

Numéro 29 – Septembre 2009

# LA BÊCHE-DE-MER

## bulletin d'information

### Sommaire

Calcul de variation de poids et de longueur des holothuries pour la conversion des mesures relevées sur les bêtes de mer transformées

S.W. Purcell et al. p. 3

Corrélation entre les attributs de la femelle génitrice et la croissance, la forme, la survie et le développement des larves qu'elle produit chez *Australostichopus mollis*, holothuries des zones tempérées

A.D. Morgan p. 7

Déplacement de la zone naturelle de constriction de *Holothuria atra* (Aspidochirotida, Holothuriidae, Echinodermata)

P. Purwati et al. p. 16

Problèmes liés à l'élevage aquacole d'*Holothuria scabra* (Jaeger, 1833)

I. Eeckhaut et al. p. 22

Traitement et commercialisation des holothuries dans la région de Toliara, au sud-ouest de Madagascar

T. Lavitra et al. p. 20

Evaluation des stocks des populations d'holothuries dans les eaux de la mer Rouge en Arabie Saoudite

M.H. Hassan p. 31

De l'écloserie au village – Premier programme communautaire de l'holothuriculture à Madagascar

G. Robinson et B. Pascal p. 38

La phagocytose par les amœbocytes chez *Apostichopus japonicus*

X. Kun et H. Yang p. 42

Communications p. 45

Résumés et nouvelles publications p. 48

Liste des publications de D. B. James sur la bête de mer p. 53

### Éditorial

Vous trouverez dans ce numéro sept articles originaux, la liste des ouvrages publiés par D. B. James sur les holothuries et les résumés des exposés sur les holothuroïdes présentés lors de la neuvième Conférence internationale sur les échinodermes, tenue à Hobart (Tasmanie), en janvier.

Le premier article qui vous est proposé nous vient de S.W. Purcell et al. (p. 3). Il vient compléter les résultats publiés par Conand, Skewes et d'autres auteurs sur l'estimation des variations de longueur et de poids observées aux différentes étapes de traitement de plusieurs espèces tropicales d'holothuries commercialisées, pour lesquelles on manque de données.

A. D. Morgan signale que la survie des larves d'*Australostichopus mollis* est fonction des attributs des femelles qui pondent les œufs, et plus particulièrement du nombre et de la taille des œufs que peut libérer chaque femelle (p. 7).

P. Purwati et al. montrent que le point de constriction naturel d'*Holothuria atra* n'a peut-être que peu d'importance pour induire la scission des spécimens et qu'il pourrait être manipulé. Au cours des expériences d'induction de la scission qu'ils ont menées, ils ont obtenu un taux de survie proche des 100 % (p. 16).

T. Lavitra et al. détaillent les problèmes rencontrés dans un projet d'aquaculture de *H. scabra* à Madagascar et expliquent les solutions imaginées pour les résoudre ou les éviter purement et simplement (p. 20). Ils font état de nouveaux parasites et prédateurs et analysent les effets d'une baisse de la salinité dans le milieu d'élevage en période post-cyclonique.

M. H. Hassan (p.31) présente une évaluation des populations d'holothuroïdes dans les eaux de la mer Rouge, en Arabie saoudite. Comme dans d'autres endroits, les négociants en holothuries se sont livrés à une exploitation intensive de la rive saoudienne de la mer Rouge pendant environ cinq ans. Il s'en est suivi un épuisement grave de la ressource, qui s'est soldé par une destruction complète des populations de *H. fuscogilva* et *H. scabra*.

À Madagascar, G. Robinson et B. Pascal expliquent comment les communautés locales, les organisations non gouvernementales et les acteurs du secteur privé travaillent de concert à la création d'un projet pionnier de mariculture communautaire qui permet aux communautés du littoral d'élever dans de simples enclos marins des juvéniles d'holothuries produits en écloserie (p. 38).

X. Kun et H. Yang concluent la partie de ce numéro consacrée aux articles en présentant une analyse quantitative de la phagocytose par des amœbocytes chez *Apostichopus japonicus* (p. 42).

À l'occasion de la neuvième Conférence internationale sur les échinodermes, 29 travaux (exposés oraux et posters) ont été présentés sur les holothuroïdes. Les résumés de ces travaux sont reproduits dans ce numéro (p. 52). Nous avons également le plaisir de vous donner la liste des ouvrages publiés par D. B. James, qui

### Éditeur

Igor Eeckhaut  
Biologie marine  
6, Av. Champ de Mars  
Université de Mons-Hainaut  
7000 Mons, Belgique  
Courriel : Igor.Eeckhaut@umh.ac.be

### Production

Section information  
Division Ressources marines  
CPS, BP D5, 98848 Nouméa Cedex  
Nouvelle-Calédonie  
Fax: +687 263818  
Courriel : cfpinfo@spc.int  
www.spc.int/coastfish

Imprimé avec le concours financier de l'Australie, la France et la Nouvelle-Zélande

a consacré sa carrière aux holothuries et aux méthodes d'élevage aquacole (p. 53). Z. Ilias nous informe des premiers essais de grossissement menés sur *Stichopus horrens* en Malaisie (p. 47). Enfin, M. de la Torre-Castro fait le point sur les travaux réalisés par son équipe à Zanzibar (Tanzanie) (p. 48).

Vous pouvez consulter ce numéro et tous les numéros précédents de notre bulletin sous format PDF sur le site Web de la CPS à l'adresse <http://www.spc.int/coastfish>. Je tiens également à attirer votre attention sur la bibliothèque numérique de la CPS sur les ressources halieutiques, que vous pouvez consulter sur le site Web de la CPS (<http://www.spc.int/mrd/fishlib.php>). Ce lien vous permettra d'accéder aux versions électroniques (format PDF) de plus de 7 300 documents sur la pêche et l'aquaculture (en anglais et en français), élaborés par la CPS, pour son compte ou avec sa collaboration. La bibliothèque propose un moteur de recherche qui permet de faire des recherches dans le texte intégral des documents ainsi que par titre, auteur et année. La recherche peut se limiter à une seule publication, comme le bulletin *La Bêche-de-mer*. Ainsi, si vous faites une recherche avec les mots « *Holothuria AND fuscogilva* » en limitant cette recherche au bulletin *La Bêche-de-mer*, vous verrez apparaître les liens de 106 articles, que vous pourrez télécharger sous format PDF.

**Igor Eeckhaut**

---

Le SIRMIP est un projet entrepris conjointement par 5 organisations internationales qui s'occupent de la mise en valeur des ressources halieutiques et marines en Océanie. Sa mise en oeuvre est assurée par le Secrétariat général de la Communauté du Pacifique (CPS), l'Agence des pêches du Forum du Pacifique Sud (FFA), l'Université du Pacifique Sud, la Commission océanienne de recherches géo-scientifiques appliquées (SOPAC) et le Programme régional océanien de l'environnement (PROE). Ce bulletin est produit par la CPS dans le cadre de ses engagements envers le SIRMIP. Ce projet vise



*Système d'information sur les ressources marines des îles du Pacifique*

à mettre l'information sur les ressources marines à la portée des utilisateurs de la région, afin d'aider à rationaliser la mise en valeur et la gestion. Parmi les activités entreprises dans le cadre du SIRMIP, citons la collecte, le catalogage et l'archivage des documents techniques, spécialement des documents à usage interne non publiés ; l'évaluation, la remise en forme et la diffusion d'information, la réalisation de recherches documentaires, un service de questions-réponses et de soutien bibliographique, et l'aide à l'élaboration de fonds documentaires et de bases de données sur les ressources marines nationales.

## Calcul des variations de poids et de longueur des holothuries pour la conversion des mesures relevées sur les bêtes-de-mer transformées : combler les lacunes pour certaines espèces tropicales exploitées

Steven W. Purcell,<sup>1</sup> Hugues Gossuin,<sup>1</sup> Natacha S. Agudo<sup>1</sup>

### Résumé

La conversion du poids ou de la longueur des holothuries traitées (salées, séchées, etc.) pour obtenir la mesure originale (de l'animal frais) est essentielle à la normalisation des données issues des enquêtes dépendantes des pêcheries et des exportations. Nous avons estimé la variation proportionnelle de la longueur et du poids des animaux au cours des différentes étapes de transformation de plusieurs espèces pour lesquelles la littérature offre peu de données. Les vastes écarts constatés entre les différentes espèces en termes de pourcentage de poids perdu pendant le traitement montrent que la conversion des mesures doit se faire espèce par espèce. Les spécimens *Stichopus herrmanni* affichaient la diminution la plus marquée de longueur et de poids de toutes les espèces étudiées. Nous présentons ici de nouvelles estimations pour *Actinopyga spinea*, *A. palauensis*, *A. echinites*, *Holothuria lessona* et *H. whitmaei*. Ces conclusions viennent compléter des études antérieures, puisqu'elles apportent des informations jusqu'alors manquantes sur les facteurs de conversion applicables aux espèces tropicales, et permettront de convertir de façon réaliste les données issues des évaluations des pêcheries et des exportations nationales.

### Introduction

Enregistrer le poids des holothuries destinées à l'exportation ou dans le cadre d'études à l'aide de données fournies par les pêcheries présente de multiples difficultés et risques d'erreur, car les animaux peuvent se trouver à divers stades de leur traitement commercial au moment où ils sont mesurés. Certaines études ont été menées sur diverses espèces d'holothuries afin de déterminer la variation moyenne de poids que subit un animal entier non traité au cours de sa transformation en bête-de-mer séchée. Conand (1989, 1990) a présenté un tableau exhaustif des variations de poids affichées pour sept espèces d'holothuries exploitées à des fins commerciales (exprimées en pourcentage). Skewes et al. (2004) ont examiné d'autres références bibliographiques sur les variations de poids enregistrées lors de la production de bêtes-de-mer et ont étudié six espèces supplémentaires.

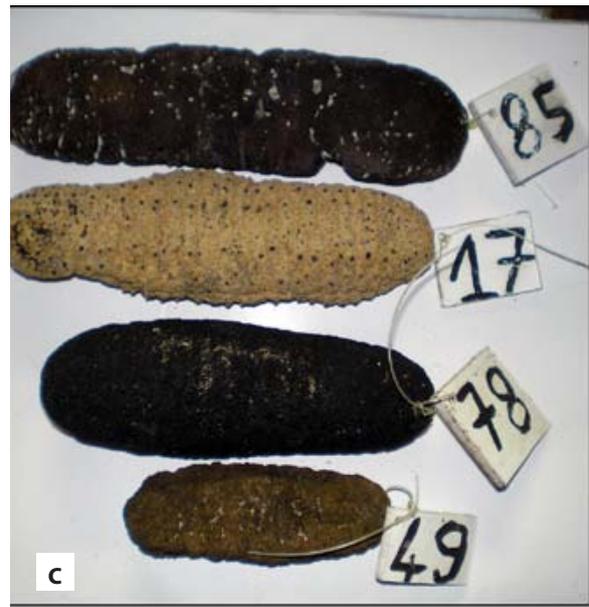
Nous avons récemment effectué des travaux multidisciplinaires en Nouvelle-Calédonie pour évaluer les stocks d'holothuries en milieu naturel et leurs modalités d'exploitation (Purcell et al., 2009). Les animaux vendus ou présentés par les pêcheurs se trouvaient à divers stades de transformation. Les animaux pêchés étaient tantôt simplement éviscérés, tantôt éviscérés et salés. On trouvait également des animaux séchés. Nous souhaitons pouvoir reconverter le poids de chaque individu en poids entier de sorte à disposer d'une unité d'analyse commune qui permettrait par ailleurs de comparer les données à celles obtenues lors de nos recensements sur le terrain. Les facteurs de conversion donnés par Skewes et al. (2004)

nous ont permis de convertir les poids de nombreuses espèces, mais il n'existait aucune donnée publiée pour les rapports de conversion à appliquer à certaines autres espèces. Le présent article décrit une brève étude réalisée à partir des travaux susmentionnés, dans le but d'estimer la perte pondérale moyenne enregistrée à chaque étape principale de traitement pour six espèces d'holothuries sur lesquelles on manque actuellement de données dans la littérature. Cette étude vient compléter les résultats et articles de Conand (1989, 1990) et Skewes et al. (2004), en ce sens qu'elle renseigne sur certains des maillons manquants pour les espèces tropicales commercialisées.

### Méthodes

Les 70 échantillons sélectionnés pour l'étude ont été obtenus soit en accompagnant un pêcheur et en utilisant les animaux qu'il a ramassés, soit en utilisant les animaux que nous avons prélevés au cours d'un recensement de la population d'holothuries à proximité de l'île Ouen, en Nouvelle-Calédonie. Une fois ramassés, les animaux ont été égouttés sur le pont du bateau pendant environ une minute, et ensuite, le poids entier a été pesé à 5 grammes près à l'aide d'une balance électronique. Les viscères ont alors été éliminés en reproduisant l'incision pratiquée par les pêcheurs. Des marques ont été placées dans le tégument de l'animal ; on a fait passer une étiquette plastique à travers l'anus de chaque spécimen à l'aide d'une ligne de pêche, et (pour *A. palauensis* et *H. whitmaei*) une marque à double barre en T a été introduite dans le tégument. Le corps de chaque animal a ensuite été pesé (poids éviscéré).

<sup>1</sup> WorldFish Center. Adresse de contact : steven.w.purcell@gmail.com



**Figure 1.** (a) Holothuries tout juste sorties de l'eau salées dans une cuve, présentant une étiquette en plastique attachée à leur tégument. (b) *Stichopus herrmanni* marquées et déposées dans de la glace avant leur débarquement et traitement à terre. (c) Certaines des holothuries marquées, transformées en bêche-de-mer, après ébouillantage et séchage ; de haut en bas : *H. lessoni*, *S. herrmanni*, *A. palauensis*, *A. echinites*. Photos : H. Gossuin

On a procédé au salage des spécimens (figure 1a), en les laissant reposer pendant dix jours (le sel a été changé deux fois au cours de cette période), à savoir la période habituelle de salage d'après le producteur avec lequel nous avons travaillé. Après cette période, chaque individu a de nouveau été pesé. Dans le cas de *Stichopus herrmanni*, les animaux n'ont pas été salés par le pêcheur, qui a pour habitude de placer directement les individus dans de la glace (figure 1b) et de les ébouillanter une fois de retour à terre. Les holothuries ont été ébouillantées et séchées jusqu'à obtenir un produit dur (la bêche-de-mer) et ont été à nouveau pesées (figure 1c).

Le tableau 1 reprend les espèces et le nombre d'individus étudiés pour lesquels nous avons calculé le poids perdu à chaque étape successive de la transformation. Il convient de préciser que certaines marques ont été perdues au cours des étapes de salage et d'ébouillantage. La perte de ces marques signifie que le calcul des facteurs de conversion pour les étapes suivantes de transformation reposait sur un nombre moindre d'animaux. Les moyennes des variations proportionnelles de longueur et de poids que nous présentons ont été calculées à partir des valeurs de la perte de poids proportionnelle enregistrée par chaque individu séparément.

