vaugelas, AquaScience [11])



◆◆ Plombs (plongeur 1) — Filins de 5 m (plongeur 2)

① Bouées grenades (plongeur 3)

- Plongeur n° 1 : tendre le fil puis le bloquer sur la poignée de la bobine par une double clé (noeud de cabestan). Fixer le filin au fond grâce aux 2 plombs de 1 kg,
 - Plongeur n° 2 : détacher les filins de 5 m et les récupérer dans une poche du gilet,
Plongeur n° 3 : installer la bouée grenade à proximité de la bobine et la libérer en s'assurant qu'elle se déroule librement jusqu'à la surface,
- Sortir l'ardoise (plongeur n° 2), le décimètre (plongeur n° 3), les profondimètres (plongeurs n° 1 et 3) et les petites balises mobiles (plongeur n° 3),
- Se regrouper au début du couloir situé à gauche du filin déroulé par le plongeur n° 1.

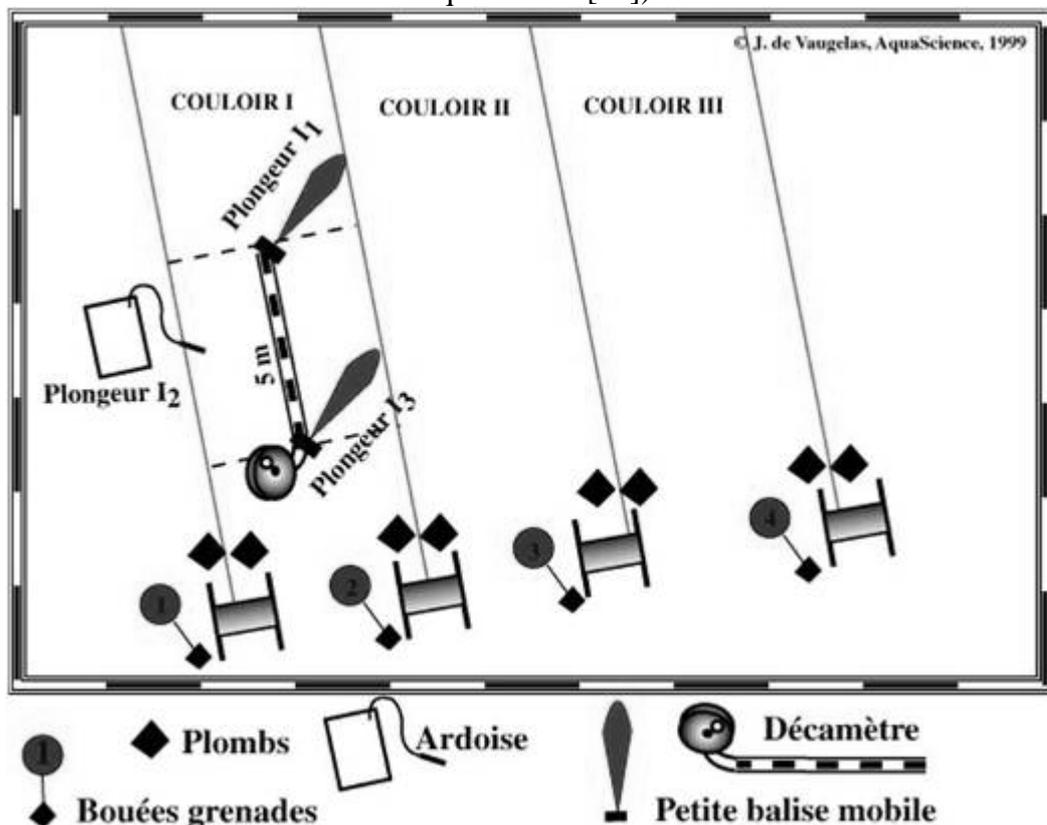
- Description des couloirs

Chaque couloir est large de 5 m et long de 150 m. Les filins ne sont pas gradués et servent seulement à guider la palanquée latéralement. Les filins gradués peuvent être utiles si les fonds sont plats ou en pente très douce. Ils sont inopérants lorsque le relief est accentué (tombants, failles, chaos de gros blocs, etc.) car il faudrait alors s'assurer, tout en les déroulant de manière rectiligne, qu'ils épousent toutes les aspérités du relief.

Pour décrire le couloir du large vers le rivage, les 3 plongeurs procèdent ainsi (Etape 4) :

- Les plongeurs 1 et 3 déroulent le décamètre et placent une petite balise mobile à 0 et 5 m, sur l'axe médian du couloir. Ceci permet au plongeur n° 2, chargé du relevé, de se situer dans un "carré" de 5 x 5 m délimité latéralement par les filins blancs et devant et derrière par les balises mobiles,
- Le plongeur n° 2 se met à 1 ou 2 mètres au-dessus du fond pour bien voir la zone à la verticale et dessiner les limites des principales biocénoses (objets métriques ou décimétriques seulement),
- Le plongeur n° 2 indique aux plongeurs 1 et 3 les endroits pour lesquels il souhaite avoir une mesure de profondeur. Ceux-ci utilisent alors leurs profondimètres et transmettent par signes la valeur mesurée,
- Lorsqu'une zone de 5 x 5 m a été décrite, les plongeurs 1 et 3 se déplacent de 5 m en repositionnant les balises mobiles et ainsi de suite jusqu'au rivage (Etape 4, figure 23).

Figure 23 : Etape 4 de la cartographie des fonds marins (source : Jean De Vaugelas, AquaScience [11])



Nota : Il est conseillé pour les deux étapes précédentes (pose des filins et description des couloirs) d'organiser une répétition générale à terre. Cette répétition permet aux plongeurs de se familiariser avec le matériel et de tester leur coordination. Le mieux est de s'installer sur une aire dégagée (un parking par exemple) pour pouvoir dérouler les filins sur une cinquantaine de mètres, poser les bouées-balises, utiliser le décamètre et les balises mobiles, etc.

Lors de la répétition générale à terre, il est également possible d'apprendre aux plongeurs à se servir d'un sextant ou d'un cercle hydrographique pour mesurer l'angle entre deux amers (cf. Relevé de la position des bouées-grenades).

- Relevés sur le terrain

Le plongeur 2, chargé des relevés et du dessin sur l'ardoise, doit être très à l'aise d'un point de vue stabilisation et être capable de réaliser rapidement des croquis réalistes et précis. Il vaut mieux prendre un plongeur qui est un peu doué pour le dessin.

La grille imprimée sur le calque polyester fixé à l'ardoise de plongée est quadrillée de manière à ce que chaque secteur de 5 x 5 m sur le terrain soit représenté par un carré de 4 x 4 cm sur le calque (figure 24). L'échelle est donc de 1 : 125ème (1 cm papier = 125 cm terrain). La graduation latérale est marquée de 5 en 5 m, de 0 (départ) à 150 m (arrivée).

Figure 24 : Feuille de dessin polyester préparé à l'avance pour le relevé topographique (source : Jean de Vaugelas, Aquascience [11])

Noms des plongeurs :	Nom de la zone cartographiée :
	Transect n° :
	Date :

25

20

15

10

05

00

↑

50

45

40

35

30

25

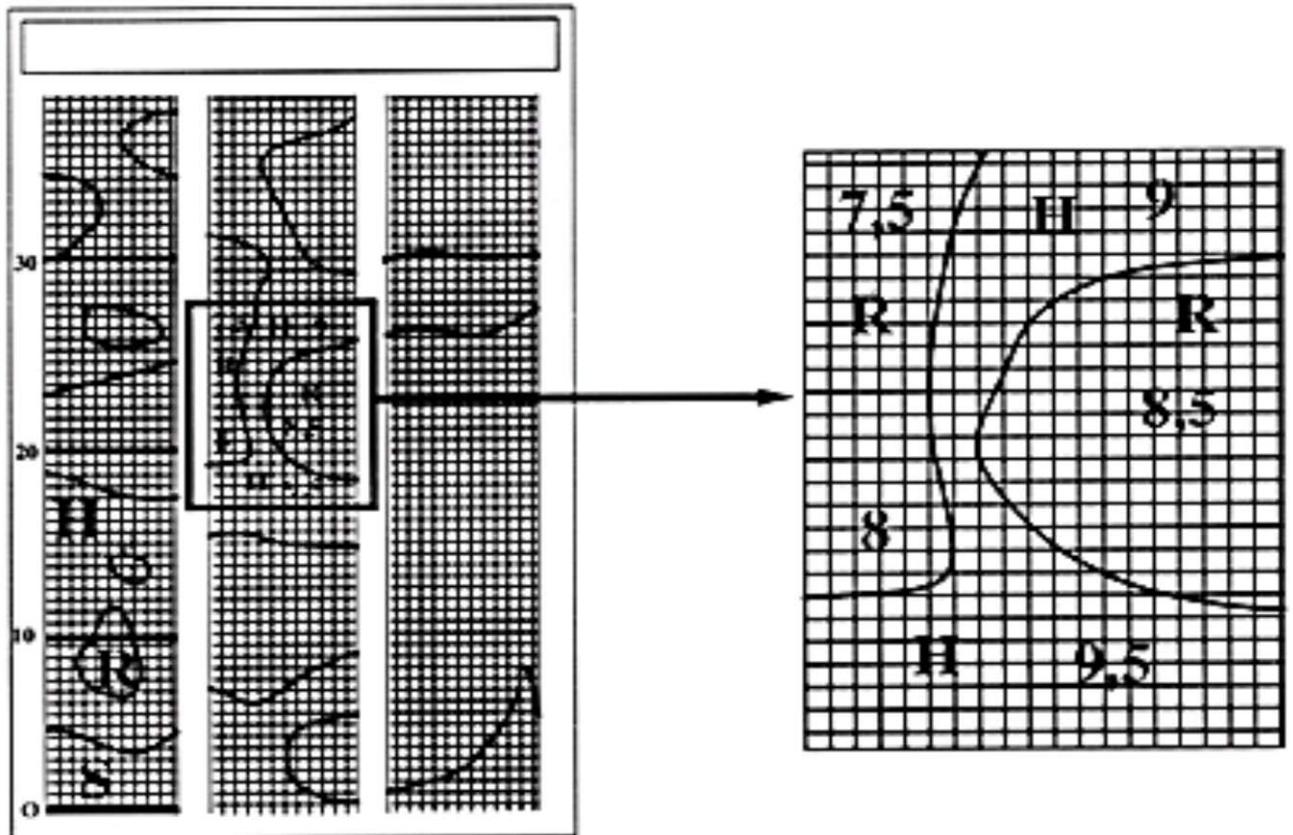
↑

Le relevé consiste à délimiter et identifier les principaux objets ou structures de chaque carré de 5 x 5 m vu à la verticale (figure 25) :

- Les limites de biocénoses (par exemple vase = V ; sable fin = SF ; graviers = G ; herbiers de *Posidonia oceanica* = HP ; prairies de Caulerpes = CAU ; etc.). Selon la zone à cartographier, il est utile d'informer les plongeurs sur les biocénoses qu'ils vont rencontrer et de normaliser d'une palanquée à l'autre la façon de coder ces biocénoses. Les limites les plus intéressantes à repérer et dessiner sont celles qui sont à cheval sur plusieurs couloirs, donc en gros perpendiculaires à l'axe des couloirs,

- Les limites des gros blocs rocheux (de dimensions métriques ou décamétriques). Il n'est pas nécessaire de dessiner tous les petits blocs de quelques décimètres de diamètre. Si ces petits blocs sont nombreux, on définit globalement une biocénose de "blocs décimétriques". Les gros blocs rocheux doivent être positionnés avec précision, en particulier s'ils sont à cheval sur deux couloirs.

Figure 25 : Exemple de relevé topographique sur l'ardoise de plongée (source : Jean De vaugelas, Aquascience [11])



RELEVES SUR ARDOISE

Par ailleurs, il est important de noter un maximum de profondeurs, en particulier à la base et au sommet des gros blocs et dans les reliefs situés à cheval sur 2 couloirs. Cela permet, lors du dépouillement des résultats, de caler les couloirs l'un par rapport à l'autre, en repérant les structures qui sont à cheval sur plusieurs couloirs.

Pendant que les 3 palanquées s'occupent de décrire les fonds, le plongeur-assistant remonte sur le zodiac et, à l'aide d'un sextant ou d'un cercle hydrographique, il relève la position des bouées-grenades par rapport à des amers à la côte.

- Relevé de la position des bouées-grenades

Quatre bouées-grenades signalent l'extrémité au large des 4 filins. La position exacte de ces bouées doit être mesurée avec précision de manière à pouvoir reporter la zone décrite sur une carte officielle (IGN). En l'absence de GPS différentiel (un GPS simple n'est pas assez précis), la méthode la plus précise consiste à relever la position de la bouée par rapport à divers amers repérés sur la carte. On utilise pour cela un sextant ou, mieux, un cercle hydrographique tenu à l'horizontale, avec lequel on fait se superposer les images de deux amers de manière à déterminer l'angle entre eux. Pendant cette opération, le zodiac est maintenu à l'aplomb de la bouée-balise. Pour chaque point à relever, il faut effectuer 3 mesures d'angles, en évitant les angles trop fermés (i. e. $< 10^\circ$) ou trop ouverts (i. e. $> 50^\circ$ avec un sextant ou $> 140^\circ$ avec un cercle hydrographique).