**Tableau 1.** Nombre d'individus appartenant aux six espèces d'holothuries étudiées, mesurés aux différentes étapes de production des bèches-de-mer.

Espèce	Nombre d'individus pesés (n)			
	Entier (animal frais)	Éviscéré	Salé	Séché
<i>Actinopyga echinites</i>	15	15		14
<i>Actinopyga spinea</i>	15	15	13	9
<i>Actinopyga palauensis</i>	7	7	7	7
<i>Holothuria lessoni</i>	11	11	9	8
<i>Holothuria whitmaei</i>	10	10	10	10
<i>Stichopus herrmanni</i>	11			9

## Résultats

La présente étude fournit certaines estimations fiables des rapports de conversion applicables à six espèces d'holothuries (tableau 2). Environ 30 à 45 % du poids de l'animal se perd au cours de l'étape initiale d'éviscération. Pour les espèces salées par le producteur avec lequel nous avons travaillé, nous avons enregistré une perte supplémentaire de 12 à 17 % par rapport au poids initial. À ce stade, *Holothuria lessoni*, *H. whitmaei* et *Actinopyga palauensis* pesaient à peu près la moitié de leur poids initial. En revanche, les spécimens d'*A. spinea* ont souffert des pertes pondérales plus marquées et ne pesaient plus que 38 % de leur poids initial après le salage.

Les dernières étapes de transformation, l'ébouillantage et le séchage, s'accompagnent d'une diminution importante du poids et de la longueur de l'animal (tableau 2). Le pourcentage de perte de poids enregistrée au cours de la transformation de l'animal entier en bêche-de-mer varie sensiblement d'un animal à l'autre, vraisemblablement en raison des différentes proportions d'eau composant initialement les tissus des animaux. Les spécimens séchés d'*Holothuria whitmaei*, *Actinopyga echinites* et *A. palauensis* pesaient en moyenne environ 11 à 12 % de leur poids entier initial. Les spécimens séchés d'*Holothuria lessoni* pesaient en moyenne environ 10 % de leur poids initial, contre 7 % pour *Actinopyga spinea*. Parmi les espèces étudiées, c'est *Stichopus herrmanni* qui affichait les pertes de longueur et de poids les plus importantes au cours de la transformation en bêche-de-mer, à savoir une perte de 96,7 % de la masse corporelle initiale pour le produit séché.

## Discussion

Comme l'ont déjà montré des études similaires, la proportion de poids perdu pendant le traitement varie sensiblement d'une espèce à l'autre. Lorsque l'on souhaite convertir en poids frais (au débarquement) le poids des spécimens séchés ou salés figurant dans les données d'exportation, on obtient des résultats bien plus précis si l'on convertit les données espèce par espèce que si l'on utilise un facteur unique approximatif pour convertir les poids de toutes les espèces combinées. Même au sein d'un même genre, il existe des écarts significatifs entre les facteurs de conversion à appliquer aux poids. À l'exception de *S. herrmanni*, en règle générale, les holothuries séchées mesurent grosso modo la moitié de leur longueur initiale.

Nos résultats montrent que les spécimens séchés de *Stichopus herrmanni* pèsent seulement 3,3 % de leur poids initial, ce qui concorde avec les 3,9 % décrits par Preston (1990). Alors que Conand (1989, 1990) signale que les spécimens séchés de l'holothurie de sable *Holothuria lessoni* (alors appelée *H. scabra* var. *versicolor*) pesaient en moyenne 6 % de leur poids frais, notre étude donne un pourcentage beaucoup plus élevé (9,8 %). Ces résultats soulignent que cette espèce enregistre une perte pondérale moindre que l'holothurie de sable *H. scabra* au cours du traitement (le poids séché de *H. scabra* correspond à 5 % à peine du poids frais — Skewes et al., 2004), et pourtant ces deux espèces sont très proches (Uthicke et al., 2005 ; Massin et al., 2009). Les résultats que nous avons obtenus pour la perte pondérale chez *A. echinites*

**Tableau 2.** Variation de la longueur et du poids moyens ( $\pm$  erreur-type) et mesures aux différentes étapes du traitement exprimées en pourcentage des mesures initiales (entier, frais) pour les espèces d'holothuries transformées en bêche-de-mer. Étapes : 1 = entier, animal frais ; 2 = éviscéré, frais ; 3 = éviscéré et salé (après 10 jours) ; 4 = ébouillauté et séché.

Stade du traitement:		Longueur (cm)			Poids (g)			
		1	3	4	1	2	3	4
<i>Actinopyga echinites</i>	Moyenne	19		8	334	231		35
	Erreur-type	$\pm 0,3$		$\pm 0,2$	$\pm 20$	$\pm 14$		$\pm 2$
	%	100		42,1	100	69,2		10,5
<i>Actinopyga spinea</i>	Moyenne	27	21	13	1 352	735	507	99
	Erreur-type	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 72$	$\pm 39$	$\pm 26$	$\pm 11$
	%	100	77,8	48,1	100	54,4	37,5	7,3
<i>Holothuria lessoni</i>	Moyenne	31	28	16	2 256	1 456	1 187	221
	Erreur-type	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 0,2$	$\pm 80$	$\pm 50$	$\pm 32$	$\pm 7$
	%	100	90,3	51,6	100	64,5	52,6	9,8
<i>Stichopus herrmanni</i>	Moyenne	37		14	2 658			88
	Erreur-type	$\pm 2$		$\pm 0,3$	$\pm 154$			$\pm 5$
	%	100		37,8	100			3,3
<i>Holothuria whitmaei</i>	Moyenne	25	27	15	1 829	1 174	968	213
	Erreur-type	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	$\pm 0,4$	$\pm 104$	$\pm 45$	$\pm 35$	$\pm 14$
	%	100	108,3	59,9	100	64,2	52,9	11,6
<i>Actinopyga palauensis</i>	Moyenne	27	23	15	1 416	985	740	165
	Erreur-type	$\pm 0,7$	$\pm 2$	$\pm 0,5$	$\pm 86$	$\pm 61$	$\pm 44$	$\pm 11$
	%	100	85,9	53,8	100	69,6	52,3	11,7

correspondent étroitement à ceux de Conand (1989, 1990), mais nous avons estimé une perte de poids inférieure au cours de la transformation de *H. whitmaei* en sa forme séchée que dans les études passées en revue par Skewes et al. (2004).

Les mesures que nous avons relevées sur *A. spinea* et *A. palauensis* sont à notre connaissance les premières publiées pour ces espèces. La présente étude est la seule à ce jour à fournir des estimations permettant de convertir le poids des spécimens éviscérés ou salés d'*A. echinites* en poids entier (frais) ou poids séché. De même, nous présentons les premières estimations pour la conversion du poids des spécimens éviscérés ou salés de *H. lessoni* et des spécimens salés de *H. whitmaei* en poids frais ou poids de l'animal séché, ainsi que pour la conversion des longueurs à partir des mesures relevées sur les animaux éviscérés ou salés. Ces résultats sont particulièrement importants pour normaliser les données issues des enquêtes sur les prises dans notre programme de recherche global, étant donné que les holothuries étaient souvent salées, ou parfois juste éviscérées, lorsque nous les avons mesurées au moment de la vente.

Nous encourageons les lecteurs à consulter l'évaluation exhaustive de Skewes et al. (2004) et à utiliser les « pourcentages de récupération » des différentes espèces présentés dans les études menées à l'endroit le plus proche du site qu'ils étudient. Si Skewes et al. (2004) présentent des relations de régression entre les mesures de poids (ex. : poids entier contre poids séché, pour chaque espèce), nous avons choisi de ne pas procéder de la sorte pour la présente étude. Nous avons estimé que si l'une quelconque des mesures est théoriquement proche de zéro, la mesure (appariée) de l'autre forme transformée le sera aussi et il faudrait forcer les courbes de régression à passer par l'origine (zéro). En d'autres termes, les régressions linéaires que nous effectuerions n'auraient pas de constante, et le résultat obtenu est en effet un simple facteur de conversion que l'on multiplie par une mesure pour en obtenir une autre.

### Remerciements

Nous tenons à remercier Wigrial Mouzin, pêcheur local qui a accepté que nous mesurions ses captures. Le travail de terrain a été réalisé avec l'aide de Bernard Fao,

du Bureau des pêches et de l'aquaculture de la Province Sud. Nous souhaitons également remercier Warwick Nash, Daniel Taboga et les agents de la CPS pour leur travail administratif. Ce projet a été financé principalement par ADECAL, dans le cadre du programme ZoNéCo, en Nouvelle-Calédonie.

### Bibliographie

- Conand C. 1989. Les holothuries Aspidochirotés du lagon de Nouvelle-Calédonie : biologie, écologie et exploitation. Etudes et thèses. Paris: Éditions de l'ORSTOM. 393 p.
- Conand, C. 1990. The fishery resources of Pacific Island countries, part two: Holothurians. Fisheries Technical Paper, No. 272.2. Rome: Food and Agriculture Organisation.
- Massin C., Uthicke S., Purcell S.W., Rowe F.W.E. and Samyn Y. 2009. Taxonomy of the heavily exploited Indo-Pacific sandfish complex (Echinodermata: Holothuriidae). Zoological Journal of the Linnean Society 155:40–59.
- Preston G. 1990. Beche-de-mer recovery rates. SPC Beche de Mer Information Bulletin 1:7.
- Purcell S.W., Gossuin. H. and Agudo N.S. 2009. Status and management of the sea cucumber fishery of La Grande Terre, New Caledonia. WorldFish Center Studies and Reviews. Penang, Malaysia: The WorldFish Center. 138 p.
- Skewes T., Smith L., Dennis D., Rawlinson N., Donovan A. and Ellis N. 2004. Conversion ratios for commercial beche-de-mer species in Torres Strait. Australian Fisheries Management Authority, Torres Strait Research Program, Final Report. 20 p.
- Uthicke S., Purcell S. and Blockmans B. 2005. Natural hybridisation does not dissolve species boundaries in commercially important sea cucumbers. Biological Journal of the Linnean Society 85:261–270.

## Corrélation entre les attributs de la femelle génitrice et la croissance, la forme, la survie et le développement des larves qu'elle produit chez *Australostichopus mollis*, holothurie des zones tempérées

Andrew David Morgan<sup>1</sup>

### Résumé

La proportion de larves qui achèvent leur cycle larvaire et contribuent à la formation des générations suivantes peut être affectée par les influences que subit la femelle génitrice. En conséquence, il se peut qu'il existe une corrélation entre les attributs des femelles et toute une série d'attributs caractérisant les larves au cours du cycle larvaire et affectés par des facteurs exogènes. Dans le cas de l'holothurie *Australostichopus mollis*, vivant en milieux tempérés, on a établi une corrélation entre la taille et le nombre d'œufs produits par quatre femelles et un indice de viabilité larvaire, défini comme la proportion de larves survivantes multipliée par la proportion de larves qui atteignent le stade final auricularia. On a constaté une faible relation entre cet indice de survie-viabilité, calculé pour les larves émises par chaque femelle, et le nombre moyen de nodules hyalins se développant dans les replis de la frange ciliée des larves. Par ailleurs, on a observé que le ratio longueur de la frange ciliée-longueur des larves provenant des différentes femelles était corrélé à la proportion d'embryons présentant des caractéristiques de développement normal (mesure de la réussite de reproduction). La forme globale des larves ne variait pas en fonction de la génitrice, mais cette dernière avait une incidence sur leur rythme d'évolution. Cela dit, la croissance et le développement des larves étaient similaires pour les différentes femelles et n'étaient pas corrélés au nombre et à la taille des œufs. En fait, la croissance et le développement semblaient dissociés, d'une part, de tous les effets que peuvent subir les génitrices et, d'autre part, de la relation qui peut exister entre ces effets et la réussite de reproduction, le rythme d'évolution des caractéristiques morphologiques, ou l'indice de survie-viabilité. La compétence des larves, telle qu'exprimée par le phénotype, n'est pas forcément représentative des caractéristiques des femelles.

### Introduction

Chez les holothuries aspidochirotées, on observe, à partir d'un même nombre de gamètes libérés au cours de la ponte, de vastes écarts dans le nombre de larves qui survivent à l'ensemble de la phase larvaire et sont capables d'achever leur cycle larvaire (James et al., 1994 ; Ito, 1995 ; Ramofafia et al., 1995 ; Martinez et Richmond, 1998 ; Battaglione et al., 1999 ; Mercier et al., 2000 ; Morgan, 2000 ; Asha et Muthiah, 2002 ; James, 2004 ; Mercier et al., 2004 ; Pitt et al., 2004 ; Wang et Chen, 2004 ; Sui, 2004 ; Liu et al., 2004 ; Giraspy, et Ivy, 2005, 2006 ; Laximinarayana, 2005 ; Morgan 2008a, b et c). Ces écarts s'expliquent peut-être par la relation qui existe entre, d'une part, les paramètres de la fécondation, la réussite de reproduction et la femelle génitrice ou la source des ovules, et, d'autre part, la croissance, la forme, la viabilité et le développement des larves.

Il se peut que les différences de taille observées chez les larves soient liées à la source d'alimentation des parents et à son incidence sur la qualité des œufs et leur croissance ultérieure au cours du cycle larvaire. De précédentes études ont permis d'établir une corrélation entre la taille des œufs et la taille des larves de *Strongylocentrotus droebachensis* et d'un certain nombre d'autres échinodermes (McEdward, 1986). Par exemple, dans le cas de *S. droebachensis*, on a constaté que les œufs de taille supérieure

étaient produits par des animaux résidant dans des habitats où la nourriture est abondante, les larves atteignant aussi des tailles supérieures (Bertram et Strathmann, 1998). En revanche, les résultats d'une autre étude ne montrent aucune relation entre la taille des œufs et les rations alimentaires données aux sujets *S. droebachensis* en captivité, et aucune variation de la taille des larves n'a été observée (Meidel et al., 1999). L'apport de ressources lors de la reproduction ne se traduit pas forcément par une variation de la taille des œufs (McEdward et Carson, 1987) étant donné que les individus peuvent produire des œufs plus petits, mais plus nombreux.