Le report de la position des bouées-grenades sur une carte se fait par la méthode des "arcs capables".

- Récupération du matériel

Lorsque les 3 palanquées ont terminé leur description, elles sont à proximité du rivage. Les décimètres et les bouées-balises sont soigneusement ramassés, ainsi que les ardoises avec les relevés. L'un des plongeurs va alors détacher le filin à terre et commence à rembobiner le filin sur la bobine vide qui est fixée à l'extrémité du filin. Ce plongeur peut confier son bloc à ses collègues de palanquée qui le ramèneront, de manière à être plus à l'aise pour parcourir les 150 m. En restant en surface pour éviter tout problème de plongées successives, il rembobine le filin en se dirigeant vers l'extrémité au large. Pendant ce temps, au large, le plongeur-assistant détache et récupère les plombs qui ont servi à fixer les lignes au fond. Cela facilite le travail du plongeur chargé de récupérer le filin depuis la surface. De même, le plongeur-assistant récupère les bouées-grenades avec l'aide du conducteur du zodiac.

- Résultats

- Dépouillement des données

Au retour de la plongée de description, il faut **immédiatement** :

- Mettre au propre les relevés originaux, en particulier re-écrire les légendes griffonnées à la hâte sous l'eau,
- Normaliser la présentation (mêmes symboles et couleurs pour les différentes biocénoses) des résultats de manière à pouvoir comparer les 3 couloirs décrits,
- Découper la feuille du relevé de manière à mettre bout-à-bout les sections décrites et reconstituer ainsi une bande continue présentant la totalité du couloir décrit,
- Poser bord à bord les bandes pour reconstituer l'ensemble de la zone décrite.

A ce stade du traitement des résultats, on peut déjà apprécier la qualité du travail réalisé par les trois palanquées. En particulier, la continuité d'un couloir à l'autre, des structures situées perpendiculairement à l'axe des filins est un bon indice de la qualité des relevés. Cependant, il arrive que l'une des palanquées ait "oublié" un secteur de 5 x 5 m ou compté 2 fois le même secteur ! Il se produit alors, pour une même structure, un décalage d'un couloir à l'autre. Le traitement des relevés consiste donc à rechercher ces éventuels décalages et à recalculer les couloirs

entre eux. La notation précise des profondeurs lors de la description est très utile à ce stade de l'analyse, pour la recherche des incohérences.

Une fois que les couloirs ont été correctement recalés et qu'il n'y a plus d'incohérences, on colle bord à bord les bandes. Ensuite le meilleur dessinateur du groupe s'attache à reprendre les contours des biocénoses et à améliorer la présentation de l'ensemble pour que le document puisse être intégré dans une carte de référence.

- *Intégration dans une carte de référence*

Pour la suite des opérations il est nécessaire de travailler avec un ordinateur équipé d'un véritable logiciel de cartographie. Un logiciel de dessin n'est pas suffisant car il ne possède pas certaines fonctions de déformation dont nous avons besoin pour intégrer la carte de terrain (sans projection) dans une carte de référence (qui relève d'un système de projection : projections cylindriques, projections coniques, etc.). Sans entrer dans les détails de la cartographie numérique, il est important de connaître au moins la succession des étapes clés de la transformation du document initial :

- Digitalisation des contours avec une table à digitaliser ou directement à l'écran si l'on a pu scanner le document. Le relevé de terrain est alors manipulable en format numérique: c'est le document A. Les débuts de filins à terre sont nommés A1 à A4 et les extrémités au large sont nommées A5 à A8,
- Calcul et report par la méthode des "arcs capables" de la position des 8 bouées-grenades (4 à terre et 4 au large) sur la carte de référence : c'est le document B. Les débuts de filins à terre sont nommés B1 à B4 et les bouées-grenades au large sont nommées B5 à B8,
- Dans le logiciel de cartographie on fait correspondre deux à deux les points A1 à A8 aux points B1 à B8. On effectue alors une transformation affine qui permet de recalculer au mieux le document A par rapport au document B. Le document A est alors déformé de manière à ce que la correspondance entre les amers A et les amers B soit la meilleure possible. On a ainsi "géoréférencé" notre document A et il est maintenant totalement intégré à la carte de référence. On peut dès lors effectuer sur le document A toutes les mesures de distance et de surface que l'on ferait sur la carte de référence et connaître en tout point les coordonnées géographiques (latitude, longitude).

- *Intégration dans un Système d'Informations Géographiques (SIG)*

Un Système d'Informations Géographiques (S.I.G.) consiste à faire interagir une carte numérique et une base de données. Chaque objet (point, ligne, surface) de la carte possède une fiche dans une base de données, contenant tous les attributs descriptifs que l'on souhaite associer à l'objet.

Par exemple, pour une surface d'herbier de Posidonies, la fiche signalétique précisera le nombre de feuilles par m², l'état physiologique, les espèces associées, etc. Pour une maison, on pourra fournir toutes sortes d'informations qualitatives et quantitatives sur le bâtiment et ses habitants, etc.

Il est avantageux d'intégrer une carte numérique dans un SIG car cela permet de "poser des questions " complexes à l'ensemble :

- Questions d'ordre "spatial", que l'on pose à la carte : quels sont tous les objets qui sont dans tel périmètre ? A quelle distance est tel objet de tel autre ? Quels sont les voisins de cet objet ? Quelles sont les coordonnées géographiques de cet objet ? Etc. Une fois les objets identifiés on peut demander de sortir leurs fiches de la base de données,
- Questions d'ordre "attributaire", que l'on pose à la base de données : quelles sont les maisons qui ont été construites > 1950 et < 1990 **ET** qui sont habitées par des familles **OU** par des retraités **ET** qui sont dans le Boulevard Leclerc ? Les requêtes dans la base de données font appel à des opérateurs booléens : et, ou, > à, < à, à l'exclusion de, etc. Dès que la requête a été traitée et qu'un certain nombre de fiches ont été sorties de la base, on peut visualiser sur la carte la position des objets identifiés.

On voit donc que la combinaison "carte - base de données" permet de mener un certain nombre d'analyses sur un territoire. Les SIG sont largement utilisés dans de nombreux secteurs de l'économie (transports, vente par correspondance, implantation de sites industriels, etc.), de l'administration (police, armée, pompiers, etc.), de la recherche (environnement, aménagement, géographie, etc.), des gestionnaires de réseaux (EDF-GDF, Lyonnaise des Eaux, etc.) et des gestionnaires de villes (cadastre électronique, banque de données urbaines, SDAU, POS, etc.). En fait partout où des données peuvent être associées à un point géo-référencé

- Conclusion

L'exercice de cartographie sous-marine présenté ici a pour but de connaître les caractéristiques essentielles : topographie et limites des biocénoses du territoire de notre étude.

Il peut être utilisé comme base pour réaliser la cartographie fine d'un site, en associant des scientifiques et des plongeurs amateurs. En effet, si les plongeurs amateurs sont bien encadrés, ils peuvent être d'une grande efficacité pour aider les scientifiques à établir les filins et même, pour les plus motivés, à participer aux opérations de description. Un tel chantier de cartographie s'apparente alors à un chantier d'archéologie sous-marine où des plongeurs bénévoles viennent assister les archéologues.

Il est recommandé de prendre son temps et, en particulier de s'assurer que les filins pourront rester en place pendant toute la durée des opérations de description, qui peuvent parfois durer plusieurs jours. Il faut alors, tous les 50 mètres par exemple, fixer chaque filin au fond avec des plombs, pour éviter qu'ils soient déplacés par des courants latéraux. De plus, il faut surveiller la zone de manière à ce qu'aucun engin de pêche ou une ancre ne vienne s'accrocher dans les filins.

Bien que cette méthode ne demande pas un investissement matériel trop important, sa pratique au Sénégal demande quelques aménagements, tenant compte du contexte humain, matériel et de la houle parfois importante dans l'enceinte du parc.

c. Méthode modifiée adaptée aux conditions de l'étude

J'ai donc créé une méthode simplifiée adaptée au nombre de plongeurs (6) et au matériel dont nous disposons. J'ai décidé de l'appliquer dans un premier temps au niveau de la baie des phoques car cette baie est un peu à l'abri de la houle, peu profonde et présente une bonne densité en ormeaux. Voici la méthode aménagée que j'ai créée et exposée aux plongeurs de l'équipe :

- Liste du matériel nécessaire (figure 26)

Figure 26 : Tableau représentant la liste de matériel par plongeur pour effectuer l'opération de cartographie des fonds marins

<u>Matériel des plongeurs I₁, II₁:</u>	<u>Matériel des plongeurs I₂, II₂:</u>	<u>Matériel du plongeur II₃:</u>	<u>Matériel du plongeur A= I₃:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • bobine de fil • 5kg de lest donné par le bateau pour fixer les bobines • manomètre à bulle • chaîne de mesure (chaîne fine graduée de 5 m de long) 	<ul style="list-style-type: none"> • filin de 5m • ardoise avec manomètre à bulle 	<ul style="list-style-type: none"> • manomètre à bulle • 4 bouées mobiles 	<ul style="list-style-type: none"> • bobine de fil • 5kg de lest donné par le bateau pour fixer les bobines • manomètre à bulle • 4 bouées mobiles données par le bateau au niveau des bouées d'arrivée

- Installation des couloirs

Toutes les opérations doivent être effectuées rapidement pour éviter les dérives dues au courant.

Déposer trois balises de début de ligne (1, 2 et 3 en vert sur le schéma) et une balise de fin de ligne (1 en rouge sur le schéma). Etant donné le courant, il faut les lester de 5 kg.

Fixer (plongeurs A, I₁, II₁) le début du filin aux poids de 5 kg des balises de départ.

Les trois plongeurs-bobines (A, I₁, II₁) s'éloignent d'une vingtaine de mètres en déroulant le fil en direction de la bouée d'arrivée 1.

Les plongeurs n°2 (I₂, II₂) fixent les filins entre les bobines de manière à les espacer de 5m.

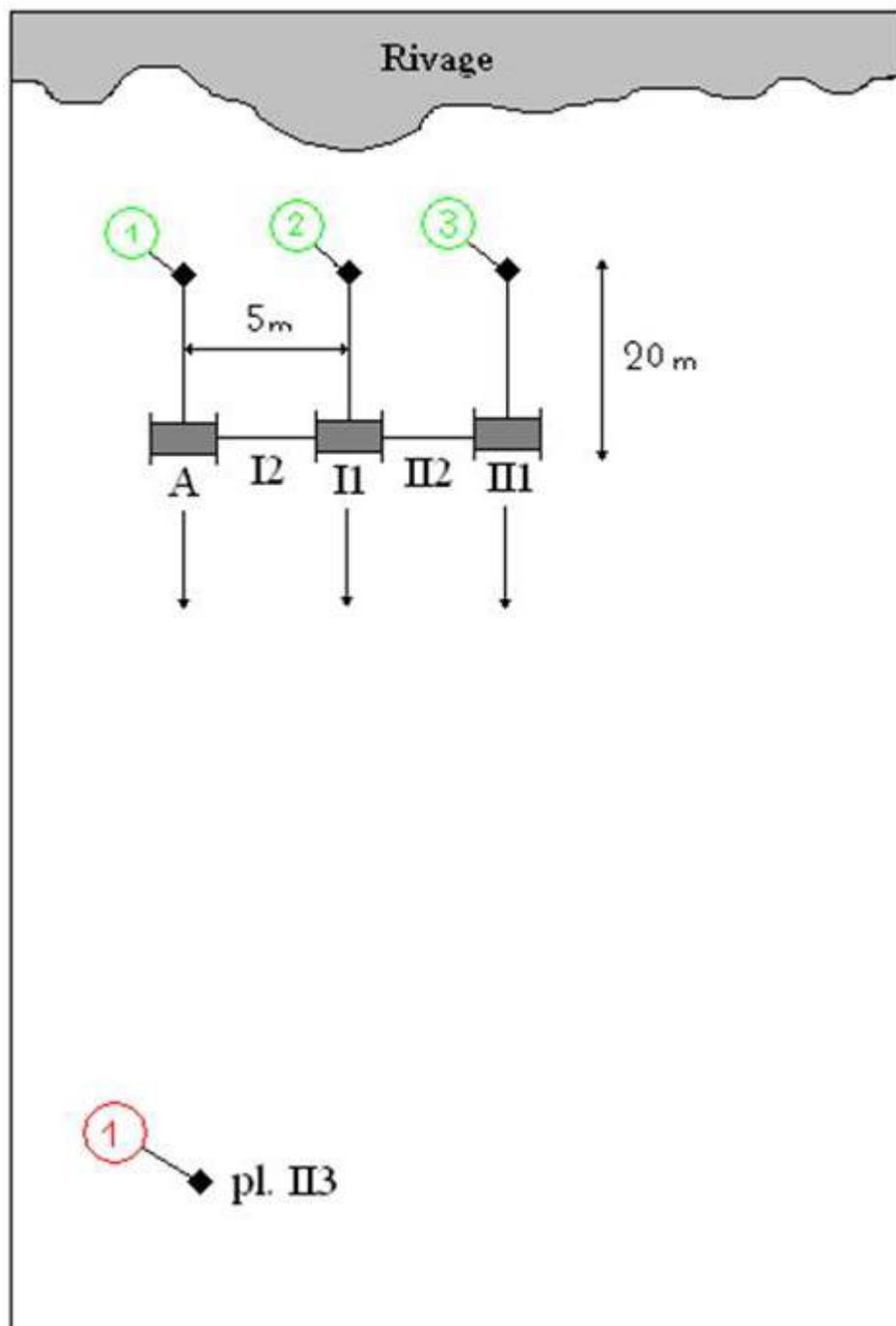
Les plongeurs n°1 continuent à dérouler le filin en se calant sur le plongeur-assistant (A) qui vise la bouée de fin de ligne. Les plongeurs dérouleurs sont en surface sur le dos ; le bateau peut aider à la coordination des déplacements. Les plongeurs n°2 ne doivent pas gêner la progression des plongeurs n°1. Ils se maintiennent au large à gauche des plongeurs n°1.

Une fois arrivé au niveau de la bouée de fin de ligne il faut retendre le filin pour qu'il soit le plus rectiligne possible.

Au signal du plongeur assistant (A), tous les plongeurs s'immergent simultanément et descendent jusqu'au fond : SYNCHRONISATION CAPITALE !

Au fond, les plongeurs n°1 tendent le fil puis le bloquent sur la poignée de la bobine par un nœud de cabestan, ils immobilisent les bobines au fond avec 5 kg de lest. Les plongeurs n°2 installent 2 bouées de fin de ligne (2 et 3 en rouge sur le schéma) au niveau des bobines avec 5 kg de lest à leur base. Le plongeur II₃ assiste les autres (figure 27).

Figure 27 : Schéma des premières étapes de cartographie des fonds marins dans la baie des phoques



- | | | | |
|---|-----------------|---|------------|
| ◆ | Poids | ▬ | Bobine |
| ① | Bouée de départ | — | Fil de 5 m |
| ① | Bouée d'arrivée | | |

- Description des couloirs

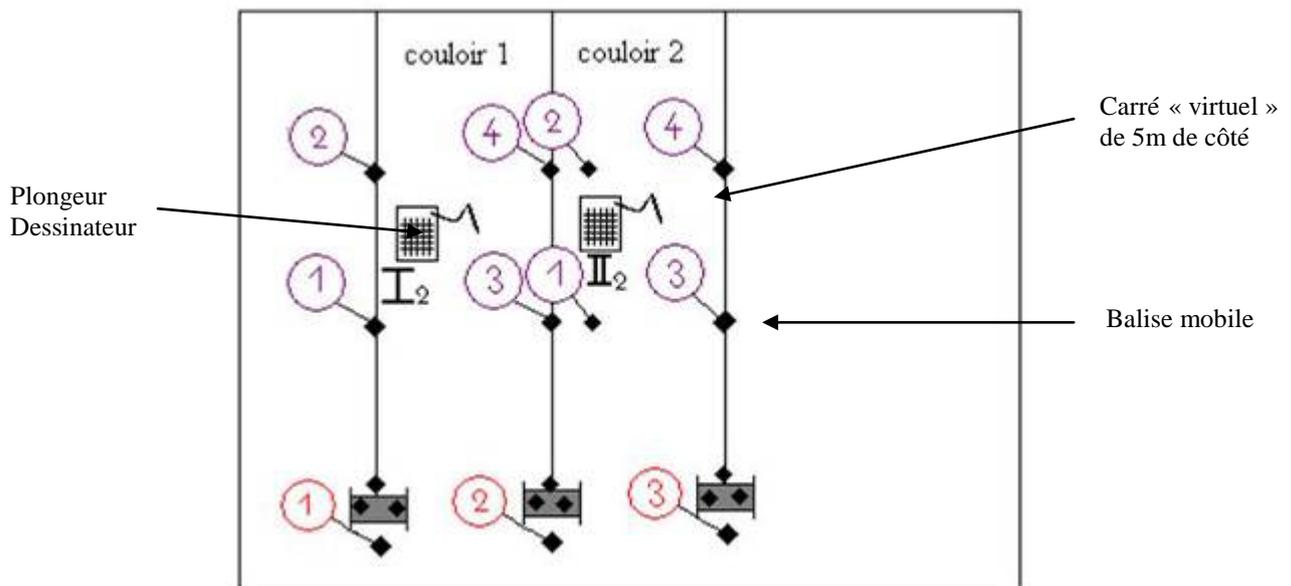
Le plongeur assistant (A) devient le plongeur I₃. Nous avons donc deux équipes de trois plongeurs.

Les plongeurs n°2 de chaque équipe sortent leurs ardoises ; Les plongeurs n°1 et n°3 sortent leurs profondimètres ; les plongeurs n°1 sortent les chaînes de mesure. Les plongeurs n°3 préparent les bouées mobiles. Rq : Le plongeur assistant (A) récupère les bouées mobiles au niveau de la bouée de fin de ligne 1.

- 1er carré

Le plongeur n°3 de chaque équipe tient l'extrémité de la chaîne de mesure à la verticale du dévidoir et à une profondeur compatible avec un déploiement horizontal de la chaîne de mesure. Le plongeur n°1 de chaque équipe prend l'autre extrémité de la chaîne et mesure 5 m le long du filin extérieur en maintenant la chaîne tendue à l'horizontale, il place alors la balise mobile 1 flottant à environ 2 m du fond. Les plongeurs n°1 et 3 passent au filin intérieur et répètent les opérations précédentes. Le plongeur n°1 place ainsi la balise mobile 3 pour finir de dessiner un carré de 5 m de côté (figure 28). Rq : La première palanquée à avoir placé sa balise extérieure effectue la mesure, la seconde palanquée se contente de poser sa balise mobile 1 à côté de la balise mobile 3 de la palanquée précédente à 50 cm à l'intérieur du couloir.

Figure 28 : Schéma des étapes de relevé topographique pour une zone de 5 m²



- Carrés suivants

Le plongeur n°1 bloque la chaîne de mesure à la verticale de la balise mobile 1 à une profondeur compatible avec un déploiement horizontal de la chaîne. Le plongeur n°3 mesure 5 m à l'horizontale le long du filin et place la balise mobile 2. Les plongeurs n°1 et 3 passent au filin intérieur et répètent les opérations précédentes. Le plongeur n°3 place la balise mobile 4.

Simultanément, les plongeurs n°2 se mettent à 2 m au-dessus du fond pour bien voir la zone à la verticale. Ils se stabilisent et prennent leurs repères tandis que les plongeurs n°1 et 3 matérialisent le carré. Puis, les plongeurs n°2 dessinent les limites des principales biocénoses (objets métriques et décimétriques seulement) et indiquent profondeur, nature, taille.

Les plongeurs n°2 indiquent par signes aux plongeurs n°1 et 3 les mesures et les profondeurs qu'ils veulent connaître. Les plongeurs n°1 et 3 font les mesures et transmettent les résultats par signes. Le n°2 répète systématiquement la mesure transmise afin de la faire confirmer. Les plongeurs progressent de carré en carré en dessinant le fond jusqu'à l'extrémité des lignes.

J'ai présenté cette technique à l'équipe de plongeurs à l'aide d'une grande carte où chaque plongeur et chaque balise était représenté par des « pions » que je pouvais placer et déplacer à volonté afin d'illustrer mon propos. Ce subterfuge s'est révélé absolument nécessaire vu la complexité des opérations envisagées.

3. Fabrication du matériel nécessaire

Le matériel nécessaire n'étant pas disponible à Dakar, j'ai décidé de le fabriquer moi-même. Après une première étape de conceptualisation en équipe avec Stéphane Guzylack, j'ai réalisé les plans, choisi les matériaux puis je suis passé à la fabrication, le tout en tenant compte des contraintes d'utilisation et des matériaux disponibles.

J'ai fabriqué huit ardoises de plongée, 4 bobines de 200 m de fil, le tout en plexiglas pour sa résistance et sa densité. En effet, le bois comme le métal auraient trop modifié la flottabilité des plongeurs. J'ai également fabriqué les balises mobiles à l'aide de bouteilles d'eau en plastique peintes en rouge.

a. Ardoises de plongée

Il fallait pouvoir positionner des instruments de mesure dessus, avoir un plan de travail quadrillé pour le dessin. Malheureusement, le seul plexiglas trouvé à Dakar était transparent il a donc fallu le peindre (figure 29). De plus pour que le quadrillage ne disparaisse pas avec les dessins lorsque l'on efface ceux-ci, il a fallu le graver, c'est-à-dire déposer l'encre indélébile dans des rigoles préparées au cutter. Il fallait également peindre un bord en rouge afin de retrouver plus facilement l'ardoise sous l'eau au cas où celle-ci serait perdue (figure 30). Avec le recul, il aurait fallu de plus graduer un des bords afin de pouvoir effectuer de petites mesures ou au moins avoir un repère de taille une fois sous l'eau.

Figure 29 : Photographies des différentes étapes de fabrication des ardoises de plongée.



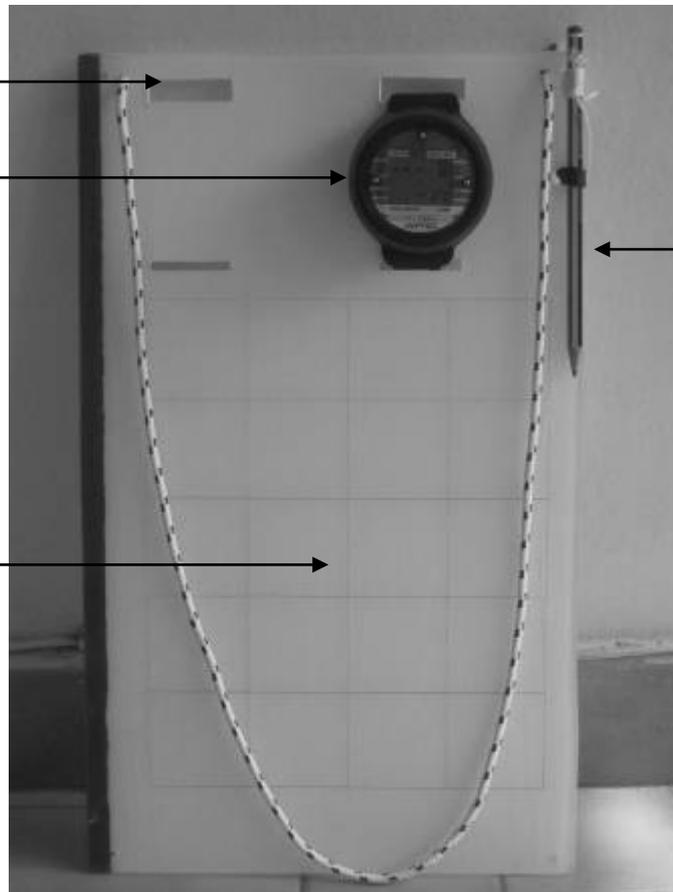


Figure 30 : Photographie d'une ardoise de plongée terminée.

Support pour
appareillage de mesure

Profondimètre - Timer

Surface d'écriture
quadrillée

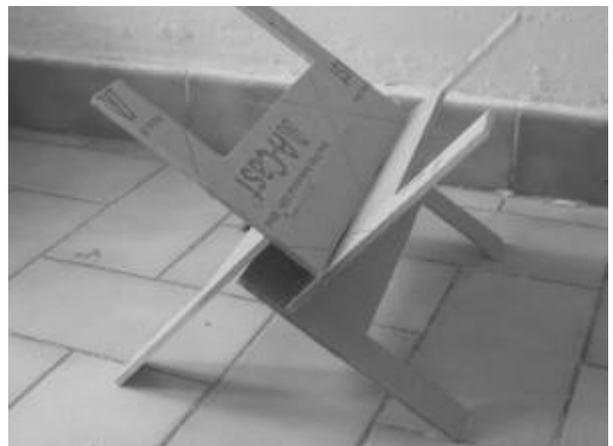
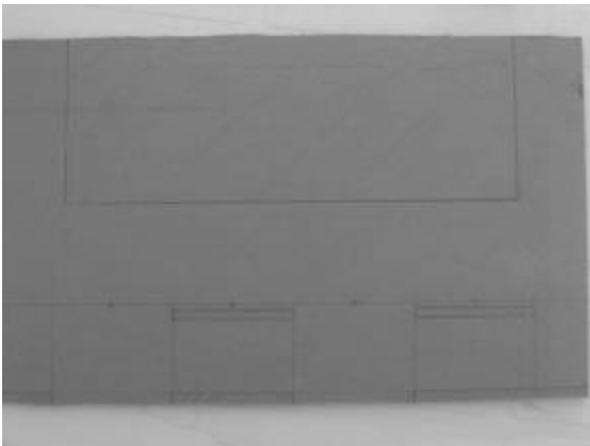
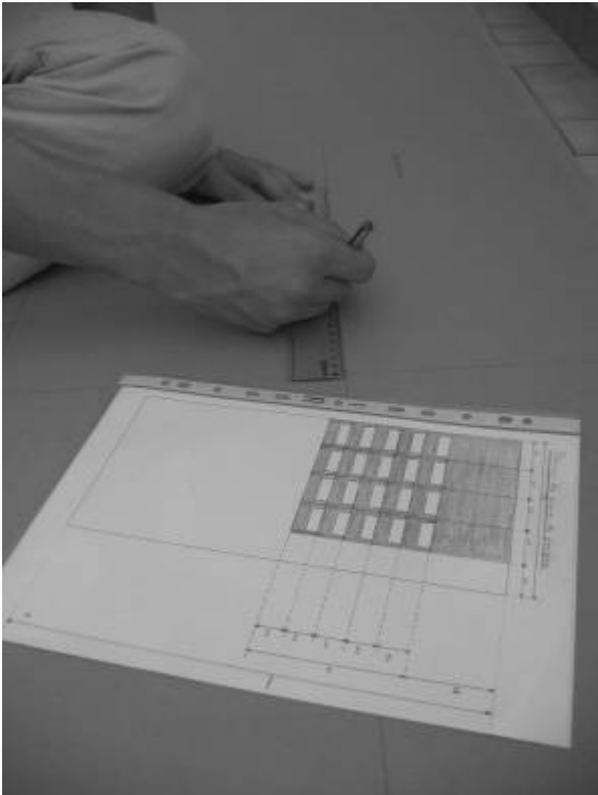