Les variations morphologiques des larves ont aussi été associées à la taille des œufs et seraient liées à la femelle génitrice. Des relations ont été établies entre l'origine maternelle des œufs et les différentes formes larvaires des échinodermes, tels que les oursins *Arbacia lixula* et *S. droebachensis* et l'étoile de mer *Pisaster ochraceus* (George et al., 1990 ; Bertram et Strathmann, 1998 ; George, 1999 ; Meidel et al., 1999). Toutefois, dans le cas de *S. droebachensis*, la relation variation morphologique-femelle génitrice était peu significative par rapport à la relation plasticité développementale-disponibilité alimentaire (Bertram et Strathmann, 1998). Les variations morphologiques des larves dictées par l'origine maternelle ont également été associées aux variations de qualité des œufs, en raison soit des différents régimes alimentaires

1. School of Applied Science, Bay of Plenty Polytechnic, Private Bag TG12001, Tauranga, Nouvelle-Zélande. Courriel : andrew.morgan@boppoly.ac.nz, tél. : +647 5440920, poste 6850

des animaux maintenus en captivité, soit de leurs différents habitats *in situ* (McEdward et Carson, 1987 ; George et al., 1990 ; George, 1999). Néanmoins, la taille des œufs n'était pas corrélée à la forme des larves ou aux écarts de longueur de la frange ciliée chez *S. droebachensis* et un certain nombre d'autres échinodermes (McEdward, 1986).

Il se peut que les différents taux de survie et de viabilité des larves soient déterminés par les différentes femelles génitrices et par leur réussite de reproduction variable. Des études récentes ont mis en évidence que l'histoire de la fécondation a une influence sur la réussite de reproduction ou « la fraction des ovules d'une femelle qui sont fécondés » (Levitan, 2005). Dans le cas de l'oursin *Strongylocentrotus franciscanus*, les différences entre mâles et femelles, en termes d'intensité de la sélection sexuelle, étaient fonction de la densité de partenaires sexuels. En dépit de paternités multiples, la variance de réussite de reproduction était inférieure chez les mâles et supérieure chez les femelles (Levitan, 2005). Chez les oursins *Heliocidaris erythrogramma* et *Holopneustes purpureus*, l'ordre d'accouplement avait une incidence sur la quantité et la qualité des progénitures des mâles en concurrence (Marshall et al., 2004). Compte tenu des variations de taille entre les ovules produits par les différentes femelles et leur relation avec la fécondation, on peut dire que l'histoire de la fécondation influe sur la distribution de taille des progénitures. Les mâles qui libèrent leurs gamètes en premier engendrent des individus plus grands et plus forts.

On a également établi une corrélation entre les différences observées dans le développement larvaire et la taille des œufs et une relation entre ce développement larvaire et la femelle génitrice. Ainsi, chez *S. droebachensis*, la petite taille des œufs conduit à un retard dans le développement des larves au cours des premières étapes du cycle larvaire (Sinervo et McEdward, 1988), tandis qu'une autre étude a permis d'établir une corrélation entre la grande taille des œufs de *S. droebachensis* et un raccourcissement de la période larvaire, sans toutefois noter d'incidence sur le développement (Bertram et Strathmann, 1998). Chez *S. droebachensis*, la métamorphose était plus rapide et les larves se métamorphosaient de façon plus précoce lorsqu'elles provenaient de parents qui avaient reçu une alimentation enrichie, bien qu'aucun effet sur le rythme de croissance ou la taille à la métamorphose n'ait été observé (Meidel et al., 1999).

On compte peu d'études sur les effets qu'ont les géniteurs sur la croissance, la forme, la survie et le développement des larves qu'ils engendrent, ainsi que sur leurs implications pour la compétence larvaire des holothuries. D'après certains travaux, la durée de captivité d'individus *Holothuria scabra* aurait des effets sur la qualité des œufs produits, en raison d'une modification des attributs des géniteurs (Morgan, 2000). Les taux d'éclosion et le nombre d'œufs pondus par *H. scabra* étaient inférieurs lorsque les géniteurs étaient maintenus en captivité pendant des périodes prolongées (Morgan, 2000). Toutefois, les effets ultérieurs sur la croissance et le développement des larves n'ont pas été quantifiés. On a constaté que la taille et la forme des larves d'*Actinopyga echinites* variaient selon que la libération des ovocytes et

la production résultante de larves, plus petites, étaient induites par dithiothréitol (DTT) ou que cette libération d'ovocytes et production de larves étaient induites par stimulation ovarienne (Chen et al., 1991). Les larves produites sous l'action du DTT présentaient un aspect morphologique distinct (asymétrique) au milieu et à la fin du stade auricularia (Chen et al., 1991). Sans connaître la relation qui existe entre les différents attributs des larves et leurs géniteurs, il est difficile de déterminer l'impact de la filiation sur la capacité qu'auront les larves de terminer leur cycle larvaire.

La saison de reproduction d'*Australostichopus mollis* s'étale sur environ quatre mois, durant l'été, de novembre à février (Sewell, 1992 ; Archer, 1996 ; Morgan, 2008a). L'hypothèse posée dans la présente étude est la suivante : pour chaque femelle, la qualité des embryons est liée aux paramètres de la libération des œufs, en l'occurrence le nombre et la taille des œufs, paramètres qui s'expriment ensuite dans les différents phénotypes larvaires. Sur cette base, les variations de croissance, de taille, de survie et de développement des larves devraient être liées à la source de libération des œufs et avoir une incidence sur la capacité des larves de terminer leur cycle larvaire. Trois questions ont été posées dans cette étude : i) Existe-t-il une relation entre la source des œufs et la croissance et la morphologie des larves ? ii) La survie et le développement des larves sont-ils liés aux différentes femelles qui les engendrent ? iii) Existe-t-il une quelconque relation entre l'apparition des nodules hyalins précédant la métamorphose et la source des œufs ?

## Méthodes

### Collecte des larves

Les larves d'*Australostichopus mollis* ont été obtenues par prélèvement sur le terrain une fois toutes les deux semaines à partir d'un stock de géniteurs et par ponte à l'écloserie (Morgan, 2008a). Les ovules libérés par quatre femelles ont été séparés et fécondés avec un mélange de spermatozoïdes frais provenant de quatre mâles. Les œufs fécondés ont été rincés et placés dans une cuve de 40 litres, remplie d'eau filtrée avec un tamis de 1 µm et stérilisée par UV, pour l'éclosion (Morgan, 2008b). Les paramètres des génitrices ont été mesurés : poids des génitrices, taille des ovocytes mesurée par biopsie avant la ponte, nombre d'œufs libérés et proportion d'embryons présentant des caractéristiques de développement « normal » (voir Morgan 2008b). On a compté, dans chaque récipient, environ 1000 ± 100 larves « normales » au stade précoce auricularia, trois jours après la fécondation. Les larves ont été concentrées dans un tamis 60 mm pour le comptage ; leur concentration initiale était d'environ 1 larve par millilitre pour les expériences. L'âge des larves a ensuite été désigné par le temps écoulé depuis le premier nourrissage.

### Élevage larvaire

Le moteur d'un essuie-glace a été couplé à un transformateur de tension (avec variateur de 1 à 12 volts) pour entraîner un agitateur à pales. Des bocaux à conserves en verre contenant 1 litre d'eau de mer filtrée avec un tamis de 1 µm et stérilisée par UV ont été utilisés pour les

besoins de l'expérience. Les expériences ont été réalisées au cours d'un cycle lumière-obscurité (L:O) de 16:8 heures à une température de  $20 \pm 1$  °C. Des diatomées *Chaetoceros muelleri* ont été mises en culture sur un milieu f/2 de Guillard et, au cours de la phase de croissance principale (log phase), elles ont servi d'alimentation aux larves à une concentration de 2 000 cellules par millilitre par jour, une fois par jour. Il y avait trois bocalx répétés pour les larves de chaque femelle.

Tous les deux jours, on a siphonné 90 % de l'eau de mer contenue dans chacun des récipients, à l'aide d'un tuyau-siphon et d'un tamis de 60 µm pour éviter l'évacuation des larves. Les larves ont été prélevées pour prendre des mesures morphologiques en aspirant à la pipette de 5 à 10 ml d'eau de mer contenant de 15 à 40 larves, placées dans une boîte de Pétri. Les larves restantes, encore présentes dans les bocalx remplis d'eau de mer, ont ensuite été vidangées dans un bocal propre, auquel on a ajouté un litre d'eau de mer filtrée avec un tamis de 1 mm et stérilisée par UV.

### Croissance et développement des larves

Le développement larvaire était caractérisé par le développement du somatocœle gauche et droit et de l'axo-hydrocœle (Smiley, 1986 ; Archer, 1996 ; Morgan, 2001 ; Sewell et McEuen, 2002 ; Morgan, 2008c). Aux jours 1, 3, 7, 12, 18 et 22 après le premier nourrissage (trois jours après la fécondation), 15 à 40 larves ont été prélevées dans chaque bocal, parmi lesquelles 10 ont été mesurées pour déterminer leur croissance et leur développement. Les mesures ont été relevées au microscope optique, à l'aide d'un micromètre oculaire avec grossissement  $\times 100$ . On a compté le nombre de nodules hyalins et mesuré la longueur totale, la largeur, la longueur de la partie postérieure (longueur après capuchon oral), la longueur de l'intestin postérieur (extrémité postérieure jusqu'à l'entrée de l'intestin), le maximum latéral (extrémité postérieure à la largeur maximale), la profondeur latérale (profondeur maximale du repli postérieur), la longueur de la bouche, la largeur de la bouche, la longueur de l'intestin, la largeur de l'intestin, la longueur du somatocœle gauche et la longueur de l'axo-hydrocœle (voir Morgan, 2008c).

### Analyse des données

Pour chaque expérience, les variations de la longueur totale des larves de chaque femelle ont été analysées au cours de plusieurs jours successifs. Les valeurs moyennes ont été comparées à l'aide d'un test de Tukey visant à rechercher des différences significatives entre les valeurs médianes, avec application de la méthode d'ajustement de Kramer pour les comparaisons multiples.

Une analyse de la variance à un facteur a été appliquée pour le nombre total de larves survivantes comptées dans chaque bocal à la fin de chaque expérience. Les comptages ont été corrigés pour tenir compte des larves prélevées et mesurées. Un indice de viabilité larvaire a aussi été calculé en multipliant la proportion de larves ayant survécu par la proportion de larves ayant atteint le dernier stade auricularia. On a ainsi obtenu

une valeur pour la proportion de larves susceptibles d'achever leur cycle larvaire.

Une analyse de la variance par modèle mixte réalisée avec le logiciel SAS (version 8) a été appliquée aux variables morphométriques des larves mesurées à chaque expérience. Les effets analysés étaient FEMELLE, FEMELLE  $\times$  JOUR, RÉPÉTITION dans (FEMELLE) et JOUR  $\times$  RÉPÉTITION dans (FEMELLE). Les ratios des variables morphométriques ont été analysés simultanément en réduisant les neuf ratios morphométriques en leurs composantes principales à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP) (voir Morgan, 2008c). L'analyse de la variance a été appliquée à la première composante principale.

Des ratios de longueur invariants d'échelle ont été utilisés, sachant que la première composante principale de l'analyse taille-dépendante représente un nombre inconnu de variables de forme liées par relation allométrique (James et McCulloch, 1990 ; George, 1999 ; Morgan, 2008c).

Les transformations logarithmiques des données de ratio de longueur n'ont pas permis d'améliorer de façon significative la normalité. Nous sommes donc revenus aux données d'origine. Pour l'analyse en composantes principales des moindres carrés des ratios de longueurs, des moyennes ont été utilisées pour comparer les différences entre les traitements pendant les différents jours de l'expérience.

La longueur de la frange ciliée des larves a été calculée pour les larves produites par chaque femelle. Pour chacune d'entre elles, quatre larves ont été photographiées à l'aide d'un appareil-photo numérique monté sur un microscope optique. Les images ont ensuite été analysées avec le logiciel SigmaScan Pro (voir Morgan, 2008c). Les ratios longueur de la frange ciliée-toutes variables de longueur des larves photographiées ont ensuite été comparés pour les différentes femelles à l'aide d'une analyse de variance à un facteur au 12<sup>e</sup> jour.

Une analyse des discriminantes a été appliquée pour examiner simultanément toutes les variables morphométriques pour les données de ratio de longueur et de ratio de longueur de la frange ciliée, en vue de déterminer quelles étaient les variables qui traduisent au mieux les différences entre les larves produites par les différentes femelles. Cette analyse sert à estimer de façon aléatoire avec quel degré d'efficacité on peut relier une larve à sa génitrice. Pour chaque expérience, une fonction discriminante a été calculée et chaque larve a été classée comme progéniture de l'une ou l'autre femelle.

Un modèle log-linéaire a été utilisé pour quantifier les différences entre le nombre de larves se trouvant aux différents stades de développement pour chaque femelle. Un tableau croisé à triple entrée a été créé pour les traitements FEMELLE, JOUR (1, 3, 7, 12, 18 et 22) et STADE (auricularia initial, intermédiaire et final). Exclure le terme JOUR du modèle reviendrait à prendre uniquement en compte les différences additionnées pour les différents stades observés à partir des différentes femelles au cours des expériences. Aucune information sur la variation temporelle n'a pu être obtenue pour chaque stade en partant de cette approche.

**Résultats**

**Attributs larvaires et génitrices**

Les femelles présentant au départ une proportion supérieure d'embryons viables («normaux»), caractérisés par des signes de développement normal, étaient, au 12<sup>e</sup> jour, corrélées (0,50) avec les larves qui présentaient une frange ciliée plus longue par rapport à la longueur larvaire totale. Pour les femelles F1 et F2, 90 % et 80 % des embryons étaient respectivement considérés comme présentant des signes de développement normal, contre 65 % pour les femelles F3 et F4.

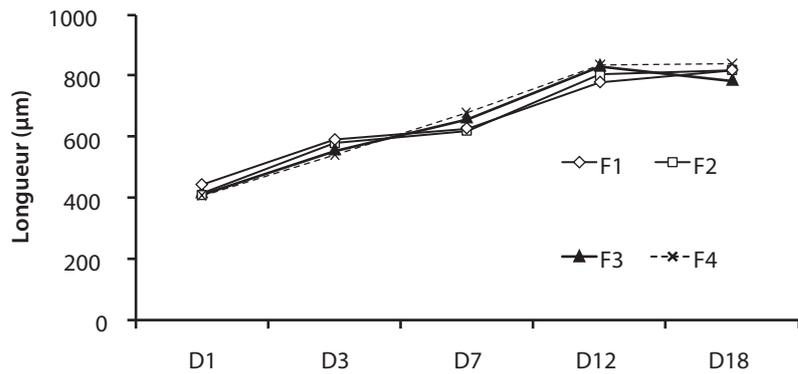
On a établi une corrélation entre les larves affichant un indice de survie-viabilité supérieur et les femelles qui libéraient des ovocytes plus nombreux (0,64) et de taille supérieure (0,80). Les femelles F1 et F2 ont produit respectivement 195 000 ± 40 100 et 88 000 ± 20 600 ovocytes, contre 31 000 ± 1 900 et 62 000 ± 15 300 pour les femelles F3 et F4 (moyenne ± erreur-type). Pour les femelles F1 et F2, la taille des œufs était de 120 ± 17 et 124 ± 23 µm respectivement, contre 101 ± 17 et 111 ± 20 µm pour F3 et F4 (moyenne ± écart-type). Pour ce qui est du poids humide des génitrices, aucune différence n'a été notée entre les larves produites par les différentes femelles (p > 0,05).