Crayon mine
carbone

b. Bobines de fil

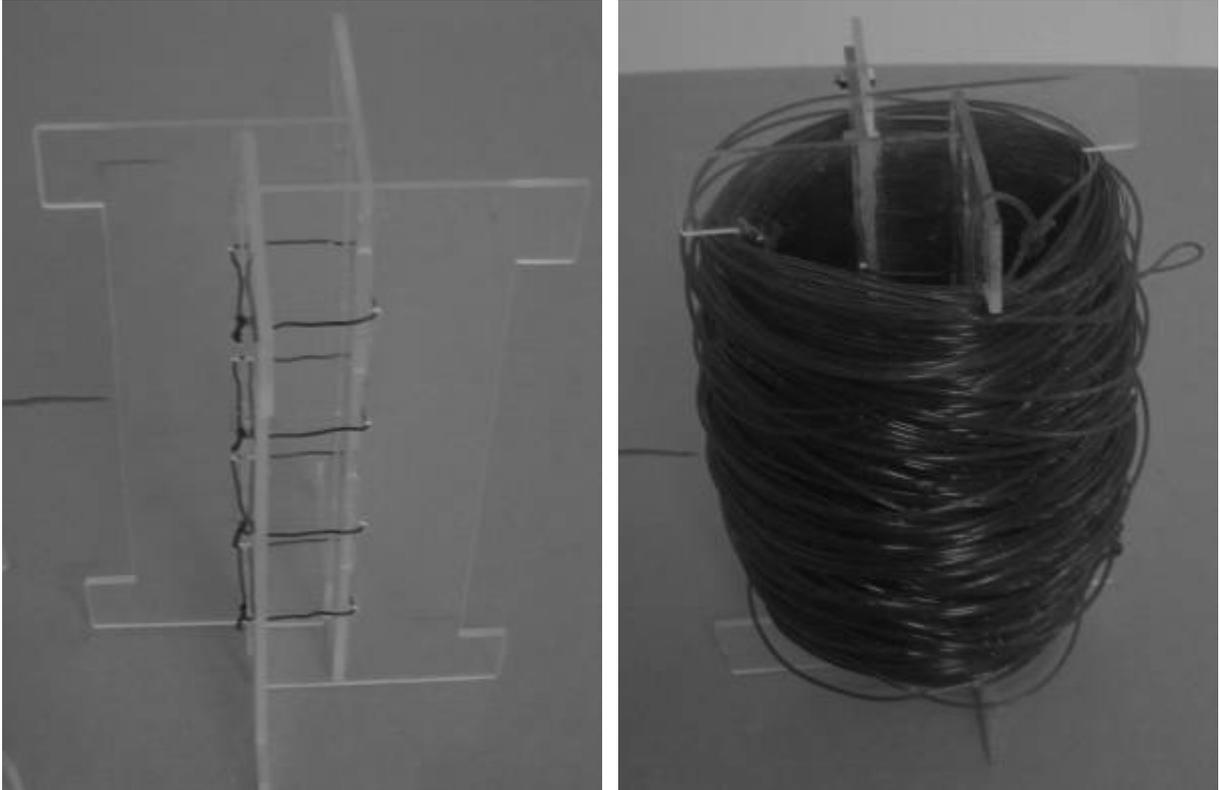
Elles devaient être suffisamment résistantes et accueillir 200 m de fil de pêche en nylon mono filament de 2 mm de diamètre (résistance 200 kg). Le fil de pêche a été choisi pour sa forte résistance à l'usure, son faible encombrement et son coût, de loin le plus raisonnable (figure 31).

Figure 31 : Photographie des différentes étapes de fabrication des bobines de fil.



Les ailettes des bobines ont été par la suite raccourcies car elles étaient trop fragiles et des ailettes plus courtes suffisaient à contenir tout le fil (figure 32). De plus, j'ai cerclé les bobines avec du fil de fer gainé pour rendre l'ensemble encore plus solide ; en effet les 4 parties constituant chaque bobine étaient uniquement collées et emboîtées à l'origine.

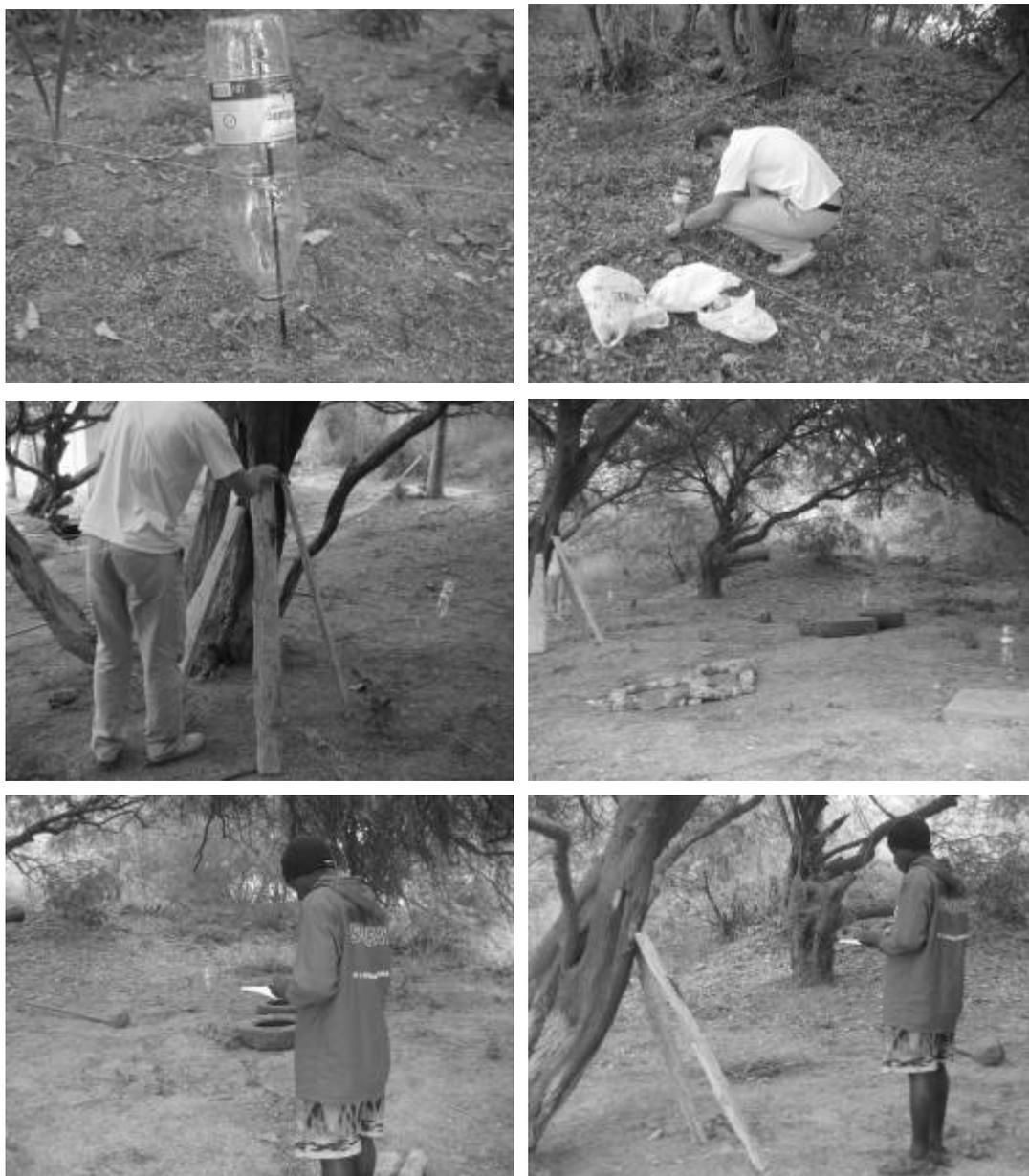
Figure 32 : Photographie d'une bobine de fil après ajustement et mise en place du fil nylon 1mm.



4. Entraînements à la réalisation de cartographie sous-marine

L'étape suivante a consisté en des entraînements sur terre pour cartographier une zone avec un peu de relief et de végétation. Les premières fois, les intervenants ont été autorisés à parler afin de bien comprendre le rôle et de pouvoir leur fournir des explications. Puis, dans un deuxième temps, toute communication a dû avoir lieu par l'intermédiaire de signes comme ce sera le cas sous l'eau. Ensuite, j'ai aménagé une zone de 50 m² constituée de deux carrés successifs de 5m x 5m (figure 33). J'y ai placé des objets du type parpaing, pneu, planches, etc. formant des figures diverses et débordant des carrés. Afin de sélectionner le plongeur le plus apte au dessin, chacun a successivement représenté la zone sur un temps donné.

Figure 33 : Photographies des entraînements à terre à la réalisation de tracés topographiques.



Par la suite, après avoir effectué quelques plongées sur le parc, il s'est avéré qu'il fallait encore modifier la technique de topographie. En effet la houle et les courants marins importants déplaceraient trop rapidement les bouées et de plus l'Océanium ne pourrait pas fournir suffisamment de lest. J'ai donc décidé de fixer les extrémités des lignes sur des fers à béton de 80 cm enfoncés dans le sol à l'aide de maillets et de remplacer les balises flottantes mobiles par des bouteilles enfichées sur des fers à béton de 50 cm plantés dans le fond. Les techniques de déplacement durant les opérations restent les mêmes mais au lieu de placer des balises lestées, celles-ci viennent chapeauter les fers à béton.

Au final, nous avons effectué un premier essai sur une zone restreinte avec une mer un peu houleuse. Cet essai bien qu'imparfait était très encourageant, malheureusement nous n'avons pas eu l'occasion de renouveler l'expérience par la suite. Je reste néanmoins persuadé de la faisabilité des relevés topographiques avec un peu d'entraînements.

B. Comptage des ormeaux

1. Méthode de comptage

La méthode de comptage que j'ai retenue s'inspire de plusieurs techniques qui ont été utilisées dans différents contextes afin d'évaluer les populations d'ormeaux. Elle s'appuie tout d'abord sur l'utilisation de transects. Un transect est une ligne virtuelle (que l'on matérialise) le long de laquelle on effectue des relevés. Cette méthode est utilisée dans plusieurs études [7, 19, 37, 38] et selon plusieurs modalités. Deux types de transects peuvent être utilisés en fonction du profil des fonds sous-marins. Sur un tombant (fortes variations de profondeur sur une très courte distance), il sera plus intéressant de travailler sur des transects positionnés selon les courbes de niveau [38], afin d'éviter un transect de seulement 30 m de long et qui démarre de 5 m de profondeur pour descendre à 20 m de profondeur. Ce genre de transects serait particulièrement adapté aux abords de Lougne.

Sur une zone où la profondeur varie progressivement, on choisira plutôt des transects perpendiculaires au rivage [7]. Ce type de transect serait plutôt adapté à des relevés dans la baie des phoques. Il permet notamment d'évaluer la densité en ormeaux en fonction de la profondeur dans une zone en particulier en traçant un graphique de la topographie du transect (profondeur en fonction de la distance depuis l'origine du transect).

Pour effectuer notre échantillonnage, on positionne différents transects de 50 m de long sur une carte précise du PNIM comprenant idéalement des coordonnées GPS. Notre connaissance de la topographie des fonds nous permet de sélectionner le type de transect adapté (perpendiculaire au rivage ou le long d'une courbe de niveau). C'est pourquoi, la réalisation de cartes topographiques des fonds est un préalable nécessaire. On numérote ensuite chacun de ces transects pour les identifier puis on tire des numéros au hasard pour sélectionner les transects le long desquels on va effectuer nos relevés.

Plusieurs techniques de tirage au sort s'offrent à nous.

On peut effectuer un tirage au sort entre tous les transects sans tenir compte du type de fond.

On peut également « stratifier la population » en tenant compte de nos connaissances sur les ormeaux. On catégorise alors les transects selon 3 types de substrat : sableux, rocheux, éboulis et on calcule ensuite la proportion de chacune des catégories. Enfin, on tire au sort des transects dans chacune des zones au prorata de leurs tailles respectives.

On peut également ne pas respecter un tirage au sort au prorata des tailles des zones. En effet, on sait déjà que la présence d'ormeaux sur du sable est exceptionnelle. On peut donc décider de concentrer nos efforts de comptage sur les zones où l'on sait que l'on va rencontrer des ormeaux. On obtient ainsi un maximum d'information sur les zones d'intérêt. Cependant, cette technique plus séduisante et sûrement la plus adaptée nécessite une interprétation statistique rigoureuse et plus complexe, l'idéal étant alors de faire appel à un statisticien.

Une fois les transects sélectionnés, il faut les matérialiser sur le terrain. Pour cela, il faut déterminer précisément le point de départ du transect soit à l'aide d'un GPS différentiel, soit à l'aide d'un compas marin. Une fois la balise de départ positionnée, un plongeur plante un fer à béton à son niveau et fixe l'extrémité d'une bobine de fil au fer. Il déroule ensuite la bobine en suivant un plongeur équipé d'un compas et qui maintient le bon cap en avançant de relief en relief afin d'éviter une dérive latérale due au courant. Une fois la bonne longueur déroulée, les plongeurs plantent alors un deuxième fer sur lequel ils fixent l'extrémité du câble. Ils lâchent alors une balise en surface afin qu'une personne restée sur le bateau puisse vérifier si l'extrémité terminale du transect est bien positionnée. Dans ce contexte, les techniques de plongée développées dans le cadre de l'étude de la topographie sous-marine trouvent une deuxième application. En effet, la mise en place d'un transect correspond plus ou moins à la première étape de la réalisation d'une carte sous-marine topographique.

Les plongeurs vont ensuite effectuer le comptage sur une bande de 1 mètre centrée ou accolée au fil. Deux méthodes de comptage sont alors possibles. Soit le plongeur matérialise le couloir de 1 mètre de large par une règle centrée sur le fil [38]. Il progresse alors avec la règle et compte tout ce qui se présente dans cette zone de 1m de large. Soit, et cette méthode semble plus intéressante, en utilisant un cadre de 1m² déplacé mètre après mètre [4, 5, 38]. Le plongeur note pour chaque cadre, la profondeur (nécessaire uniquement dans le cas de transects perpendiculaires au rivage), la nature du substrat (sableux, rocheux, éboulis, la présence d'algues encroûtantes), le nombre d'ormeaux, leur taille (à l'aide d'un pied à coulisse), la présence de prédateurs (étoiles de mer ou pieuvres par exemple) ou de compétiteurs (oursins par exemple).

Ce genre de relevé avait permis de mettre en évidence, pour l'espèce *Haliotis kamtschatkana*, une corrélation positive entre la taille des ormeaux et la quantité de macroalgues benthiques, une corrélation négative entre la taille des ormeaux et l'abondance en *Strongylocentrotus franciscanus* (oursin rouge), une corrélation négative entre l'abondance en ormeaux et l'abondance des prédateurs [38].

La fréquence des relevés et le nombre de transects étudiés dépend de la disponibilité des membres de l'équipe de plongeurs. Plus le nombre de relevé est élevé plus notre évaluation de la population d'ormeaux est statistiquement fiable.

Enfin, l'ormeau étant une espèce à tendance nocturne, il serait nécessaire d'effectuer le comptage tantôt de jour, tantôt de nuit [31]. Par exemple, effectuer le recensement sur un transect de jour puis renouveler ce comptage la nuit sur le même transect permettrait de confirmer la tendance à la vie nocturne des ormeaux et aussi d'évaluer alors la population de façon plus fiable. Etant donné les contraintes liées à la plongée de nuit, une étude préalable ayant pour objectif de mettre en évidence un coefficient entre le nombre d'ormeaux comptés de jour et de nuit sur un même transect serait d'un véritable bénéfice pour la suite puisque cela permettrait d'effectuer les mesures de jour et d'appliquer le coefficient modificateur ad hoc pour évaluer finement la population sans être contraint d'effectuer les relevés de nuit.

2. Fabrication du matériel nécessaire

J'ai fabriqué deux règles de comptage de 1m en plexiglas et deux cadres de comptage de 1m².

Ces cadres réalisés en plexiglas ont été ensuite « quadrillés » tous les dix cm avec du fil de pêche de manière à faciliter le comptage et le repérage (figure 34 et 35).

Figure 34 : Schéma des cadres de comptage (distance en millimètres).

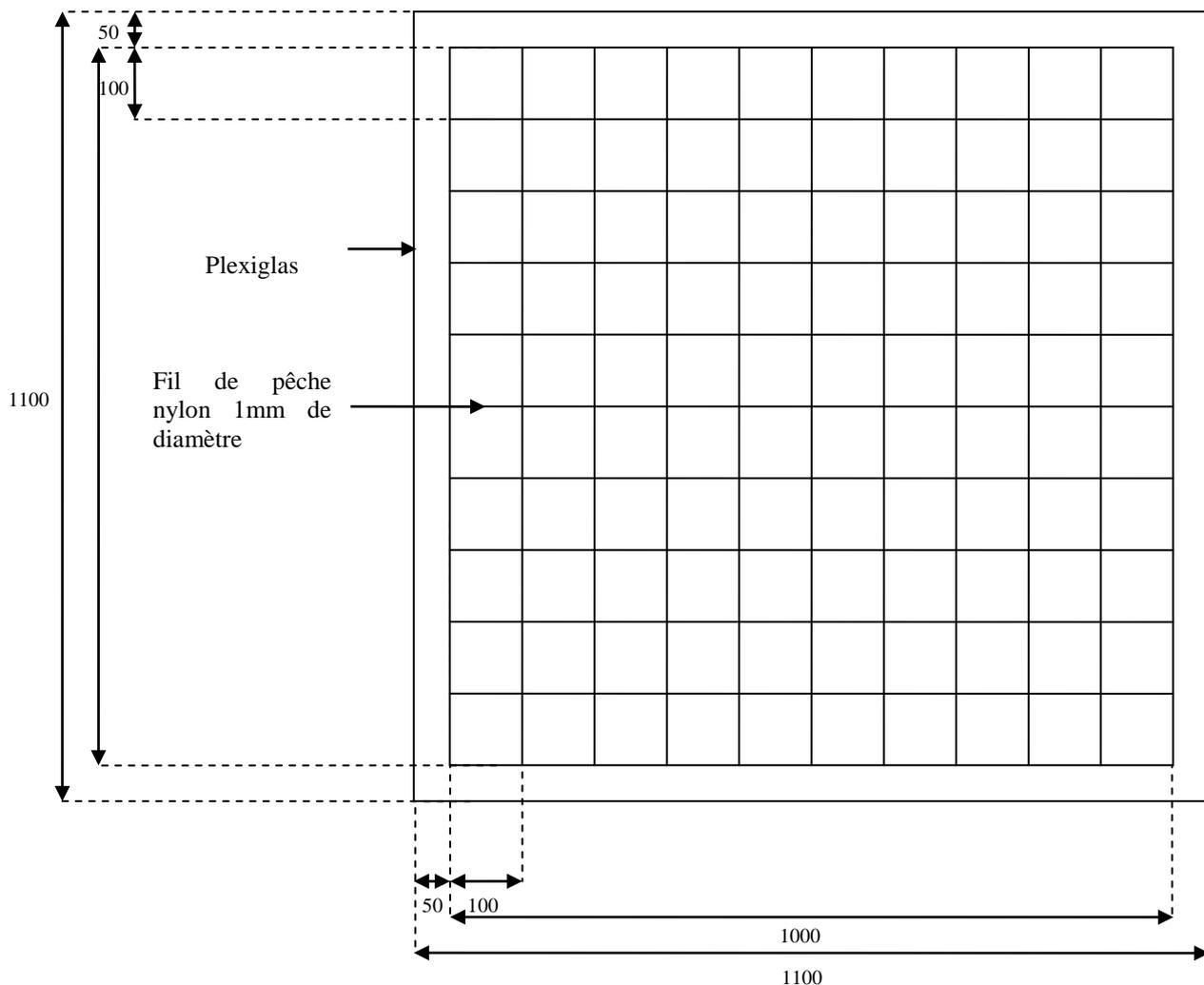
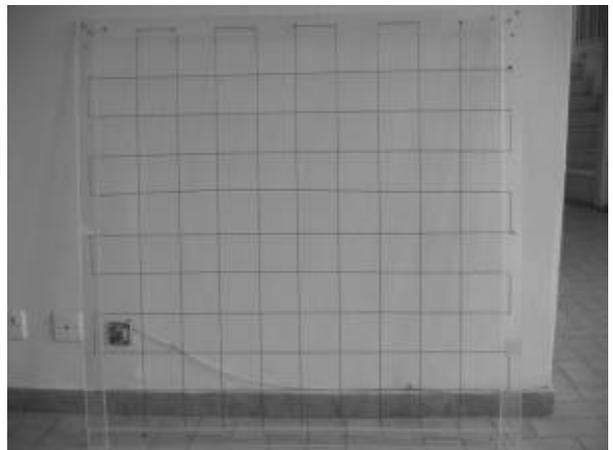


Figure 35 : Photographies des différentes étapes de fabrication des cadres de comptage.



3. Premiers essais en mer

Pour que le comptage ait une valeur scientifique, il faut qu'il soit reproductible, il faut donc entraîner les différents plongeurs sur un seul transect et comparer les résultats obtenus. Au fur et à mesure des entraînements, les résultats doivent devenir de plus en plus homogènes entre les plongeurs. De plus, il est important de connaître pour chaque relevé qui l'a effectué et dans quelles conditions de mer [19], ce qui peut permettre d'identifier des biais et donc d'éviter des erreurs.

Pour les premiers essais, nous nous attendions à une sous-estimation de la population à cause d'une mauvaise détection des ormeaux. Nous nous sommes finalement rendu compte que la sur-estimation était aussi possible si le plongeur confondait ormeaux et patelles présentes en grande quantité. Nous avons donc insisté lors du premier débriefing sur ce point : pour différencier l'ormeau de la patelle, le point clef consiste à voir dépasser le bord du manteau de sous la coquille, ce qui n'est le cas que chez l'ormeau.

C. Composition de l'équipe de plongeurs et planification des plongées

1. Composition et formation de l'équipe de plongée

Créer une équipe de plongeurs était un des projets de la coopération française. A ce titre, un financement a été réservé à la formation de dix personnes à la plongée sous-marine. Il était prévu de les mener jusqu'au niveau deux de plongée, celui-ci permettant une certaine autonomie. Seules 5 personnes : 1 garde et 4 écogardes ont finalement participé à la formation. Un des écogardes a dû cesser de plonger pour des raisons médicales, le groupe s'est donc réduit à 4 personnes. Un deuxième s'est engagé dans l'armée sans prévenir personne, du jour au lendemain : le groupe est donc passé de 10 membres hypothétiques à trois membres réels.

L'organisme chargé de la formation était « l'Océanium », un des principaux clubs de plongée à Dakar. Les membres de l'équipe de plongeurs devaient atteindre le niveau 2 de plongée vers la fin du mois d'août, l'ambassade avait déjà payé le club pour les amener jusqu'à ce niveau. Les plongeurs devaient obtenir leur niveau 2 car il autorise une certaine autonomie : l'équipe de plongeurs du PNIM aurait pu plonger sans encadrant dans la zone des 20 m de profondeur. Cependant, les écogardes, au mois de février, n'avaient toujours pas commencé leur formation technique niveau 2, ils n'ont fait que la repousser depuis août pour des indisponibilités personnelles successives. A la fin de mon stage, les 3 membres de l'équipe de plongeurs n'avaient que le niveau 1 et n'étaient donc pas autonomes. Pour plonger, ils avaient théoriquement besoin d'un encadrant de niveau 4, ce qui compliquait considérablement la tâche.

2. Planification des plongées

J'ai dans un premier temps listé les différents objectifs de plongée et estimé le nombre de sorties nécessaires pour les atteindre :

Objectifs :

- Former le groupe de plongeurs de manière à ce qu'ils soient capables d'effectuer efficacement des relevés topographiques de précision.
- Etablir la topographie générale des fonds de la réserve et de sa périphérie.
- Etablir précisément la topographie de sites particuliers notamment de la baie des phoques.
- Installer les vrilles d'ancrage des bouées de fixation.
- Mettre en place un suivi des populations d'ormeaux dans la réserve, sa périphérie et éventuellement sur des sites plus éloignés afin d'effectuer des comparaisons.
- A terme, passer le niveau 2 de plongée.

Nombre de plongées nécessaires à la réalisation de ces objectifs :

- Topographie générale : **8 plongées**
 - 2 autour de l'île Lougne
 - 1 sur la zone entre Lougne et l'île aux serpents
 - 1 dans la baie des phoques
 - 4 pour le tour complet de l'île aux serpents et sa périphérie
- Formation à la topographie : **5 plongées**
 - 1 plongée pour apprendre à installer un couloir de 5 m de large sur 150 m de long (30 carrés de 5 m de côté).
 - 2 plongées pour travailler la matérialisation de carrés de 5 m de côté, le dessin et la prise de mesures.
 - 2 plongées pour installer un deuxième couloir parallèle au premier et effectuer des relevés topographiques à deux équipes progressant simultanément (l'objectif est de réussir à effectuer un carré toutes les 3 minutes, soit un couloir complet en un peu plus de 90 min de plongée et 130 min sur site).
- Etablir la topographie d'une zone de 100 m x 150 m soit 20 couloirs soit 600 carrés avec un travail par deux équipes de 3 personnes plus une surveillance surface : **10 séances minimum**
- Essai d'installation d'une première vrille d'ancrage pour bouée : **1 plongée**
- Lancement d'un suivi des populations d'ormeaux : **8 plongées dans un premier temps**
 - 2 plongées pour l'entraînement au comptage des ormeaux de manière systématique de jour sur une zone définie : 2 x 5 carrés de 1m x 1m de chaque côté de la ligne transect (soit 2 x 10m² au total). 2 plongeurs travaillent chacun sur une zone de 10 m² pendant que les autres patientent, puis par rotation chacun effectue les 2 zones. Les résultats sont comparés en surface afin de déterminer si un plongeur détecte trop ou trop peu d'ormeaux. Une plongée sur la même zone est effectuée un autre jour pour voir si les résultats sont similaires. Une troisième plongée devrait être effectuée sur un fond différent de manière à savoir si certains

plongeurs ont une meilleure détection sur tel ou tel type de fond. L'idéal serait de pouvoir également refaire ce test dans différentes conditions de plongée (houle, courant, visibilité) pour savoir si certaines interdisent un relevé correct des ormeaux. Le but étant que chaque plongeur détecte les ormeaux de manière suffisamment précise, efficace, reproductible et similaire entre plongeurs.