**Croissance larvaire**

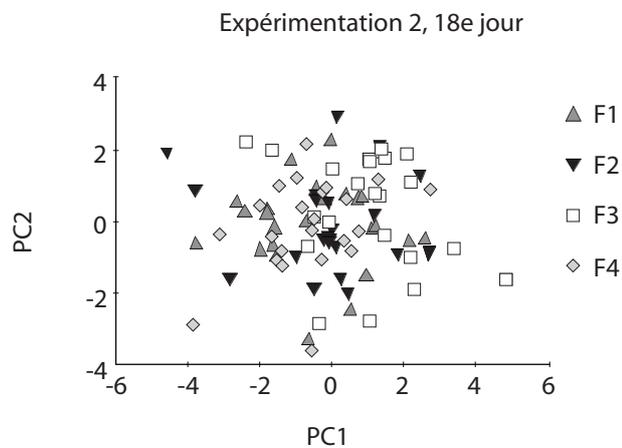
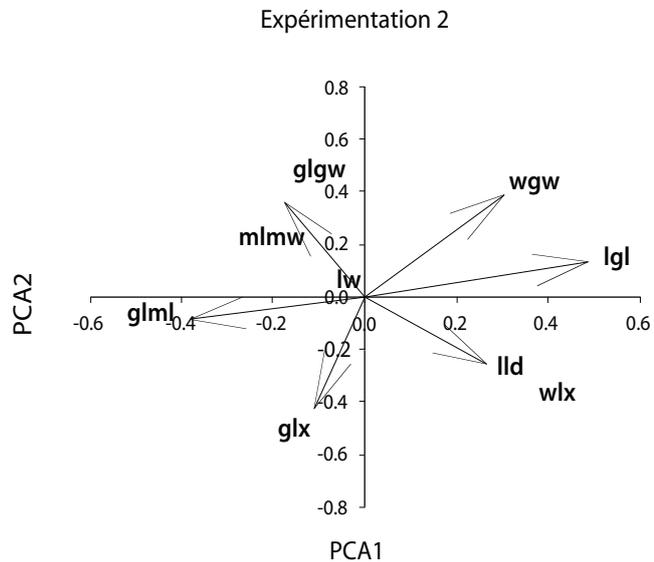
Les larves produites par les quatre femelles affichaient un taux de croissance similaire jusqu'au 18<sup>e</sup> jour, pour atteindre une taille maximale de 841 ± 22 µm pour F3 et une taille minimale de 781 ± 28 µm (moyenne ± erreur-type) pour F4 (p > 0,05 ; figure 1). Les larves aux 7<sup>e</sup>, 12<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> jours étaient plus longues que les larves au 3<sup>e</sup> jour, et les larves aux 12<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> jours étaient plus longues que les larves au 7<sup>e</sup> jour (p < 0,01 ; Tukey-Kramer).

**Forme des larves**

La première composante principale (ACP1) pour les variables de ratio de longueur expliquait 30% des variations des données. Les différences de données observées entre les femelles étaient attribuées aux ratios longueur-longueur de l'intestin et longueur de la bouche-largeur de la bouche pour l'ACP1 et aux ratios longueur de l'intestin-largeur de l'intestin et longueur de l'intestin-maximum latéral pour l'ACP2. L'analyse discriminante a



**Figure 1.** Croissance en longueur totale (µm ; moyenne ± erreur-type) des larves des différentes femelles, si jour = jour 1 à partir du moment où les larves sont alimentées pour la première fois (âge des larves = jour 1 plus 3 jours). F1, F2, F3 et F4 = numéro des différentes femelles. Les larves ont reçu une ration alimentaire journalière de 2 000 cellules par millilitre d'algues *Chaetoceros muelleri*



**Figure 2.** Analyse en composantes principales des variables de ratio de longueur. lw = longueur/largeur ; glgw = longueur de l'intestin/largeur de l'intestin ; mlmw = longueur de la bouche/largeur de la bouche ; lgl = longueur/largeur de l'intestin ; lwgw = largeur/largeur de l'intestin ; glml = longueur de l'intestin/largeur de la bouche ; glx = longueur de l'intestin/maximum latéral ; wlx = largeur/maximum latéral ; lld = longueur/profondeur latérale

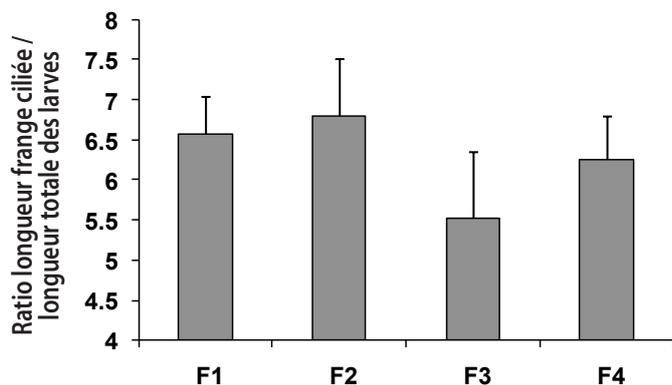


Figure 3. Ratio longueur de la frange ciliée-longueur totale des larves produites par les femelles F1, F2, F3 et F4 au 12<sup>e</sup> jour (moyenne  $\pm$  erreur-type ; n = 4 larves par femelle).

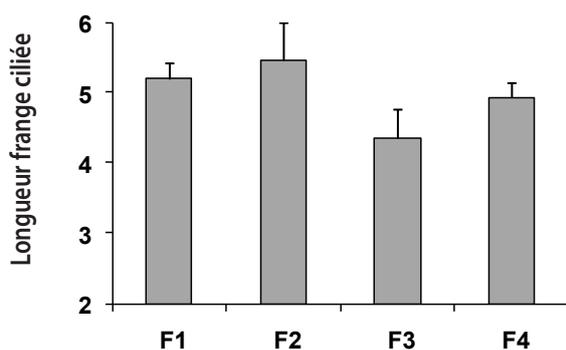


Figure 4. Longueur de la frange ciliée des larves produites par les femelles F1, F2, F3 et F4 au 12<sup>e</sup> jour (moyenne  $\pm$  erreur-type ; n = 4 larves par femelle).

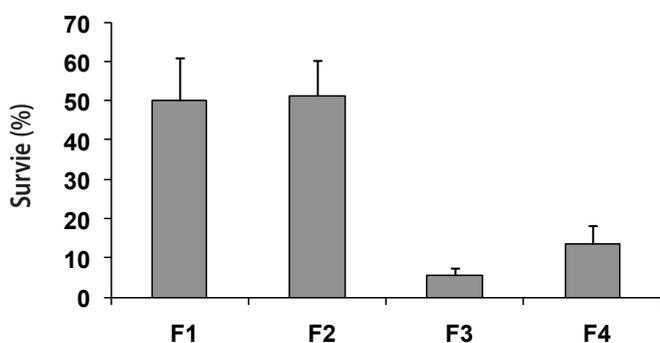


Figure 5. Pourcentage de survie des larves produites par les femelles F1, F2, F3 et F4 (moyenne  $\pm$  erreur-type) alimentées avec des diatomées *Chaetoceros muelleri* à une concentration de 2 000 cellules par millilitre par jour

révélé que la probabilité de relier correctement une larve choisie de façon aléatoire à sa génitrice n'était que de 25 % à 50 %. Pour l'ACP1, il n'y avait dans l'ensemble aucune différence en termes de caractéristiques morphologiques ( $p > 0,01$  ; figure 2). Néanmoins, on a constaté des variations au niveau de la vitesse d'évolution morphologique des larves, sachant que chez les larves produites par F1 et F3, l'intestin et la bouche tendaient à garder plus longtemps une forme plus courte et arrondie, par rapport à l'évolution temporelle des autres structures larvaires ( $p < 0,01$  ; moyennes moindres carrés). Les larves de F2 et de F4 tendaient à développer plus tôt un intestin et une bouche de longueur supérieure, mais plus étroite, et elles étaient plus larges et développaient plus tôt un repli latéral supérieur au niveau de la frange ciliée.

Pour ce qui est des ratios de longueur de la frange ciliée, l'ACP1 représentait 83 % des variations entre les femelles. Ces variations s'expliquaient principalement par les changements des ratios longueur de la frange-longueur des larves et longueur de la frange-largeur des larves, de façon analogue à la pondération des variables contribuant aux effets de traitement observés pour les ratios de longueur. Lorsque toutes les variables de ratio de longueur de la frange ciliée étaient prises en compte simultanément, la probabilité d'une filiation incorrecte entre les larves et les femelles n'était que de 0 % à 12,5 %. L'ACP1 des ratios de longueur de la frange ciliée variait d'une femelle à l'autre ( $p < 0,01$  ; moyennes moindres carrés ; figure 3). Dans l'ensemble, les larves provenant des femelles F1 et F2 affichaient une longueur totale de la frange ciliée de  $5,2 \pm 0,23$  et  $5,5 \pm 0,54$  respectivement, tandis que ce même chiffre s'élevait à  $4,4 \pm 0,41$  et  $4,9 \pm 0,21$  (moyenne  $\pm$  erreur-type) pour les larves provenant respectivement des femelles F3 et F4 ( $p < 0,01$  ; figure 4).

#### Survie et viabilité des larves

Le pourcentage de survie le plus élevé a été enregistré pour les larves produites par les femelles F1 et F2, soit respectivement  $50,0 \% \pm 11 \%$  et  $51,7 \% \pm 9 \%$  (moyenne  $\pm$  erreur-type) contre  $5,5 \% \pm 2 \%$  et  $13,5 \% \pm 4,7 \%$  pour F3 et F4 respectivement ( $p < 0,01$  ; Tukey ; figure 5). Toutefois, il se peut que les larves qui ont, au départ, moins de chances d'atteindre le stade final auricularia et de terminer leur métamorphose survivent pendant de longues périodes dans les milieux de culture. Les chiffres obtenus pour la survie ont été corrigés du nombre de larves qui atteignent le stade auricularia final. On a ainsi multiplié la proportion de larves survivantes par la proportion atteignant le stade final auricularia pour obtenir un indice de viabilité larvaire ou de réussite larvaire. Pour les femelles F1 et F2, respectivement 40 % et 54 % des larves étaient susceptibles de réussir leur métamorphose complète, contre 3,6 % et 11 % pour F3 et F4.

**Développement**

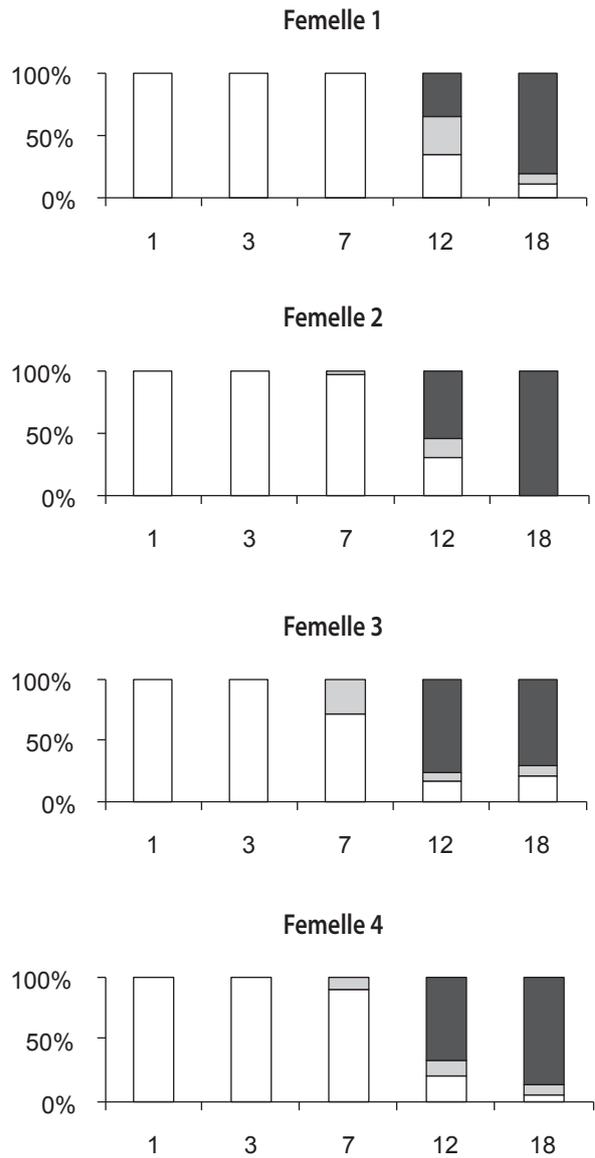
Dans l'ensemble, aucune différence de développement n'a été observée entre les larves produites par les différentes femelles ( $\chi^2 > 0,01$ ). Le stade intermédiaire auricularia est apparu au septième jour et une proportion assez faible de larves est passée au stade intermédiaire du septième au douzième jour (figure 6). Toutes femelles confondues, les larves restantes avaient, pour la plupart, atteint le stade final auricularia au dix-huitième jour. Toutefois, de jour en jour, le rythme de développement était différent selon que les larves provenaient de l'une ou l'autre génitrice ( $\chi^2 < 0,01$ ). En outre, pour le stade final auricularia, le nombre de nodules hyalins présents dans les replis de la frange ciliée ne variait pas d'une femelle à l'autre ( $p > 0,05$ ). On retrouvait aussi ce constat pour la proportion de larves restantes en cours de métamorphose (figure 7). En ce qui concerne les larves des femelles F3 et F4, le rythme de transition au stade final auricularia après le douzième jour était plus soutenu et, au vingt-deuxième jour, on observait une proportion supérieure qui se métamorphosait plus tôt ( $p < 0,01$ ).

**Discussion**

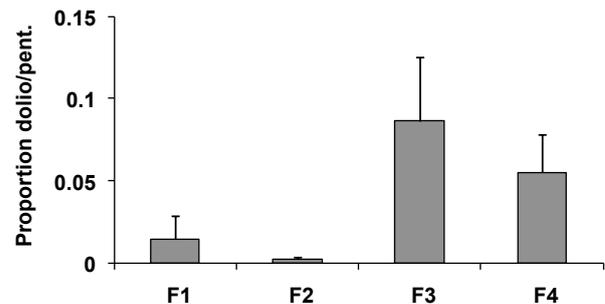
**Croissance et forme des larves**

Aucune corrélation n'a pu être établie entre la croissance et l'origine des œufs pour les larves des différentes femelles. Par ailleurs, les différences entre les caractéristiques morphologiques des larves produites par les différentes femelles étaient limitées. Toutefois, les ratios longueur de la frange ciliée-longueur des larves variaient d'une femelle à l'autre. On a pu également établir une corrélation avec la proportion d'embryons présentant des caractéristiques de développement « normal ». L'utilisation des ratios longueur de la frange ciliée-longueur des larves pour déterminer les différences entre les larves produites par les différentes femelles ainsi que leur relation avec le développement précoce des larves et les caractéristiques de la femelle génitrice pourrait se révéler intéressante et mérite d'être étudiée de façon plus approfondie.

D'autres études révèlent que la relation entre la taille des œufs et la forme des larves est inconsistante. Les larves à jeun obtenues à partir de petits œufs de *Pisaster ochraceus* étaient plus larges que les larves à jeun ou nourries obtenues à partir d'œufs de taille supérieure, traduisant une augmentation de la longueur de la frange ciliée (George, 1999). Les larves de *Strongylocentrotus droebachensis* étaient plus grandes là où l'alimentation était abondante, sachant que les œufs provenaient de géniteurs maintenus en captivité dans des conditions où les rations alimentaires étaient faibles ; notons qu'aucune différence n'a été observée dans la taille des œufs (Meidel et al., 1999). D'un autre côté, les larves de *S. droebachensis* obtenues à partir de grands œufs dans un site de faible profondeur et abondant en nourriture étaient plus grandes, que leur ration alimentaire soit faible ou élevée, mais la tendance était plus évidente lorsque les rations alimentaires étaient faibles (Bertram et Strathmann, 1998). Toutefois, aucune corrélation n'a été établie entre la taille et la forme des larves de *S. droebachensis*, *S. purpuratus*, *S. franciscanus*, *Dendraster excentricus*, *Heterocentrotus mammillatus*,



**Figure 6.** Développement des larves produites par les différentes femelles, si jour 1 = jour 1 à partir du moment où les larves sont alimentées pour la première fois (âge des larves = jour 1 plus 3 jours). Axe des abscisses = jours ; axe des ordonnées = proportion de larves à chaque stade (%). Blanc = auricularia initial ; gris = auricularia intermédiaire ; noir = auricularia final.



**Figure 7.** Proportion de larves survivantes au 22<sup>e</sup> jour, provenant des femelles F1, F2, F3 et F4, qui étaient soit au stade doliolaria soit au stade pentacula (moyenne ± erreur-type).

*Colobocentrotus atratus* et *Tripneustes gratilla* et la taille des œufs (McEdward, 1986).

### Survie et viabilité des larves

L'indice de survie-viabilité, utilisé comme mesure de la compétence larvaire, était corrélé avec à la fois la taille des œufs et leur nombre, établissant une distinction entre les larves issues des différentes femelles. Les effets de l'alimentation de la mère sur les œufs et les progénitures sont fréquents, même chez les animaux où les géniteurs ne prennent pas soin des progénitures, et concernent la performance et la survie (Bertram et Strathmann, 1998). La survie, définie comme la capacité d'achever le cycle larvaire par rapport au nombre de larves atteignant le stade final auricularia, était supérieure pour les femelles qui avaient produit des œufs plus nombreux et de taille supérieure. Par ailleurs, cet indice de viabilité était faiblement associé au nombre moyen de nodules présents dans les replis de la frange ciliée avant la métamorphose.

L'ajout d'un indice de survie-viabilité aux mesures de la réussite de reproduction (voir Levitan, 2005) est une façon de déterminer en quoi l'ascendance influe en aval (Marshall et al., 2004 ; Evans et Marshall, 2005) sur la future fraction d'ovocytes fécondés. On a pu établir une corrélation entre une modification de la taille des œufs et la viabilité larvaire chez les oursins *Strongylocentrotus droebachensis* et *S. purpuratus* (Sinervo et McEdward, 1988). Lorsqu'une diminution de la taille des œufs donnait des larves de taille inférieure et de morphologie plus simple, le développement subséquent était plus lent au stade du premier nourrissage, et les effets de la taille des œufs se limitaient aux premiers stades larvaires (Sinervo et McEdward, 1988).

### Développement des larves

Si, dans l'ensemble, aucune différence de développement n'a été observée entre les larves produites par les différentes femelles, le rythme de développement était variable. Toutefois, tout comme pour la croissance, le développement semble dissocié de toute influence de la femelle et n'était lié d'aucune façon aux attributs de la génitrice. Ainsi, les larves de la femelle F4 se développaient à un rythme proche de celui des larves de F2, alors que l'indice de survie-viabilité, le nombre d'œufs et la taille des œufs de F4 étaient significativement inférieurs. On ne retrouve pas systématiquement de relation directe entre le nombre et/ou la taille des œufs et le développement larvaire, comme le révèlent les études sur l'étoile de mer *Solaster stimpsoni* et d'autres études sur l'oursin *S. droebachensis* (McEdward et Carson, 1987 ; Bertram et Strathmann, 1998 ; Meidel et al., 1999). Lorsque les géniteurs de *Strongylocentrotus droebachensis* recevaient des rations alimentaires élevées, le taux de métamorphose larvaire était supérieur et la métamorphose était plus précoce (Meidel et al., 1999).

Une autre étude sur l'étoile de mer *Pisaster ochraceus* a montré que la forte corrélation existant entre le développement larvaire et l'origine maternelle ne pouvait être observée que durant la phase intermédiaire du cycle larvaire (George, 1999). Dans la présente étude, la vitesse de transition des larves produites par les différentes

femelles au stade final auricularia déterminait la proportion de larves achevant leur métamorphose et la précocité de cette métamorphose. Néanmoins, la corrélation entre l'apparition des nodules hyalins chez les larves et les attributs des génitrices était limitée. Par ailleurs, aucune différence n'a été observée au niveau du nombre de nodules hyalins présents chez les larves provenant des différentes femelles.

De précédentes études ont permis de déterminer que ces nodules hyalins ne sont pas indispensables à la métamorphose, puisqu'on a observé que des larves dépourvues de nodules étaient capables de se fixer et de survivre à toutes les étapes de développement (Smiley, 1986 ; McEuen et Chia, 1991 ; Dautov et Kashenko, 1995 ; Dautov, 1997 ; Sewell et McEuen, 2002). Cela dit, il se peut que les nodules hyalins aient pour fonction d'alimenter la métamorphose en agissant comme réservoir, ce qui permettrait de répondre aux besoins structurels associés aux changements morphogéniques se produisant au cours de la métamorphose et d'accroître les probabilités de survie après fixation des larves (voir Sewell et McEuen, 2002). En conséquence, il est possible qu'il y ait une synergie entre le rythme de transition entre les stades larvaires et le rapport entre le nombre moyen de nodules et l'indice de survie-viabilité, traduisant une contribution différente des génitrices au cycle de vie larvaire.

### Conclusion

En conclusion, il semble qu'il y ait un lien entre le développement précoce des embryons et le ratio longueur de la frange ciliée-longueur totale des larves issues des différentes femelles. En outre, il semble y avoir une corrélation entre l'indice de survie-viabilité larvaire et les caractéristiques de la génitrice, en l'occurrence le nombre et la taille des œufs libérés. Il semblerait néanmoins que la croissance et le développement ultérieur des larves soient dissociés de ces caractéristiques. Une corrélation limitée entre les caractéristiques de la génitrice et le phénotype a pu être établie pour les larves issues des différentes femelles. Ces caractéristiques devraient faire l'objet d'une étude plus approfondie pour déterminer la nature des relations causales.

### Remerciements

Je tiens à remercier Russ Babcock et Mary Sewell pour leur contribution à la conception de ces recherches, ainsi que Lisa Hack pour son aide sur le terrain, au laboratoire et à l'écloserie pendant la saison de ponte. J'aimerais également remercier le personnel du laboratoire de biologie marine Leigh de l'Université d'Auckland, qui a participé à la construction des équipements et à l'aménagement des installations, Sophie George pour ses conseils et ses commentaires sur la conception de l'expérience, et Richard et Megumi Strathmanns pour la conception de l'agitateur à pales maison.

### Bibliographie

Archer J.E. 1996. Aspects of the reproductive and larval biology and ecology, of the temperate holothurian *Stichopus mollis* [MSc thesis]. New Zealand: University of Auckland. 189 p.

- Asha P.S. et Muthiah P. 2002. Ponte et élevage de larves de l'holothurie *Holothuria (Theelothuria) spinifera* Theel. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 16:11–15.
- Battaglione S.C., Seymour E.J. and Ramofafia C. 1999. Survival and growth of cultured juvenile sea cucumbers *Holothuria scabra*. *Aquaculture* 178:293–322.
- Bertram D.F. and Strathmann R.R. 1998. Effects of maternal and larval nutrition on growth and form of planktotrophic larvae. *Ecology* 79(1):315–327.
- Chen C.-P., Hsu H.-W. and Deng D.-C. 1991. Comparison of larval development and growth of the sea cucumber *Actinopyga echinites*: ovary induced and DTT-induced ova. *Marine Biology* 109:453–457.
- Dautov S.S. and Kashenko S.D. 1995. Hyaline spheres in auricularia of *Stichopus japonicus*. *Invertebrate Reproduction and Development* 27(1):61–64.
- Dautov S.S. 1997. Structure and properties of hyaline spheres in holothuroid larvae. *Invertebrate Reproduction and Development* 32(2):155–161.
- George S.B., Cellario C. and Fenaux L. 1990. Population differences in egg quality of *Arbacia lixula* (Echinodermata: Echinoidea): proximate composition of eggs and larval development. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 141:107–118.
- George S.B. 1999. Egg quality, larval growth and phenotypic plasticity in a forcipulate seastar. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 237:203–224.
- Giraspy D.A.B. and Ivy G. 2005. Australia's first commercial sea cucumber culture and sea ranching project in Hervey Bay, Queensland, Australia. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin* 21:29–31.
- Giraspy D.A.B. and Ivy G. 2006. Dans le Queensland (Australie), élaboration de techniques de production en éclosion à grande échelle de *Holothuria scabra* var. *versicolor* (Conand, 1986), espèce très prisée sur les marchés. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 24:28–34.
- Ito S. 1995. Studies on the technological development of the mass production for sea cucumber juvenile, *Stichopus japonicus*. Japan: Saga Prefectural Sea Farming Centre. 87 p.
- James F.C. and McCulloch C.E. 1990. Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's Box. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21:129–166.
- James D.B., Gandhi A.D., Palaniswamy N. and Rodrigo J.X. 1994. Hatchery techniques and culture of the sea cucumber *Holothuria scabra*. CMFRI Special Publication. 57. India: Central Marine Fisheries Research Institute.
- James B.D. 2004. Captive breeding of the sea cucumber, *Holothuria scabra*, from India. p. 347–358. In Lovatelli A., Conand C., Purcell S. Uthicke S., Hamel J.-F., Mercier A. (eds). *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. FAO Fisheries Technical Paper 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Laximinarayana A. 2005. Induction de la ponte et élevage des larves des holothuries *Bohadschia marmorata* et *Holothuria atra* à l'île Maurice. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 22:48–52.
- Levitan D.R. 2005. The distribution of male and female reproductive success in a broadcast spawning marine invertebrate. *Integr. Comp. Biol.* 45:848–855.
- Liu X.Y., Zhu G.H., Zhao Q., Wang L. and Gu B.X. 2004. Studies on hatchery techniques of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. p. 287–295. In Lovatelli A., Conand C., Purcell S. Uthicke S., Hamel J.-F., Mercier A. (eds). *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. FAO Fisheries Technical Paper 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Marshall D.J., Steinberg P.D. and Evans J.P. 2004. The early sperm gets the good egg: mating order effects in free spawners. *Proceedings of the Royal Society of London* 271:1585–1589.
- Martinez P.C. and Richmond R.H. 1998. Effect of diet on growth and larval development of the sea cucumber *Holothuria nobilis* in Guam. In Mooi R. and Telford M. (eds). *Echinoderms*. Rotterdam: Balkema. 480 p.
- McEdward L.R. 1986. Comparative morphometrics of echinoderm larvae. I. Some relationships between egg size and initial larval form in echinoids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 96:251–265.
- McEdward L.R. and Carson S.F. 1987. Variation in egg organic content and its relationship with egg size in the starfish *Solaster stimpsoni*. *Marine Ecology Progress Series* 37:159–169.
- Meidel S.K., Scheibling R.E. and Metaxas A. 1999. Relative importance of parental and larval nutrition on larval development and metamorphosis of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachensis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 240:161–178.
- Mercier A., Battaglione S.C. and Hamel J.-F. 2000. Settlement preferences and early migration of the tropical sea cucumber *Holothuria scabra*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 249:89–110.
- Mercier A., Hidalgo R.Y. and Hamel J.F., 2004. Aquaculture of the Galapagos sea cucumber *Isostichopus fuscus*. p. 347–358. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S. Uthicke S., Hamel J.-F., Mercier A. (eds). *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. FAO Fisheries Technical Paper 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Morgan A.D. 2000. Induction of spawning in the sea cucumber *Holothuria scabra* (Echinodermata: Holothuroidea). *Journal of the World Aquaculture Society* 31(2):186–194.