- 2 plongées pour la mise au point d'une technique adaptée à une zone à variation de profondeur irrégulière type baie des phoques (transects perpendiculaires au rivage).
- 2 plongées pour la mise au point d'une technique adaptée à une zone à variation de profondeur régulière type éboulis (transects parallèles aux courbes de niveau).
- 1 plongée de nuit découverte + 1 plongée de comptage des ormeaux sur une zone de 10 m² chacune découpée en 2 x 5 carrés de 1 m de côté. Une de ces plongées s'effectuera sur un site déjà étudié de jour afin de comparer les résultats.
- Atteindre le niveau 2 de plongée afin d'acquérir une certaine autonomie d'action et un niveau de sécurité suffisant : **10 plongées**

J'ai tout d'abord établi un emploi du temps classique censé nous permettre d'atteindre les objectifs dans un temps donné. Malheureusement les innombrables difficultés rencontrées pour plonger m'ont amené à modifier cet emploi du temps au moins une dizaine de fois. J'ai alors compris qu'il était inutile de rédiger des emplois du temps conventionnels. J'ai donc créé un tableau regroupant les conditions devant être réunies pour la réalisation de chaque étape (figure 36). Ainsi quand l'opportunité se présentait, c'est-à-dire que toutes les conditions étaient réunies, on pouvait effectuer une plongée.

Figure 36: Tableau d'organisation des plongées en fonction des moyens et conditions nécessaires.

<u>OBJECTIFS</u>	Conditions de mer spécifiques	Nombre de plongeurs	Lieu	Matériel spécifique	Volume des bouteilles	Effectuée
<u>Topographie générale (8 plongées) :</u>						
* 2 autour de l'île Lougne	calme	/	Lougne	/	15 L	2/2
* 1 sur la zone entre l'île Lougne et l'île aux serpents	/	/	entre Lougne et Sarpan	/	15 L	1/1
* 1 dans la baie des phoques	calme	/	Baie des phoques	/	15 L	1/1
* 4 pour le tour complet de l'île aux serpents et de sa périphérie	/	/	Sarpan	/	15 L	1/4
<u>Formation à la topographie (5 plongées) :</u>						
* 1 plongée pour apprendre à installer un couloir de 5 m de large sur 150 m de long (30 carrés de 5 m de côté)	calme	6	Baie des phoques	2 bobines de fil - 4 bouées lestées - 4 fers à béton de 80 cm - une corde de 5m - lest pour les bobines - deux maillets	15 L	1/1
* 2 plongées pour travailler la matérialisation de carrés de 5m de côté, le dessin et la prise de mesures	calme	6	Baie des phoques	3 bobines de fil - 6 fers à béton de 80 cm - 8 fers à béton de 50cm - 8 balises mobiles - deux maillets - deux cordes de 5m - deux chaînes de mesures de 5 m - deux profondimètres - deux chaînes de mesures de 2 m - deux ardoises	15 L	0/2

* 2 plongées pour installer un deuxième couloir parallèle au premier et effectuer des relevés topographiques à deux équipes progressant simultanément (l'objectif est d'effectuer un carré toutes les 3 minutes soit un couloir complet en un peu plus de 90 min de plongée et 130 min sur site)	calme	6	Baie des phoques	4 bobines de fil - 6 fers à béton de 80 cm - 8 fers à béton de 50cm - 8 balises mobiles - deux maillets - deux cordes de 5m - deux chaînes de mesures de 5 m - deux profondimètres - deux chaînes de mesures de 2 m - deux ardoises	15 L	0/2
Essai d'installation d'une première vrille d'ancrage de bouée (1 plongée) :	calme	6	Périphérie du parc	Vrille d'ancrage de bouée	15 L	0/1
Lancement d'un suivi des populations d'ormeaux (9 plongées) :						
* 1 plongée d'entraînement au comptage des ormeaux	peu agitée	6	Baie des phoques	deux bobines de fil - 4 fers à béton de 80 cm - un maillet - deux cadres de 1m x 1m - deux chaînes de mesures - une ardoise par plongeur	15 L	1/1
* 1 plongée d'entraînement au comptage des ormeaux	peu agitée	6	Lougne Est	deux bobines de fil - 4 fers à béton de 80 cm - un maillet - deux cadres de 1m x 1m - deux chaînes de mesures - une ardoise par plongeur	15 L	1/1
* 1 plongée test d'installation de transects perpendiculaires au rivage	calme	6	Baie des phoques	2 fers à béton de 80 cm - un maillet - une bobine de fil - une boussole sous-marine	15 L	0/1
* 1 plongée test d'installation de transects perpendiculaires au rivage	calme	6	Barre face à la plage des tortues	2 fers à béton de 80 cm - un maillet - une bobine de fil - une boussole sous-marine	15 L	0/1

* 1 plongée test d'installation de transects parallèles au rivage	calme	6	Lougne Ouest	2 fers à béton de 80 cm - nombreux fers à béton de 50cm - un maillet - une bobine de fil - une boussole sous-marin - profondimètre	15 L	0/1
* 1 plongée test d'installation de transects parallèles au rivage	calme	6	Lougne Est	2 fers à béton de 80 cm - nombreux fers à béton de 50cm - un maillet - une bobine de fil - une boussole sous-marin - profondimètre	15 L	0/1
* 1 plongée d'initiation à la plongée de nuit	calme	6	Baie des phoques	Phares sous marins	12 L	0/1
* 1 plongée test de comptage d'ormeaux de nuit	calme	6	Baie des phoques	Lampes - une bobines de fil - 2 fers à béton de 80 cm - un maillet - un cadre de 1m x 1m - deux chaînes de mesure - une ardoise par plongeur	12 L	0/1

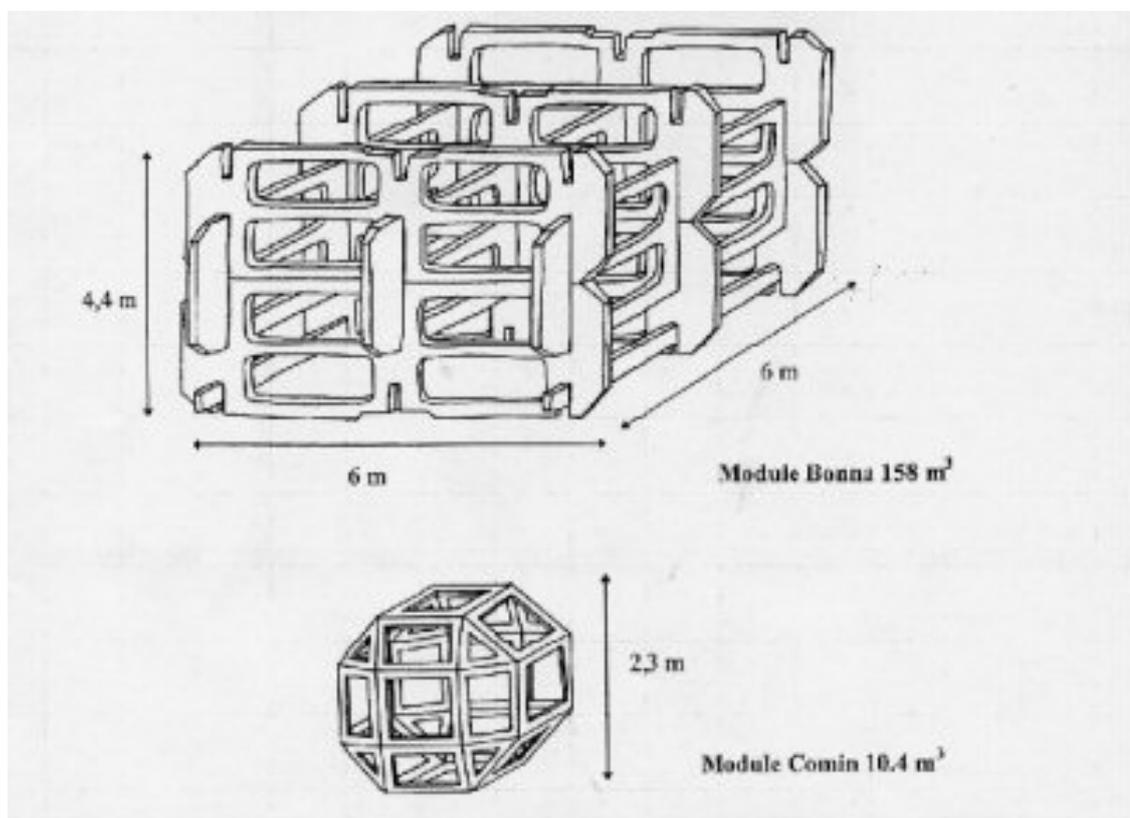
D. Suivi de récifs artificiels

Un objectif secondaire s'est ajouté pendant mon séjour au PNIM et s'est imposé comme une des missions de l'équipe de plongeurs. Plusieurs récifs artificiels ont été mis en place au Sénégal au cours des dernières années mais aucun suivi concret de l'impact de ces installations n'a été effectué. Les représentants de l'ambassade française ont souhaité évaluer l'efficacité de ce genre de structure et nous avons donc décidé de consacrer une plongée à la recherche et à l'observation d'un récif artificiel mis en place il y a plusieurs années.

Toute la problématique des récifs artificiels est de savoir si ils créent de la biomasse ou si ils se contentent de concentrer une biomasse déjà existante. Un suivi régulier et l'observation de l'évolution du récif peut permettre d'estimer l'efficacité de ce système. Dans les années 60 les récifs artificiels ont été très à la mode mais à l'époque ce sont essentiellement des « déchets » qui ont été jetés en mer. Certains déchets comme les pneus, en plus de ne pas permettre la fixation d'une biocénose, sont maintenant connus pour relarguer des substances toxiques. Des épaves de voiture ou de bateau ont également été utilisées, du mobilier urbain en béton tel des escaliers ou des pylônes électriques ont aussi été immergés et se sont révélés les plus efficaces.

Aujourd'hui le principe du récif artificiel s'est rationalisé, le béton reste le matériau de choix mais on utilise des structures spécifiquement prévues à cet usage (figure 37).

Figure 37 : Schéma de récifs artificiels en béton (modèles Comin et Bonna)



Au Sénégal, les Japonais ont financé la mise en place de récifs artificiels : des modules en béton et un monticule de roches (figure 38). Ce sont ces récifs que les représentants de l'ambassade ont décidé de retrouver afin d'évaluer la faune et la flore qui a pu s'y installer.

Figure 38 : Photographies de la mise en place de récifs artificiels au Sénégal



Jusqu'à notre visite, aucun suivi n'avait malheureusement été effectué. Ces récifs artificiels, lors de leur installation, avaient été signalés par une bouée aujourd'hui disparue. Dans un premier temps, les pêcheurs ont respecté la zone et n'y ont pas pêché. Quand ils ont finalement cédé à la tentation, ils ont effectué une véritable pêche miraculeuse. En effet, les récifs artificiels étaient riches en poissons de grande taille. Cela dit, ces poissons étaient bien trop gros pour être nés sur le récif artificiel. Dans ce cas, on suppose que les récifs n'ont été qu'un mécanisme concentrateur dans une zone pauvre en habitat naturel et ont facilité le travail des pêcheurs.

Nous avons recherché ces récifs artificiels en utilisant leurs coordonnées GPS conservées par l'Océanium. Mais c'est finalement en utilisant un sondeur sonar que nous avons réussi à les localiser précisément. Après quelques minutes de plongée, nous avons retrouvé le premier récif. A l'abri de celui-ci, nous avons pu observer des poissons d'une taille impressionnante en assez grand nombre. Ces poissons vu leur taille ne sont sûrement pas nés sur les modules mais ont été attirés par de petits poissons eux-mêmes attirés par la riche biocénose fixée sur les modules en béton.

Ces récifs artificiels constituent la seule zone riche en vie, autour c'est un désert et l'on comprend rapidement que l'usine de ciment située à proximité n'y est pas pour rien. Tout le fond est recouvert d'une très fine poussière étouffante qui empêche le développement de toute espèce vivante. Seuls les récifs artificiels émergeant de la poussière constituent un support pour la fixation d'algues et de mollusques servant de nourriture aux poissons.

En continuant notre exploration nous trouvons le corps mort auquel était fixée la balise : il n'y pas de doute, cette dernière a été volée. Cela dit, il n'est pas plus mal que les pêcheurs ne puissent pas retrouver cette zone de pêche miraculeuse au milieu du désert de poussière de ciment.