- Morgan A.D. 2001. Les effets de la disponibilité en nourriture sur le début de la croissance, le développement et la survie de l'holothurie *Holothuria scabra* (Echinodermata: Holothuridea). La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 14:6–12.
- Morgan A.D. 2008a. Spawning of the temperate sea cucumber, *Australostichopus mollis* (Levin). Journal of the World Aquaculture Society. In press.
- Morgan A.D. 2008b. The assessment of egg and larval quality during hatchery production of the temperate sea cucumber *Australostichopus mollis*. Journal of the World Aquaculture Society.
- Morgan A.D. 2008c. The effect of food availability on phenotypic plasticity in larvae of the temperate sea cucumber *Australostichopus mollis*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 363(1-2):89–95.
- Pitt R., Dinh N. and Duy Q. 2004. Breeding and rearing of the sea cucumber *Holothuria scabra* in Viet Nam. p. 333–346. In Lovatelli A., Purcell C., Uthicke S., Hamel J.-F., Mercier A. (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO Fisheries Technical Paper 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ramofafia C., Gervis M.G. and Bell J. 1995. Reproduction et élevage de larves d'*Holothuria atra*. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 7:2–6.
- Sewell M.A. 1992. Reproduction of the temperate aspidochirote *Stichopus mollis* (Echinodermata: Holothuroidea). Ophelia 35(2):103–121.
- Sewell M.A. and McEuen F.S. 2002. Phylum Echinodermata: Holothuroidea. p. 513–530. In Young C.M. (ed). Atlas of Marine Invertebrate Larvae. San Diego (CA): Academic Press.
- Sinervo B. and McEdward L.R. 1988. Developmental consequences of an evolutionary change in egg size: An experimental test. Evolution 42(3):885–899.
- Smiley S. 1986. Metamorphosis of *Stichopus californicus* (Echinodermata: Holothuroidea) and its phylogenetic implications. Biology Bulletin 171:611–631.
- Sui S. 2004. The progress and prospects of studies on artificial propagation and culture of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Advances in sea cucumber aquaculture and management. Ed. Alessandro Lovatelli. FAO Fisheries Technical Paper 463:273–276.
- Wang R. and Chen Y. 2004. Breeding and culture of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, Liao. p. 277–286. In Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.-F., Mercier A. (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO Fisheries Technical Paper 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

## Déplacement de la zone naturelle de constriction de *Holothuria atra* (Aspidochirotida, Holothuriidae, Echinodermata)

Pradina Purwati<sup>1</sup>, Sigit A.P. Dwiono<sup>2</sup>, Lisa F. Indriana<sup>2</sup> et Varian Fahmi<sup>2</sup>

### Résumé

Lorsque la scission est induite c'est le point de constriction qui détermine la zone de division. En cas de scission naturelle des Aspidochirotes et des Dendrochirotes, on n'observe qu'un seul point de constriction. Le présent article montre, par diverses expériences, qu'il est possible de modifier le point de constriction naturel des holothuries. Ces expériences ont été réalisées en juillet 2007 : deux régions ont été stimulées sur vingt individus *Holothuria atra*. De nouveaux tentacules et un nouvel anus ont commencé à apparaître au cours de la septième semaine suivant la division chez les individus antérieurs (A) et postérieurs (P) respectivement. Les individus moyens, ne présentant ni bouche ni anus (groupe M), se régénéraient un peu plus lentement que les groupes A et P. Les onze individus moyens ont développé de nouveaux tentacules et un anus durant la neuvième semaine, leur nombre augmentant par la suite. À la fin de l'expérience (douzième semaine), le taux de survie s'élevait à 96,67 %. Lorsque la scission est induite, il est très peu probable que le point de constriction naturelle corresponde à une zone très précise de division ; par conséquent, dans ce genre d'expériences, on peut davantage constater la grande capacité de régénération des holothuries que le phénomène de reproduction asexuée induite.

### Introduction

La grande capacité de régénération des holothuries est illustrée par les phénomènes d'éviscération et de reproduction asexuée scissipare. Le phénomène d'éviscération consiste en une expulsion, par l'holothurie, de la plupart de ses organes internes, en raison d'un changement physiologique ou en réaction à divers facteurs externes. Après l'éviscération, l'holothurie met un certain temps à reconstituer de nouveaux organes internes et vit ensuite normalement. La régénération des organes internes se produit également lors de la reproduction asexuée.

Dans le milieu naturel, la reproduction asexuée par scission consiste en une division de l'individu en une partie postérieure et une partie antérieure. Le point de constriction tend à être propre à chaque population scissipare. Il se situe dans différentes régions, par exemple au niveau du tiers antérieur de la longueur chez *Holothuria leucospilota* (Purwati, 2004), à 44 % de la longueur totale, dans la partie antérieure, chez *H. atra* (Chao, Chen et al., 1993), ou au milieu du corps chez *H. parvula* et *H. surinamensis* (Crozier, 1917 ; Kille, 1942). Chaque région scindée se reconstitue en individu entier.

L'intérêt que suscite la stimulation de la scission, à savoir une induction de la division de l'holothurie, s'est accru ces vingt dernières années. La technique d'induction présente un intérêt particulier dans les zones surexploitées où la densité de population ne permet plus la fécondation naturelle. L'induction de la scission permet, quand elle est réussie, de doubler le nombre initial d'individus au moyen d'un procédé de faible technicité et de faible coût.

Cette méthode peut être employée par les communautés du littoral (Purwati et Dwiono, 2008).

La stimulation de la scission a prouvé son efficacité tant chez les holothuries scissipares que non scissipares. Parmi les scientifiques qui ont écrit sur ce sujet, on compte Reichenbach et al. (1996), Purwati et Dwiono (2007), Laxminarayana (2006) et Razek et al. (2007). Les expériences qu'ils ont réalisées consistent principalement à imiter la reproduction asexuée observée dans les habitats naturels des holothuries, à savoir en introduisant un plan unique de constriction. Les pourcentages de survie sont élevés chez les individus résultant de la scission, chaque animal développant de nouveaux tentacules et un nouvel anus en deux à trois mois. Lorsque la scission est induite chez des holothuries non scissipares, telles que *H. arenicola* et *Bohadschia marmorata*, le fort potentiel de régénération observé semble plus pertinent que la capacité de l'animal de se reproduire par voie asexuée.

Jusqu'à aujourd'hui, pour induire la scission, on n'envisageait qu'un seul point de constriction par individu, proche du point de scission naturelle. D'après les expériences réussies de scission induite chez des espèces non scissipares, nous avons déduit que la zone de scission naturelle des holothuries scissipares n'est peut-être pas la seule zone de division possible et qu'il est, par conséquent, envisageable de déplacer le point de constriction et même d'en stimuler plusieurs. On pourrait ainsi induire la division d'un individu en plusieurs endroits au cours d'une même expérience de stimulation, ce qui serait une véritable avancée sur le plan de la physiologie et de la reproduction de l'animal et contribuerait également aux efforts de multiplication des populations.

## Matériel et méthodes

Nous avons décrit, dans un précédent article, une expérience réussie de scission induite chez *H. atra*, où nous avons doublé deux groupes de 10 et 30 individus au cours de deux expériences distinctes avec des taux de survie respectifs de 85 % et 100 % (Purwati et Dwiono, 2005, 2007 ; Dwiono et al., sous presse).

Pour prouver que le plan naturel de scission peut être déplacé, nous avons, de juillet à septembre 2007, tenté d'induire une scission chez 20 individus *H. atra* en deux points : au tiers et aux deux tiers de la longueur de l'animal en partant de la région antérieure. Le poids de départ des individus entiers, avant stimulation, était de 35–143 grammes. Nous avons suivi des méthodes d'induction et de croissance similaires à celles décrites par Purwati et Dwiono (2005). Un tuyau en caoutchouc servant de chambre à air de vélo (disponible quasiment partout en Indonésie) a été utilisé pour étrangler fermement le corps des holothuries. Les trois parties ainsi obtenues (A : région antérieure avec bouche ; P : région postérieure avec anus ; et M : région moyenne sans bouche ni anus) étaient de la même longueur environ. Au cours de la stimulation, les holothuries ont été placées dans des seaux remplis d'eau de mer fraîchement collectée et ventilés lentement. Aucun aliment n'a été ajouté.

Une fois la division effectuée, les trois parties résultantes (A, P et M) ont été placées dans un seau, puis dans un filet suspendu à environ sept mètres de profondeur dans la colonne d'eau. La méthode de suspension a prouvé son efficacité (rapport non publié de Dwiono). L'aspect morphologique des zones de scission a été observé chaque semaine pour surveiller la nouvelle croissance

des tentacules et anus ainsi que le taux de survie. Nous avons observé l'état de régénération des individus M aux deux extrémités scindées. L'expérience a pris fin une fois qu'un nouvel anus et/ou de nouveaux tentacules sont apparus chez la plupart des individus. À ce stade, les individus doivent être nourris et d'autres techniques de grossissement doivent être adoptées.

L'intensité de la régénération (R) a été mesurée par la formule suivante (où X représente les individus A, M ou P) :

$$R(X) \text{ (exprimé en \%)} = (\text{nombre d'individus en cours de régénération} / \text{total d'individus}) \times 100 \%$$

## Résultats

Durant la première semaine suivant la scission, un individu du groupe M est mort. Chez les animaux qui ont survécu, les blessures ont guéri en trois semaines, au cours desquelles la zone de scission s'est refermée, formant principalement une surface concave. La phase de régénération, caractérisée par une surface convexe ou une protrusion de la zone de scission, a débuté au cours des semaines 3, 4 et 6 pour les individus des groupes A, P et M respectivement. La régénération était complète à la neuvième semaine chez les individus A et à la septième semaine pour les individus P.

Dans les groupes A et P, la nouvelle croissance d'anus ou de tentacules a commencé après 7 à 9 semaines, contre 8 à 11 semaines pour le groupe M (figure 1). La guérison de la blessure au point de constriction était plus longue chez les individus du groupe M, mais leur régénération était plus rapide.

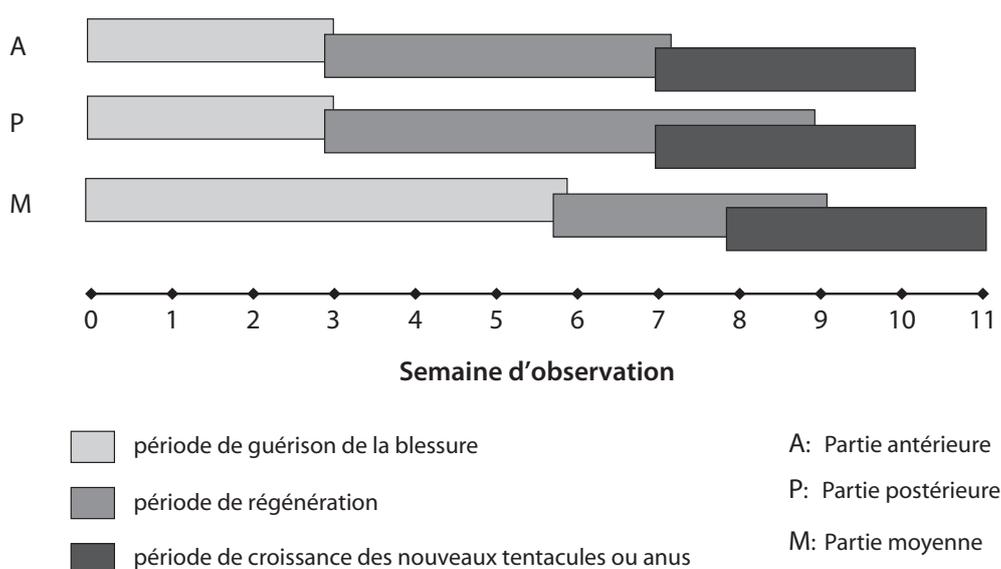


Figure 1. Régénération des individus A, P et M

**Tableau 1.** Temps nécessaire à l'apparition de nouveaux tentacules et de l'anus. Les chiffres indiqués sur le tableau correspondent au pourcentage d'individus.

Temps (en semaines)	7		8		9		10		11	
	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
Individus (%)										
Antérieur		10		15		30		40		85
Postérieur	5		35		65		95			
Moyen			10	5	45	15	50	30	85	55

T : nouveaux tentacules

A : nouvel anus

Il a fallu attendre la septième semaine pour voir apparaître un orifice anal chez les individus A, semaine où sont également apparus de nouveaux tentacules chez les individus P. Au cours de la huitième semaine, un individu du groupe M a reconstitué un anus, tandis que deux autres ont développé des tentacules. Parmi eux, un individu présentait à la fois de nouveaux tentacules et un nouvel orifice anal. Au cours de la neuvième semaine, dix individus supplémentaires du groupe M ont reconstitué leurs tentacules et anus, et six autres ont développé de nouveaux tentacules (tableau 1). Il semble que les tentacules soient apparus peu avant l'orifice anal. À la fin de l'expérience, après onze semaines, 29 individus sur 30, issus de 10 parents, avaient survécu. Le taux total de survie était de 96,67 %.

## Discussion

Si les échinodermes ne sont pas classés à la base de la phylogénie animale aux côtés des groupes chez qui la scission ou d'autres formes de reproduction asexuée (bourgeonnement, etc.) sont très fréquentes (Porifera, Cnidaria, etc.), ils partagent certains attributs de ces groupes de base, comme la capacité de se reproduire par voie asexuée (Carneveli, 2006). Par ailleurs, bien qu'il soit prouvé que la scission naturelle se produit en un point de constriction spécifique à chaque espèce scissipare, l'induction de la scission montre que ce point naturel n'a peut-être pas grande importance.

On ne peut dissocier la reconstitution des organes externes de l'appareil digestif de celle des tissus internes de l'organisme. Le mésentère est un tissu membranaire qui maintient en place les organes digestifs antérieurs (œsophage, estomac et partie antérieure de l'intestin grêle) et les relie aux interradius médiodorsaux. D'après Hyman (1955) et Bai (1994), le mésentère dorsal est à l'origine de la nouvelle croissance des organes digestifs manquants chez les individus scindés. Selon cette hypothèse, la reconstitution du tube digestif est possible tant que la scission induite et les méthodes de croissance n'endommagent pas les tissus mésentériques.

La nature a très certainement de bonnes raisons de conserver un seul point de constriction lors de la reproduction asexuée. Il faut garantir pendant tout le processus que chaque partie divisée reformera un individu normal, afin de satisfaire l'objectif de la reproduction, à

savoir le maintien et la mise en valeur de la population. La survie des individus obtenus par reproduction asexuée scissipare est supérieure à celle des individus issus de la reproduction sexuée, étant donné que le premier mode de reproduction ne comprend pas de stade larvaire critique, se fait sans la présence d'un partenaire et est moins exposé à la pression des prédateurs (Purwati, 2002 ; Purwati, 2004). Quand la scission naturelle donne plus de deux individus, les régions moyennes, qui ne présentent ni bouche ni anus, sont probablement plus faibles que les autres régions appelées à se régénérer, puisqu'elles ont besoin de plus d'énergie et de temps pour développer de nouveaux complexes antérieur et postérieur. Cette hypothèse étant posée, la réussite d'une scission induite devrait être mesurée par le taux de survie et le temps nécessaire à la reconstitution d'un individu complet. L'expérience présentée ici a donné de bons résultats et la reconstitution des régions moyennes ne différerait pas beaucoup de celle des régions antérieures et postérieures.

Les individus antérieurs et postérieurs se sont rétablis en sept semaines, à savoir des résultats proches de ceux obtenus dans les expériences de Purwati et Dwiono (2007), mais assez précoces comparés aux résultats obtenus par Dwiono et al. (2008) avec un point de constriction unique. Dwiono et al. (2008) ont mesuré le poids égoutté lors de leurs relevés hebdomadaires, ce qui peut avoir induit un stress chez les animaux et retardé le développement des organes manquants. Pour les besoins de l'expérience décrite dans cet article, les perturbations des individus ont été réduites au minimum.

À titre de comparaison, la période de régénération chez *H. parvula* (sauf nouvelle croissance des gonades) est, d'après la littérature, de trois semaines (Kille, 1942) et des articles portant sur d'autres expériences avec la même espèce font état d'une régénération plus rapide chez les individus postérieurs que chez les antérieurs. Ils commencent à s'alimenter après deux mois (Emson et Mladenov, 1987). Chez *Stichopus chloronotus* et *Thelenota ananas*, l'alimentation commence respectivement après 3 et 5 à 7 mois (Reichenbach et Holloway, 1995).

L'observation de la scission naturelle chez *H. atra* et *H. leucospilota* (Chao et al., 1993 ; Conand et al., 1997 ; Purwati, 2004) a montré que les individus postérieurs ont plus de chances de rester dans leur habitat que les individus antérieurs. Il est difficile de savoir si les

individus antérieurs sont emportés par le courant, s'ils sont victimes de prédation ou s'ils meurent. Lorsque la scission est induite, tant les individus antérieurs que postérieurs survivent en grand nombre, ce qui pourrait indiquer que la disparition des individus antérieurs de leur habitat naturel après division naturelle est due à des facteurs externes.

## Conclusion

Il n'est guère difficile d'obtenir deux ou trois individus avec des taux de survie de 90 % à 100 %. La scission induite en laboratoire protège les individus des prédateurs et des variations écologiques extrêmes. Dans le même temps, notre expérience montre que chaque partie scindée a à peu près les mêmes possibilités de se reconstituer en un individu complet. La possibilité d'obtenir quatre individus, voire plus, est probablement fonction de la somme d'énergie requise pour reconstituer les organes manquants, et cela vaut surtout pour les parties moyennes. La survie des individus dépend également de la capacité multipotente du mésentère. Cette expérience montre que (i) le point naturel de constriction n'a peut-être plus grande importance pour l'induction de la scission et qu'il peut être manipulé, (ii) ce genre de situations met à contribution la grande capacité de régénération des holothuries, plutôt que le phénomène de reproduction asexuée à proprement parler, même chez les espèces scissipares, et (iii) la technique d'induction de la scission peut potentiellement être appliquée à des espèces d'holothuries non scissipares pour accroître leurs effectifs.

## Remerciements

Ces recherches ont été soutenues par l'Institut indonésien des sciences (*Competitive Program*)/*Census of Marine Life*. Nous remercions le lecteur anonyme des corrections et suggestions qu'il a formulées sur ce texte.

## Bibliographie

- Bai M.M. 1994. Studies on generation in the holothurian *Holothuria* (*Metriatyla*) *scabra* Jaeger. Bulletin of the Central Marine Research Institute 46:44–50.
- Carneveli M.D.C. 2006. Regeneration in Echinoderms: repair, regrowth, cloning. Invertebrate Survival Journal 3:64–76.
- Chao S.-M., Chen C.-P. and Alexander P.S. 1993. Fission and its effect on population structure of *Holothuria atra* (Echinodermata: Holothuroidea) in Taiwan. Marine Biology 116:109–115.
- Conand C., Morel C. and Mussard R. 1997. Une nouvelle observation de reproduction asexuée chez les holothuries : scission dans des populations de *Holothuria leucospilota* à La Réunion, Océan Indien. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 9:5–11.
- Crozier W.J. 1917. Multiplication by fission in holothurians. The American Naturalist 51: 560–566.
- Dwiono S.A.P., Indriana L.F., Purwati P. and Fahmi V. in press. Perbanyakakan *Holothuria atra* (Echinodermata: Holothuroidea) melalui stimulasi pembelahan. OLDI.
- Emson R.H. and Mladenov P.V. 1987. Studies of the fissiparous holothuria *Holothuria parvula* (Selenka)(Echinodermata: Holothuroidea). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology III:195–211.
- Hyman L.H. 1955. Echinodermata, The Invertebrates. McGraw-Hill Book Co., New York. 121–244.
- Jangoux, M., Rasolofonirina R., Vaitilingon D., Ouin J.-M., Seghers G., Mara E. and Conand C. 2001. Un projet pilote d'écloserie et de mariculture d'holothuries à Tuléar, Madagascar. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 14:2–5.
- Kille F.R. 1942. Regeneration of the reproductive system following binary fission in the sea cucumber *Holothuria parvula* (Selenka). The Biological Bulletin 83:55–66.
- Laxminarayana A. 2006. Reproduction asexuée par scission transversale induite chez les espèces holothuries *Bohadschia marmorata* et *Holothuria atra*. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 23:35–37.
- Purwati P. 2002. Pemulihan populasi teripang melalui fission, mungkinkah ? Oseana XXVII(1):19–25.
- Purwati P. 2004. La scissiparité chez *Holothuria leucospilota* dans les eaux tropicales de Darwin (territoire du Nord de l'Australie). La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 20:26–33.
- Purwati P. and Dwiono S.A.P. 2005. Induction de la scission chez les holothuries indonésiennes. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 22:11–15.
- Purwati P. and Dwiono S.A.P. 2007. Fission inducement in *H. atra*: changing in morphology and body weight. Marine Research Indonesia 32(1):1–6.
- Purwati P. and Dwiono S.A.P. 2008. Reproduksi aseksual sebagai alternatif pemulihan populasi teripang. Indonesian Journal of Marine Science 13(1):37–42.
- Razek F.A.A., Rahman S.H.A., Mona M.H., El-Gamal M.M. and Moussa R.M. 2007. Observation de l'effet des conditions environnementales sur la scission induite de l'holothurie des sables méditerranéenne, *Holothuria arenicola* (Semper, 1868) en Égypte . La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 26:33–34.
- Reichenbach N., Holloway S. 1995. Potential for asexual propagation of several commercial important species of tropical sea cucumber (Echinodermata). Journal of the World Aquaculture Society (3):272–278.
- Reichenbach N., Nishar Y. and Saeed A. 1996. Species and size related trends in asexual propagation of tropical sea cucumber (Holothuroidea). Journal of the World Aquaculture Society 27(4):475–482.

## Problèmes liés à l'élevage aquacole d'*Holothuria scabra* (Jaeger, 1833)

Thierry Lavitra<sup>1,2\*</sup>, Richard Rasolofonirina<sup>1</sup>, Michel Jangoux<sup>1,2,3</sup> et Igor Eeckhaut<sup>2\*</sup>

### Résumé

Différents problèmes liés à l'élevage aquacole d'*Holothuria scabra* ont été observés dans le cadre du projet d'aquaculture Madagascar Holothurie S.A. (Toliara, Madagascar). Le présent article fait état de ces problèmes, caractérise leur incidence sur la production d'holothuries et propose des solutions visant à éviter ou réduire au minimum cette incidence. Une chute brutale de la salinité s'est produite à une certaine période de l'année, à marée basse et après le passage de cyclones. Cette réduction a entraîné des troubles du comportement chez *H. scabra* : les individus restaient enfouis dans les sédiments, même la nuit, alors qu'à cette période, ils évoluent normalement à la surface du sédiment. Ce comportement n'a toutefois eu aucun impact sur leur croissance. Dans tous les cas possibles, nous recommandons d'installer les sites d'élevage loin des zones où la salinité est susceptible de chuter.

Dans les bassins extérieurs, les holothuries étaient infestées par des isopodes *Cymodoce sp.* au cours de la saison chaude, ce qui a entraîné une forte mortalité dans les élevages de *H. scabra* (en moyenne 8 % par semaine). Le poisson carnivore *Terapon jarbua* a été introduit dans les bassins d'élevage dans le but de prévenir ce problème, solution qui s'est révélée efficace. Les poissons mangent les isopodes et peuvent les éliminer en l'espace de dix jours. Les infections provoquées par les isopodes ont complètement disparu dans les deux semaines.

On a observé, à certaines périodes de l'année, une abondance anormale de crabes *Thalamita crenata* dans les enclos. Il s'agit du prédateur le plus redoutable auquel les holothuries ont à faire face dans la région, puisqu'il peut exterminer un stock entier d'holothuries en l'espace d'un seul mois. Les crabes s'en prennent principalement aux juvéniles qui viennent d'être transférés. Les adultes dont le poids dépassait 250 grammes n'ont jamais été inquiétés. L'élimination des crabes vivant dans les milieux environnants doit avoir lieu avant le transfert des juvéniles, et il est nécessaire de surveiller au quotidien les enclos afin de limiter l'impact de la prédation sur la production.

### Introduction

La maîtrise des paramètres biotiques et abiotiques sur les sites d'élevage des holothuries est indispensable (Purcell, 2004 ; Wang et al., 2004). Les juvéniles de *H. scabra* sont, dans un premier temps, élevés dans des bassins extérieurs pendant deux mois, jusqu'à ce qu'ils atteignent 6–7 cm. Ils sont ensuite transférés dans des enclos aménagés dans des herbiers (Battaglione, 1999 ; Pitt et Duy, 2004). Il convient donc d'examiner plusieurs facteurs avant de sélectionner le site le plus adapté à la croissance des holothuries, notamment les paramètres physico-chimiques et la présence de prédateurs (Chen, 2004 ; Pitt et Duy, 2004). Au nombre de ces prédateurs, on compte les crabes, les crevettes, les gastropodes et les poissons de la famille des siganidés qui attaquent de préférence les jeunes holothuries qui viennent d'être transférées en enclos (Pitt et Duy, 2004).

Des contrôles récurrents doivent être mis en place pour identifier toutes les pathologies ou les parasites affectant les holothuries afin d'éviter d'introduire des organismes nuisibles au sein du stock sauvage (Eeckhaut et al., 2004 ; Purcell et Eeckhaut, 2005). On compte, parmi les parasites des holothuries, des bactéries, des protozoaires et plusieurs métazoaires (Jangoux, 1990 ; Eeckhaut et al., 2004).

Dans certains cas, les maladies qu'ils provoquent sont mortelles pour les juvéniles touchés (Becker et al., 2004). Cela dit, étant donné que l'holothuriculture est une filière assez nouvelle, on n'a encore que très peu d'informations sur ces agents pathogènes et les réponses à leur apporter (Battaglione, 1999 ; Xilin, 2004). À Madagascar, on a observé pour la première fois une maladie appelée ulcère cutané en septembre 2000 (Becker et al., 2004). L'infection, située au niveau du tégument de *H. scabra*, se propage très rapidement dans les bassins et peut provoquer la mort de l'animal en seulement trois jours après apparition des premiers symptômes. Cette pathologie est due à une infection par une bactérie opportuniste. Toutefois, l'agent causal de l'ulcère n'a pu être identifié (Becker et al., 2004). Le projet de recherche Aqua-Lab/Belaza, qui a donné naissance à la société commerciale Madagascar Holothurie S.A. à Toliara, était axé, entre 2004 et 2008, sur l'optimisation de la croissance de *H. scabra*. Au cours de cette période, plusieurs problèmes d'origine biotique et abiotique sont apparus et ont dû être résolus. Trois problèmes particuliers ont eu des retombées sur l'avancée du projet aquacole : (i) la baisse brutale de la salinité à marée basse à une certaine période de l'année et après le passage de cyclones, (ii) la présence d'isopodes en abondance anormale dans les bassins extérieurs pendant la saison chaude et (iii) la

<sup>1</sup> Institut Halieutique et des Sciences Marines (IH.SM), Université de Tuléar, 601-Tuléar, Madagascar.

<sup>2</sup> Service de Biologie marine, Université de Mons-Hainaut, 7000-Mons, Belgique.

<sup>3</sup> Service de Biologie marine, Université Libre de Bruxelles, 1050-Bruxelles, Belgique.

\* Correspondance :

Thierry Lavitra: IH.SM; Université de Tuléar; BP : 141; 601-Tuléar; Madagascar. Courriel: lavitra\_thierry@yahoo.fr

Igor Eeckhaut: Biologie marine; 6, Av. Champ de Mars; 7000 Mons; Belgique. Courriel: Igor.eeckhaut@umh.ac.be

surabondance de crabes dans les enclos à une période de l'année. Le présent article fait état de ces problèmes, caractérise leur incidence sur la production d'holothuries et propose des solutions qui doivent permettre d'éviter ou de réduire au minimum cette incidence.

## Matériel et méthodes

### Baisse de la salinité

La salinité a été relevée quotidiennement entre juillet 2006 et décembre 2007 dans les bassins (figure 1) et dans les enclos (figure 2). À chaque fois qu'une variation importante de la salinité a été observée, l'ensemble des variations du comportement, du cycle nyctéméral et de l'anatomie des spécimens d'élevage *H. scabra* ont été notées. Par deux fois (une fois en saison fraîche et une fois en saison chaude), la salinité a baissé à 20 ‰ (2 ‰). Les deux épisodes ont eu lieu à marée basse et étaient liés à une résurgence d'eau douce qui coulait dans les enclos. Pour analyser les effets de cette baisse de salinité sur l'anatomie des spécimens, quatre juvéniles (de 7 cm de long et de 15 g) ont été transférés pendant quatre semaines dans une cuve de 15 litres contenant une eau faiblement saline (20 ‰) et on les a comparés à quatre juvéniles évoluant dans un milieu à salinité normale (35 ‰). L'oxygénation de chaque cuve était assurée par un diffuseur rattaché à un compresseur. L'eau de mer a été changée tous les deux jours et les juvéniles ont reçu pour alimentation des *Sargassum* broyés chaque jour. On a photographié les juvéniles et caractérisé leurs symptômes. Par ailleurs, à deux reprises, des cyclones tropicaux ont entraîné une chute de la salinité dans le lagon à 10 ‰. Pour étudier les effets de cette baisse brutale de la salinité sur la survie de *H. scabra* en milieu d'élevage, des spécimens (8 cm de long et 41 g) ont été placés dans des cuves (cinq spécimens par cuve) à une salinité de 10 ‰ pendant 1, 2, 3, 6, 12, 18 et 24 heures (35 spécimens au total), après quoi la salinité a été ramenée à 35 ‰. Ces spécimens sont ensuite restés dans les mêmes cuves pendant quatre semaines afin d'évaluer les effets postérieurs de la baisse de salinité sur le comportement et la survie des animaux. Enfin, on a également étudié les effets de la baisse de salinité sur la croissance de *H. scabra*. Pour ce faire, deux bassins de 8 m<sup>2</sup> ont été utili-

sés. Chaque bassin a été subdivisé en 4 compartiments de 2 m<sup>2</sup> chacun et on y a placé 4 lots de 6 *H. scabra* d'un poids moyen de 4 g, 24 g, 68 g et 117 g respectivement (48 spécimens au total). L'eau de mer (maintenue à 20 ‰ dans un bassin et 35 ‰ dans l'autre) a été changée une fois par semaine. Les sédiments (couvrant une profondeur de 10 cm) n'ont pas été changés pendant l'expérience. L'expérience a duré cinq semaines, après quoi les spécimens ont à nouveau été pesés et leurs poids moyens respectifs calculés. L'analyse des données consistait à comparer le poids moyen des spécimens placés dans un milieu à 20 ‰ et celui de ceux maintenus dans un milieu à 35 ‰.

### Étude des parasites

En 2007, pendant la saison chaude, on a observé dans les bassins extérieurs une abondance anormale de crustacés, en l'occurrence d'isopodes, qui a entraîné l'apparition d'une maladie chez les juvéniles en milieu d'élevage. Pendant les six semaines qui ont suivi l'apparition de la maladie, des examens quotidiens ont eu lieu. Les stades de la maladie ont été caractérisés et les spécimens atteints à chacun de ces stades ont été comptés et pesés. Les isopodes incriminés ont été identifiés. Le nombre d'isopodes et d'holothuries malades a été compté. Au laboratoire, on a disséqué l'estomac de cinq isopodes afin de déterminer de quoi ils s'alimentaient et de vérifier, en particulier, si on retrouvait dans le contenu stomacal des spicules de *H. scabra*.