D'autres récifs artificiels ont été mis à l'eau, cette fois-ci dans la zone même de la réserve. Il s'agissait de carcasses de voitures. Nous les avons recherchées avec grande difficulté, en effet la zone de largage était soumise à un très fort courant. De plus, une fois, les récifs retrouvés quelle ne fut pas notre surprise de découvrir que les carcasses de voiture avaient été compressées avant d'être mises à l'eau ne laissant aucune cavité permettant aux poissons de s'installer. Ces carcasses n'ayant pas été enchaînées ensemble, elles ont dérivé, se sont dégradées dans l'eau de mer et n'ont pas permis l'installation d'une biocénose. Ces récifs présentent donc un intérêt nul.

Enfin, nous avons appris que des pneus ont également été immergés, dans ce cas en plus d'être inefficace cette méthode est nocive.

Enfin, deux carcasses de bateaux ont été immergées à proximité de l'île Lougne. Dans ce cas l'épaisseur de métal est garante d'une bonne résistance dans le temps, et le poids de l'épave assure sa stabilité. Cela dit l'installation de biocénose reste très inférieure sur le métal à celle observée sur du béton.

Nos conclusions, tirées de ces quelques plongées, sont que les modules en béton sont de loin les récifs artificiels les plus efficaces. Les récifs constitués d'épaves métalliques accueillent une biocénose moins riche et plus longue à s'installer et l'utilisation de voitures ne semble pas une bonne option surtout si elles sont compressées. La corrosion et le courant font bien souvent de ce type de récif artificiel un support inutilisable et labile. Enfin, l'utilisation de pneus est à proscrire, l'absence de possibilité de fixation sur ce support et des propriétés toxiques reconnus en font un récif artificiel catastrophique.

E. Discussion

1. Difficultés rencontrées

Une étude en milieu sous-marin nécessite un matériel spécifique, onéreux et des compétences particulières qui peuvent rendre difficile sa réalisation.

Dans le cadre de notre projet, la réalisation de cartes topographiques sous-marines, le comptage d'ormeau, le suivi de récif artificiel sont autant d'aspects qui nécessitent de réaliser un grand nombre de plongées.

D'un point de vu matériel, il est tout d'abord nécessaire d'avoir à sa disposition un bateau pour accéder au site. De plus, l'accès au parc est complexe et peut se révéler dangereux selon les conditions de mer si bien que seuls deux des écogardes manœuvrent suffisamment bien la pirogue pour accéder aux sites de plongée de façon sûre. Il faut également des équipements complets de plongée sous-marine comprenant palmes, masque, combinaison néoprène, bouteille d'oxygène (et accès à un compresseur pour les recharger), détendeurs, gilet stabilisateur, profondimètre.

A l'origine, il était prévu que les écogardes soient dotés de tels équipements, l'ambassade française étant prête à en assumer les frais. Sachant que le groupement d'écogardes possède déjà un bateau, cela aurait été idéal. En effet, le parc disposant sur place de tout le matériel, des plongées quotidiennes auraient été envisageables ainsi qu'une grande réactivité en cas d'un besoin d'observation immédiat. A mon arrivée sur le parc, je me suis rendu compte que la réalité était bien différente.

Pour que ce système soit viable, il aurait fallu que les écogardes soient équipés d'un compresseur afin de pouvoir eux-mêmes gonfler leur bloc (bouteille d'oxygène) de plongée. N'en possédant pas, la seule solution consistait à porter les bouteilles au centre de plongée « l'Océanium » qui est la seule infrastructure équipée d'un compresseur dans la région.

Cette solution, bien que plus contraignante aurait tout de même été intéressante. Il aurait suffi d'envoyer le chauffeur du parc faire regonfler les bouteilles immédiatement après chaque plongée. Pour améliorer encore le principe, il aurait pu y avoir deux bouteilles par plongeur ce qui aurait permis de ne regonfler qu'une fois par jour pour deux plongées effectuées.

Malheureusement, le manque de sérieux des écogardes quant à l'entretien de leur matériel a dissuadé le responsable de la coopération française d'investir dans du matériel de plongée et ce pour deux raisons. La première est la faible durée de vie qu'aurait eue ce matériel qui nécessite un entretien régulier et rigoureux. La deuxième raison est que du matériel de plongée mal entretenu entraîne des accidents de plongée potentiellement mortels du moins toujours graves.

Au final, les représentants de l'ambassade française ont décidé de ne pas équiper les plongeurs du parc.

Ils ont préféré l'alternative consistant à louer le matériel de plongée à l'Océanium (club de plongée de Dakar). Plusieurs options étaient envisageables. La première consistait à louer le matériel au mois et à ne payer que les gonflages, le matériel restant au club étant donné que les écogardes étaient incapables de l'entretenir. La deuxième était d'acheter des plongées « toutes équipées » qui comprenaient gonflage, matériel, transport en bateau et encadrement et que l'on utiliserait selon notre volonté.

C'est la deuxième solution qui a été retenue pour plusieurs raisons. Tout d'abord, l'expérience sur le terrain nous laissait penser qu'il serait difficile d'organiser des plongées quotidiennes. Etant donné le peu de motivation et la faible disponibilité des écogardes pour plonger, louer le matériel au mois aurait été probablement économiquement moins intéressant. Ensuite, les plongées toutes équipées comprennent normalement un plongeur encadrant. En effet, pour rappel, les plongeurs du parc n'ont pas atteint l'objectif d'autonomie en plongée représenté par le niveau 2, ils ne peuvent donc plonger que sous la responsabilité d'un plongeur de niveau 4. Il se trouve que Stéphane Guzylack, le conseiller de l'ambassade, est titulaire d'un niveau 4 de plongée et peut encadrer les plongeurs du parc. Mais étant régulièrement en déplacement sur d'autres parcs au Sénégal et devant mener à bien de nombreux projets, sa disponibilité pour encadrer des plongeurs restait limitée. La solution comprenant un encadrant devait permettre de s'affranchir de cette limite.

Malheureusement l'Océanium n'a pas fourni l'encadrant promis, celui-ci étant plutôt réservé pour des plongées touristiques. Les plongées ont donc été encadrées par Stéphane Guzylack et ont eu lieu en fonction de ses disponibilités.

Une contrainte supplémentaire a ensuite été rajoutée par l'Océanium puisqu'ils ne nous ont autorisés à plonger que les mardis, jeudis et vendredis, réservant les autres jours pour une activité commerciale touristique.

A cela viennent s'ajouter les mauvaises conditions de circulation dans Dakar qui font du parcours jusqu'à l'Océanium un parcours bien souvent long et fastidieux.

Tous ces problèmes rendent l'organisation des plongées très difficile sans compter que la voiture et le chauffeur du parc alloués aux transports ne sont pas toujours disponibles pour emmener l'équipe puisque le conservateur du parc accapare le véhicule pour ses propres déplacements personnels. Cela a obligé plusieurs fois Stéphane Guzylack à utiliser sa propre voiture qui n'est malheureusement pas assez grande pour emmener à la fois tous les plongeurs et son matériel de plongée. Il fallait donc faire appel à un taxi ou un autre véhicule.

En plus de ces soucis d'organisation, des aléas tels que les conditions de mer, les pannes répétées ou l'indisponibilité du bateau de l'Océanium sont à l'origine de plusieurs allers-retours infructueux à l'Océanium.

Un autre problème, d'ordre économique, s'est révélé par la suite.

Il faut savoir qu'il y a sur le parc 8 écogardes organisés en GIE (groupement d'intérêt économique) et que leur salaire est obtenu en emmenant et en guidant des touristes sur l'île. Afin d'augmenter leur salaire, divers projets pouvant être financés par la coopération ont été proposés par Stéphane Guzylack. Il était question d'une boutique de souvenirs, d'impression de t-shirts aux couleurs du parc, d'un sentier sous-marin aménagé autour de l'île pouvant être parcouru avec palmes, masque et tuba (loués par les écogardes), d'un restaurant ou d'une buvette, de vente de boissons emportées dans une glacière et proposées durant la visite de l'île. Aucun de ces projets n'a été mené par les écogardes. Ils se sont toujours contentés de transporter les touristes et bien souvent sans même jouer le rôle de guides.

De plus, et ce malgré une formation aux manœuvres nautiques financée et organisée par l'ambassade française, seuls 2 écogardes étaient capables de piloter la barque pour emmener les touristes et il se trouve que ces deux écogardes faisaient aussi partie de l'équipe de plongeurs. Il y avait donc un conflit d'intérêt puisque les jours où l'équipe de plongeurs partait en mer, les touristes ne pouvaient plus être amenés sur l'île et le GIE ne gagnait plus d'argent.

Dans un fonctionnement normal du GIE, tous les écogardes devraient être capables d'emmener les touristes sur l'île chacun leur tour et l'absence de deux écogardes sur huit ne devraient pas paralyser les rentrées d'argent. Cet argent qui est gagné par les écogardes est ensuite divisé en huit parts constituant le salaire des écogardes.

En réalité, seuls deux écogardes effectuaient le transport vers l'île et l'argent gagné était divisé en huit parts pour payer les autres écogardes qui eux n'étaient à l'origine d'aucune rentrée d'argent régulière. Au final, la mauvaise gestion du GIE a été telle, que les écogardes n'avaient plus de quoi acheter à manger. Ils ont refusé d'effectuer deux plongées par jour sauf si la coopération française leur offrait le repas du midi. En effet, ils ne pouvaient plus manger que le matin et le soir, or une journée de plongée demande de l'énergie et plonger sans avoir mangé le midi constitue un risque non négligeable d'hypoglycémie et donc de syncope une fois sous l'eau.

Finalement une solution a été trouvée et les repas du midi ont été financés par le fond d'appuis du parc. Néanmoins cela n'a résolu en rien les problèmes de gestion du GIE.

Au final, ces multiples difficultés ont fait de l'organisation des plongées un casse-tête inextricable (figure 39).

Figure 39 : Tableau présentant les principales difficultés s'opposant à la réalisation de plongées régulières.

- Formation des plongeurs incomplète,
- Effectif de l'équipe de plongeurs trop réduit,
- Manque de sérieux des membres de l'équipe de plongeurs,
- Refus de l'Océanium de fournir l'encadrant prévu dans l'accord,
- Restriction des jours de plongée décidée de façon unilatérale par l'Océanium,
- Indisponibilité de la voiture du parc,

- Pannes moteurs ou indisponibilité du bateau de l'Océanium,
- Mauvaise organisation et gestion du GIE.

2. Conclusion de l'étude

Mon travail sur place consistait à l'origine à mettre au point une méthode rigoureuse et scientifique pour évaluer et suivre l'évolution de la population d'ormeaux puis à former l'équipe de plongeurs du parc pour effectuer les premiers relevés. Cette équipe devait, après mon départ, poursuivre les relevés avec le soutien des représentants de l'ambassade française.

Les fonds marins du parc n'étant que très peu connus, plusieurs préalables fondamentaux devaient être envisagés avant d'entamer le comptage des ormeaux proprement dit : relevés topographiques, réalisation des cartes des fonds marins, relevés de coordonnées GPS, fabrication du matériel nécessaire.

Je pense que la méthode de travail que je propose dans cette thèse était une façon intéressante de commencer un suivi écologique de la faune et de la flore du PNIM. La réalisation du matériel nécessaire, bien que longue et difficile, ne s'est pas révélée être un obstacle majeur à mon travail.

C'est réellement l'impossibilité de plonger pour effectuer les relevés qui a empêché, d'une part, de former correctement l'équipe de plongeurs et, d'autre part, d'obtenir les premières évaluations de densité en ormeaux dans le PNIM. L'aspect humain et management a finalement représenté une part très importante de mon travail qui s'est révélé très chronophage pour finalement ne permettre d'effectuer que quelques plongées toutes justes suffisantes en tant qu'initiation au suivi sous-marin.

Le nombre extrêmement réduit de plongées effectuées ne permet ni de donner une évaluation de la population d'ormeau, ni de connaître précisément la topographie des fonds marins du parc.

Avec le recul, il était totalement impossible dans ces conditions d'atteindre nos objectifs en matière de suivi sous-marin. Seule une réorganisation drastique du principe même de fonctionnement de l'équipe de plongeurs pourrait un jour permettre d'effectuer concrètement tous les relevés présentés précédemment dans cette thèse.

Aujourd'hui je ne vois pas comment réaliser ce suivi si ce n'est grâce à une équipe de plongeurs indépendante des écogardes et possédant son propre matériel (bateau, équipements de plongée, de relevé). Ce n'était cependant pas l'objectif de mon travail puisque je devais permettre que le suivi se poursuive après mon départ et donc mettre en place une équipe sénégalaise autonome capable d'effectuer par elle seule le suivi de la faune et de la flore marine du parc.

Les dernières nouvelles du parc sont malheureusement décourageantes. En effet, après mon départ, les outils et les méthodes que j'avais mis en place n'ont pas été utilisés et la poursuite de mon projet abandonnée faute de motivations et de moyens.

CONCLUSION

Dans cette thèse, un protocole d'étude de la dynamique de population d'*Haliotis tuberculata* au large de Dakar au Sénégal est présenté. Ce travail, sous l'égide du Ministère des Affaires Etrangères français, s'est effectué en coopération avec l'équipe de gardes du parc. Le recensement des ormeaux devait s'effectuer par comptage régulier le long de transects tirés au sort puis extrapolation statistique. Ces données, une fois reliées à des relevés topographiques et de biocénose, devaient mettre en évidence des liens entre les zones de répartitions des ormeaux et les caractéristiques physiques et biologiques du milieu.

Malheureusement, les difficultés accumulées lors de l'étude de terrain nous ont empêché de récolter suffisamment de données pour évaluer la taille des populations d'ormeaux au large de Dakar.

Nos quelques plongées nous ont tout de même permis d'évaluer le bienfondé du choix des méthodes de comptage et de relevé topographique. Nous avons également pu évaluer l'efficacité des récifs artificiels mis en place il y a plusieurs années et il s'avère que les modules en béton sont de loin les plus efficaces, devançant les épaves de bateaux. Nous notons également qu'il convient de proscrire l'utilisation de pneus qui, en plus de libérer des substances toxiques, empêchent toute fixation de la biocénose.

Au final, les méthodes d'étude que je propose dans cette thèse peuvent tout à fait servir de base de travail à un autre projet en milieu marin. Plus largement, toutes les personnes se destinant à réaliser une étude de terrain concernant la faune sauvage pourront tirer de ce travail des principes généraux intéressants.

Le Parc National des Iles de la Madeleine reste pour moi un biotope d'une extrême richesse qu'il convient de protéger au mieux et je reste persuadé qu'un suivi scientifique du parc est indispensable. Aujourd'hui ce ne sont pas vraiment nos connaissances ou nos capacités techniques qui limitent cette étude, mais bel et bien la possibilité concrète d'appliquer nos méthodes de travail dans un contexte particulier et complexe où les acteurs aux motivations diverses et parfois incompatibles se côtoient.

- BIBLIOGRAPHIE -

- 1- BALSEIRO P, ARANGUREN R, GESTAL C, NOVOA B, FIGUERAS A, *Candidatus Xenohaliotis californiensis* and *Haplosporidium montforti* associated with mortalities of abalone *Haliotis tuberculata* cultured in Europe, *Aquaculture*, 2006, **258**, 63-72.
- 2- BEHRENS MD, LAFFERTY KD, Size frequency measures of White Abalone with implications for conservation, *In proceedings of the sixth california islands symposium*, Ventura, California, December 1-3 2003, Arcata, California : Garcelon DK and Schwemm CA, 2003, 415-420.
- 3- BILLY S, PERONNET I, Estimation du stock naturel d'ormeaux du Golfe du Morbihan, *Ifremer*, 2003.
- 4- CAMPBELL A, Possible criteria for reopening the Northern abalone (*Haliotis kamtschatkana*) fishery in British Columbia, *Canadian Stock Assessment Secretariat*, 1997, research document 97/64.
- 5- CAMPBELL A, WINTHER I, ADKINS B, BROUWER D, MILLER D, Survey of the Northern abalone (*Haliotis Kamtschatkana*) in the Central Coast of British Columbia, *Canadian Stock Assessment Secretariat Research*, 1997, research document 98/89.
- 6- CLAVIER J, RICHARD O, Etude expérimentale du déplacement de l'ormeau (*Haliotis tuberculata*) dans le milieu naturel, *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 1982, **46**, 315-326.
- 7- CLAVIER J, RICHARD O, Etude sur les ormeaux dans la région de Saint-Malot, Association pour la mise en valeur du littoral de la cote d'émeraude, 1985, MNHN ref. 120 748.
- 8- CLAVIER J, RICHARD O, Estimation du stock naturel d'ormeaux (*Haliotis tuberculata*) dans la région de Saint-Malo, *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 1984, **48**, 95-105.
- 9- COCHARD JC, La croissance de l'ormeau *Haliotis tuberculata* en rade de Brest, *Haliotis*, 1982, **12**, 61-69.
- 10- COCHARD JC, FLASSCH JP, Etat des connaissances sur l'ormeau (*Haliotis tuberculata*), CNEXO actes de colloques, 1981, **12**, 55-59.
- 11- DE VAUGELAS J, Site de l'université de Nice-Sophia Antipolis [en ligne], Exercice de cartographie des biocénoses sous-marines, réalisé entre 1992 et 1998, [http://www.unice.fr/LEML/manip_carto/html/st-carto1.htm] (consulté le 01/08/09).
- 12- DE WAAL SWP, BRANCH GM, NAVARRO R, Interpreting evidence of dispersal by *Haliotis midae* juveniles seeded in the wild, *Aquaculture*, 2003, **221**, 299-310.
- 13- FISHER E, FRANC A, MARTOJA M, TERMIER G et H. Mollusques Gastéropodes et Scaphopodes. In : GRASSE P, editors. *Traité de Zoologie, Anatomie, Systématique, Biologie*, Paris : Masson & Cie, 1968, Tome V fascicule III.
- 14- FLASSCH JP, AVELINE C, Production de jeunes ormeaux à la station expérimentale d'Argenton, CNEXO, 1984, Rapports scientifiques et techniques n°50 (Archimer).
- 15- FRANCIS R.I.C.C., Maximum likelihood estimation of growth and growth variability from tagging data, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1988, **22**, 42-51.

- 16- GASPAR MB, CHICHARO LM, VASCONCELOS P, GARCIA A, SANTOS AR, MONTEIRO CC, Depth segregation phenomenon in *Donax truculus* (Bivalvia : Donacidae) populations of the algarve coast (southern Portugal), *Scientia Marina*, 2002, **66**(2), 11-121.
- 17- GEIGER DL, *A total evidence cladistic analysis of the Haliotidae (Gastropoda : vetigastropoda)*, Thèse Dr, University of Southern California, 1999.
- 18- GIRARD A, La reproduction de l'ormeau *Haliotis tuberculata*, *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 1972, **36**, 163-184.
- 19- HART S, POWER B, EDMUNDS M, ELIAS J, Victorina Subtidal Reef Monitoring program : The Reef Biota at Port Phillip Bay Marine Sanctuaries, *Parks Victoria Technical Series n°8*, 2003.
- 20- HELEINE JY, *Les ormeaux : biologie, élevage*, Thèse Méd. Vét., Toulouse, 1979, 68p.
- 21- LAFFERTY KD, Restoration of the White Abalone in Southern California: Population Assessment, Brood Stock Collection, and Development of Husbandry Technology. Final Report, 2001.
- 22- LAFFERTY KD, BEHRENS MD, DAVIS GE, HAAKER PL, KUSHNER DJ, RICHARDS DV, TANIGUCHI KI, TEGNER MJ, Habitat of endangered white abalone, *Haliotis sorenseni*, *Biological Conservation*, 2004, **116**, 191-194.
- 23- LAPOTA D, ROSEN G, CHOCK J, ROBAYO A, Green and pink abalone outplanting off Point Loma, California, *SPAWAR Systems Center, Marine Environmental Quality Branch* 1985, code D362.
- 24- LESSARD J, CAMPBELL A, HAJAS W, Survey protocol for the removal of allowable numbers of northern abalone, *Haliotis kamtschatkana*, for use as broodstock in aquaculture in British Columbia, *Canadian Science Advisory Secretariat*, 2002, Research Document 2002/126.
- 25- LITAAY Magdalena, DE SILVA SS, Spawning season, fecundity and proximate composition of the gonads of wild-caught blacklip abalone (*Haliotis rubra*) from Port Fairy waters, south eastern Australia, *Aquat. Living Resour.*, 2003, **16**, 353-361.
- 26- MC SHANE PE, NAYLOR JR, Small-scale spatial variation in growth, size at maturity, and yield- and egg-per-recruit relations in the New Zealand abalone *Haliotis iris*, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1995, **29**, 603-612.
- 27- MC SHANE PE, NAYLOR JR, Variation in spawning and recruitment of *Haliotis iris* (Mollusca: Gastropoda), *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1996, **30**, 325-332.
- 28- MCSHANE PE, NAYLOR JR, Direct estimation of natural mortality of the New Zealand abalone, *Haliotis iris*, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1997, **31**, 135-137.
- 29- MC SHANE PE, MERCER SF, NAYLOR JR, Spatial variation and commercial fishing of New Zealand abalone (*Haliotis iris* and *H. australis*), *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1994, **28**, 345-355.

- 30-MC SHANE PE, SCHIEL DR, MERCER SF, MURRAY T, Morphometric variation in *Haliotis iris* (Mollusca : Gastropoda): analysis of 61 populations, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1994, **28**, 357-364.
- 31-MORTIMOR JP, ELLIOTT GRD, HENDERSON CR, Survey of Northern Abalone, *Haliotis Kamtschatkana*, Populations in East Eagle Bay (Scott's Bay), Barkley Sound, British Columbia, 2002.
- 32-MOSS GA, Effect of temperature on the breeding cycle and spawning success of the New Zealand abalone, *Haliotis australis*, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1998, **32**, 139-146.
- 33-MOSS GA, Factors affecting settlement and early post-settlement survival of the New Zealand abalone *Haliotis australis*, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1999, **33**, 271-278.
- 34-MOSS GA, TONG LJ, Techniques for enhancing larval settlement of the abalone, *Haliotis iris*, on artificial surfaces, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1992, **26**, 75-79.
- 35-MOSS GA, TONG LJ, Effect of stage of larval development on the settlement of the abalone, *Haliotis iris*, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1992, **26**, 69-73.
- 36-NAYLOR JR, MC SHANE PE, Mortality of post-settlement abalone *Haliotis iris* caused by conspecific adults and wave exposure, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2001, **35**, 363-369.
- 37-SAINSBURY KJ, Population dynamics and fishery management of the paua, *Haliotis iris*, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1982, **16**, 147-173.
- 38-TOMASCIK T, HOLMES H, Distribution and abundance of *Haliotis kamtschatkana* in relation to habitat, competitors and predators in the broken group islands, Pacific Rim National Park Reserve of Canada, *Journal of shellfish research*, 2003, **22**(3), 831-838.
- 39-TRAVERS MA, LE GOIC N, HUCHETTE S, KOKEN M, PAILLARD C, Summer immune depression associated with increased susceptibility of the European abalone, *Haliotis tuberculata* to *Vibrio harveyi* infection, *Fish and Shellfish immunology*, 2008, **25**, 800-808.

MONOGRAPHIE ET ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION D'*Haliotis tuberculata* AU SENEGAL

NOM et Prénom : LE PETIT Marc

Résumé :

Haliotis tuberculata est un coquillage de la classe des Gastéropodes que l'on rencontre depuis les cotes bretonnes jusqu'en Afrique. Il peut vivre quinze ans atteindre 130 mm de longueur. Dans cette thèse, un protocole d'étude de la dynamique de population d'*Haliotis tuberculata* au large de Dakar au Sénégal est présenté. Ce travail, sous l'égide du Ministère des Affaires Etrangères français, s'est effectué en coopération avec l'équipe de gardes du parc. Le recensement des ormeaux est effectué par comptage régulier le long de transects tirés au sort puis extrapolation statistique. Ces données sont reliées à des relevés topographiques et de biocénose afin de mettre en évidence des liens entre les zones de répartition des ormeaux et les caractéristiques physiques et biologiques du milieu. La faible quantité de données récoltées ne permet pas d'évaluer à ce jour la taille des populations d'ormeaux au large de Dakar.

Mots clés :

DYNAMIQUE DES POPULATIONS / RECENSEMENT / BIOLOGIE / TOPOGRAPHIE
SOUS-MARINE / CARTOGRAPHIE SOUS-MARINE / RECIF ARTIFICIEL / ORMEAU /
HALIOTIS TUBERCULATA / SENEGAL / DAKAR / PARC NATIONAL DES ILES DE LA
MADELEINE

Jury :

Président : Pr.

Directeur : **Dr. Jean-Marie Mailhac**

Assesseur : **Dr. Sophie Le Poder**

Adresse de l'auteur :

Résidence universitaire ENVA, Ch 307

6, rue Pierre Curie

94700 Maisons Alfort

MONOGRAPHY AND DYNAMIC'S POPULATION'S SURVEY OF *Haliotis tuberculata* IN SENEGAL

SURNAME and Given name : LE PETIT Marc

Summary :

Haliotis tuberculata is a shell of Gasteropod shellfish found in the Atlantic from the Western coasts of France to the African coasts. It may live fifteen years and reach 130 mm. in size. In this thesis, we submit a protocol for the study of *Haliotis tuberculata* population dynamics in Senegal. This project was developed in cooperation with the French Foreign Office, with the participation of the guards in charge of the Madeleine park. The inventory is carried out by counting abalones on random transects and by using statistical extrapolations. These data are set against topographical and biological characteristics in an attempt to demonstrate a link between abalone's distribution and the physical and biological characteristics of the seabed. The data accumulated so far are not sufficient to provide a reliable evaluation of the size of the abalone population in the Dakar area.

Keywords :

POPULATION DYNAMICS / INVENTORY / BIOLOGY / SUBMARINE TOPOGRAPHY / SUBMARINE CARTOGRAPHY / ARTIFICIAL REEFS / ABALONE / HALIOTIS TUBERCULATA / SENEGAL / DAKAR / NATIONAL PARK OF MADELEINE ISLANDS

Jury :

President : Pr.

Director : **Dr. Jean-Marie Mailhac**

Assessor : **Dr. Sophie Le Poder**

Author's address :

Résidence universitaire ENVA, Ch 307

6, rue Pierre Curie

94700 Maison Alfort, FRANCE