Le tégument des spécimens normaux et malades de *H. scabra* (à différents stades de l'infection) a été fixé de façon adéquate pour procéder à un examen histologique et à un examen au microscope électronique à balayage (MEB) (voir ci-dessous). Deux expériences ont été réalisées afin de trouver des solutions pour éradiquer cette maladie : (i) le transfert des juvéniles malades (n = 189) dans un nouveau bassin contenant des sédiments fraîchement prélevés et exempts d'isopodes, et (ii) l'introduction du poisson carnivore *Terapon jarbua* (Forskall, 1775) de la famille des Teraponidae (poids moyen : 44 g ; longueur moyenne : 12 cm ; n = 15) dans un bassin contenant des juvéniles malades (n = 114). Chaque expérience a duré trois semaines et l'évolution de la maladie a été notée quotidiennement.



Figure 1. Bassins extérieurs des juvéniles de *H. scabra* de 1 à 7 cm



Figure 2. Enclos installés dans un herbier pour le grossissement des spécimens *H. scabra* (de 7 cm à une taille commercialisable de 22 cm)

### Étude des prédateurs

On a observé, à certaines périodes de l'année, une abondance de crabes dans les enclos, accompagnée d'une surmortalité de *H. scabra*. Après identification du crabe, une expérience a été réalisée dans un bassin extérieur (avec trois bassins répétés). Elle consistait à mettre plusieurs lots de *H. scabra* en présence de crabes. Un bassin de 8 m de long et de 4 m de large a été subdivisé en quatre compartiments contenant respectivement : (i) 20 *H. scabra* d'un poids moyen de 17 g (7 cm) mises en présence de 5 crabes et sans apport de nourriture ; (ii) 10 *H. scabra* d'un poids moyen de 54 g (10 cm) en présence de 5 crabes et sans apport de nourriture ; (iii) 20 *H. scabra* d'un poids moyen de 17 g (7 cm) en présence de 5 crabes et avec apport de nourriture ; et (iv) 10 *H. scabra* d'un poids moyen de 54 g (10 cm) en présence de 5 crabes et avec apport de nourriture. Le bassin contenait, sur une profondeur de 10 cm, des sédiments prélevés dans un herbier. L'eau de mer a été changée deux fois par semaine. Les crabes pesaient en moyenne 51 g. Ils se nourrissaient de bernard-l'hermite découpés en petits morceaux (3 cm de long). Les rations alimentaires ont été distribuées une fois par jour, en fin d'après-midi. Le groupe témoin se composait de 20 *H. scabra* (17 g) et de 10 *H. scabra* (54 g) placées dans des bassins exempts de crabes. Les bassins ont été observés quotidiennement pendant 30 jours et les juvéniles morts ont été comptés à chaque observation.

### Histologie et microscope électronique à balayage

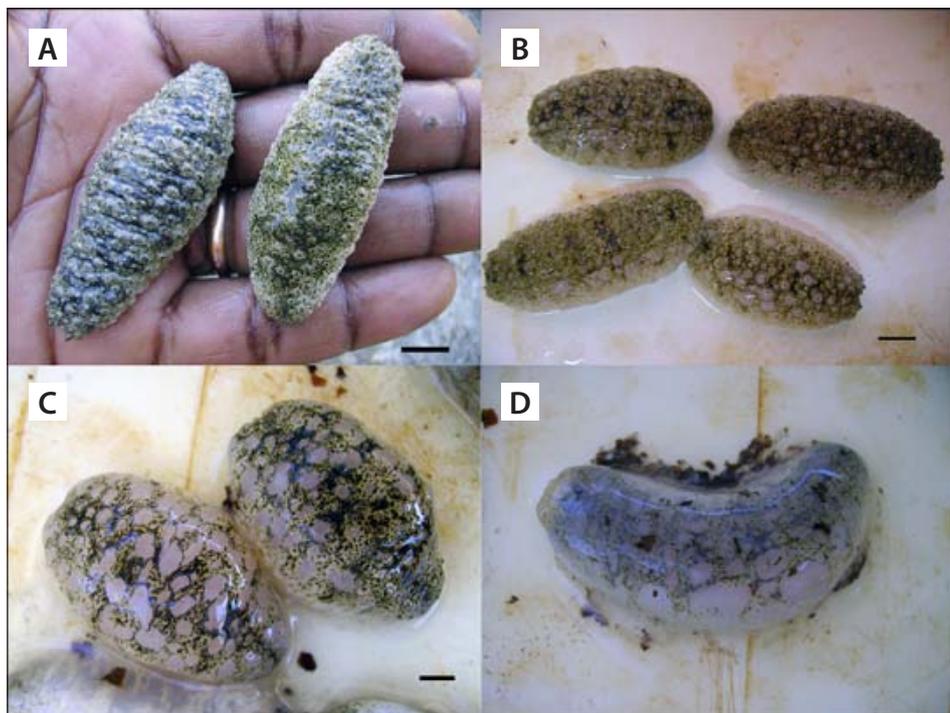
Pour les besoins de l'analyse histologique, les échantillons ont été fixés pendant 48 heures dans du liquide

de Bouin. Ensuite, les spécimens ont été déshydratés par trempage dans une série de bains d'éthanol de concentration croissante (70 %, 90 % et 100 %), puis placés dans du butanol (pendant une nuit à 60 °C), inclus dans le Paraplast, découpés en sections de 7 µm et colorés avec une solution de coloration azocarmin orangé G bleu d'aniline. Pour l'examen au MEB, les spécimens ont été fixés pendant 48 heures dans du liquide de Bouin (sans acide acétique). Ils ont ensuite été déshydratés dans une série de bains d'éthanol de concentration croissante (50 %, 70 %, 90 % et 100 %), séchés au point critique, déposés sur des porte-objets, métallisés à l'or et examinés au microscope électronique Jeol JSM-6100.

### Résultats

#### Chute de la salinité

La salinité de l'eau de mer relevée à proximité des enclos variait au cours de l'année, mais également pendant la journée. Les extrêmes relevés au cours d'une année étaient de 17 ‰ et de 35 ‰. Les individus soumis à une faible salinité, égale ou inférieure à 20 ‰, changeaient de comportement : ils restaient enfouis dans le sédiment la nuit, moment auquel ils devraient évoluer en surface. Leur corps gonflait (figures 3 A et B). Une fois replacés dans des conditions de salinité normale (35 ‰), les spécimens malades sont revenus à leur état normal en 96 heures. Après 9 jours passés dans un milieu à 20 ‰ de salinité sans avoir la possibilité de s'enfouir dans le sédiment, les spécimens normaux (figure 3 A) se sont affaiblis, ont raccourci et leur tégument s'est ramolli (stade 1, figure 3 B). Après 17 jours, l'épiderme était détruit à dif-



**Figure 3.** Juvéniles de *H. scabra* qui ont été placés dans une cuve à faible salinité (20 ‰). A. Juvéniles au début de l'expérience (état normal) ; B. Juvéniles stressés, le tégument s'est ramolli (stade 1) ; C. Tégument détruit à différents endroits de la paroi corporelle (stade 2) ; D. Tégument entièrement détruit (stade 3). Échelle : barre = 1 cm.

**Tableau 1.** Variation du poids moyen de *H. scabra* (n = 48 au total) après cinq semaines d'élevage dans des bassins extérieurs à des salinités de 20 ‰ et 35 ‰. La densité d'élevage était de 3 individus par m<sup>2</sup>. L'analyse statistique compare les tailles moyennes finales des spécimens évoluant dans des milieux à 20 ‰ et 35 ‰ de salinité.

Taille initiale	Taille finale (cinq semaines)		Analyse statistique
	Témoin (salinité à 35 ‰)	Expérience (salinité à 20 ‰)	
3,80 ± 1,49	28,04 ± 6,26	21,13 ± 8,67	PT test = 0,172
23,84 ± 10,39	60,64 ± 17,03	70,70 ± 16,11	PT test = 0,318
67,79 ± 5,06	128,53 ± 12,54	114,04 ± 22,64	PU test = 0,259
116,85 ± 28,39	180,82 ± 50,22	188,36 ± 50,46	PT test = 0,801

férents endroits du corps (stade 2, figure 3 C). Les juvéniles ont subi une auto-éviscération et leur tégument était fortement affecté après 22 jours (stade 3, figure 3 D). Ils sont devenus translucides et sont morts dans les jours qui suivaient.

Le tableau 1 montre les résultats de l'expérience où des individus de tailles différentes de *H. scabra* ont été placés sur des sédiments dans des conditions faiblement salines (20 ‰) pendant cinq semaines. Durant l'expérience, aucun symptôme anatomique anormal n'a été signalé. Les individus restaient enfouis dans le sédiment, même la nuit, sans que cela n'affecte leur croissance (tableau 1). Quand les spécimens *H. scabra* ont été placés dans des bassins à très faible salinité (10 ‰ ; équivalant aux conditions post-cycloniques), ils se rétablissaient du stress subi si l'exposition était inférieure à 12 heures, après quoi ils s'éviscéraient (18 heures) ou mouraient (24 heures) (tableau 2).

**Tableau 2.** Comportement de *H. scabra* (n = 35 au total) à faible salinité (10 ‰). Poids et longueur moyens des spécimens : 41 g, 8 cm.

Temps passé dans une eau faiblement saline 10 ‰ (exprimé en heures)	État des spécimens
1	100 % vivants, normaux
2	"
3	"
6	"
12	"
18	60 % éviscérés, 40 % morts
24	100 % morts

### Étude des parasites

**Épidémiologie.** Les premiers signes de maladie chez les juvéniles de *H. scabra* (7 cm, 15 g en moyenne) ont été observés en janvier 2007 dans deux bassins extérieurs.

Le premier bassin contenait 500 juvéniles, dont 10 % étaient infectés. Le second contenait 480 juvéniles, dont 8 % étaient morts, 50 % étaient fortement infestés et seuls 42 % étaient sains. Les premiers symptômes de la maladie se manifestaient systématiquement à proximité de l'orifice cloacal où le tégument prenait une coloration blanchâtre sur une zone de quelques centimètres. Cette coloration se manifestait ensuite à proximité de l'orifice buccal avant de couvrir l'ensemble de la surface dorsale de la paroi corporelle des juvéniles. Une fois la surface entièrement couverte, les juvéniles

s'affaiblissaient, arrêtaient de s'enfouir dans le sédiment et mouraient. Nous avons remarqué que l'infection commençait toujours sur la face dorsale des juvéniles, jamais sur la face ventrale (figure 4). Les mêmes symptômes sont à nouveau apparus en février 2007, cette fois dans trois bassins extérieurs : un bassin de pré-grossissement et deux bassins de grossissement où sont placés les individus plus grands (> 6 cm de long). Ces deux bassins contenaient des jeunes holothuries de 66 g (n = 82, dont 91 % étaient encore saines) et de 108 g (n = 114, toutes malades) respectivement. Nous faisons remarquer que cette maladie n'a encore jamais été observée dans les enclos d'élevage aménagés dans des herbiers pour la culture de *H. scabra*.

La figure 5 (A, B, C) résume l'évolution de la maladie dans les bassins affectés. En moyenne, on a enregistré une mortalité de 1 % à 8 % par semaine pendant les quatre semaines de l'étude (figure 5 A). En revanche, aucune mortalité n'a été observée chez les spécimens de



**Figure 4.** Juvéniles malades de *H. scabra* (ulcération de la face dorsale). Les flèches indiquent la zone infectée. Échelle : barre = 1 cm.

plus grande taille (figures 5 B et C). En général, indépendamment de leur taille, tous les spécimens étaient complètement infectés et atteignaient le stade 3 en trois à six semaines (figures 5 A–C).

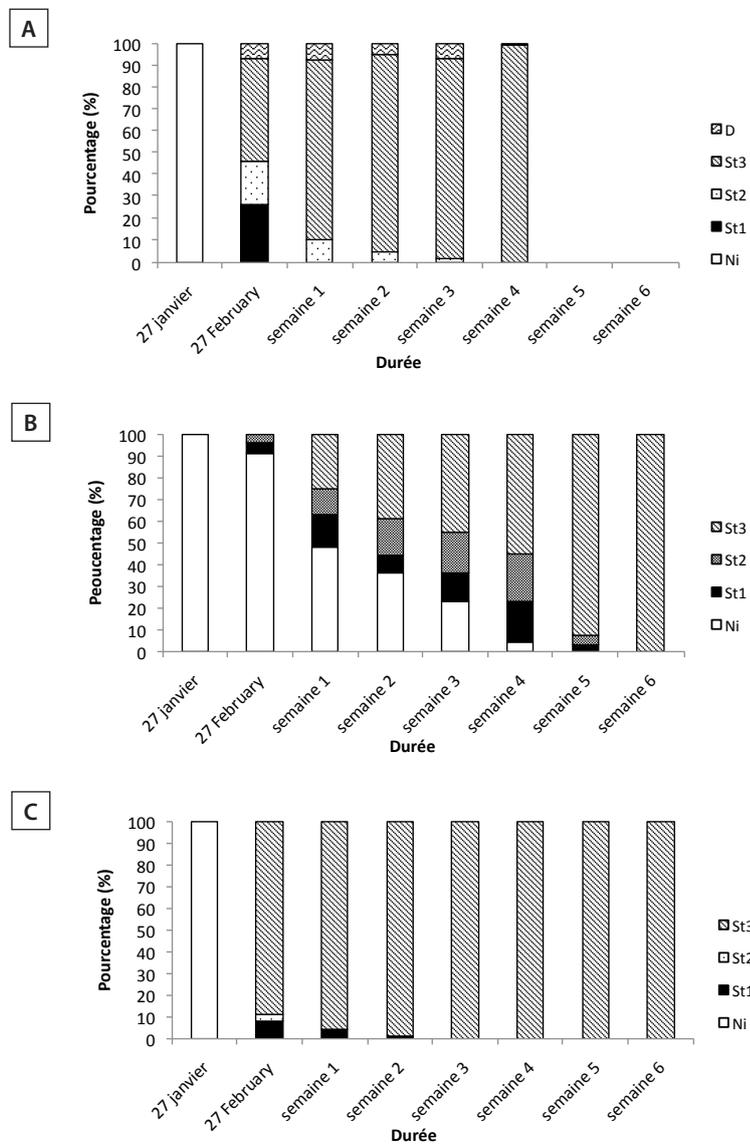
Observé au MEB, le tégument endommagé présentait une structure désordonnée (figures 6 B et C), par rapport aux régions saines (figure 6 A). Les spicules étaient visibles à certains endroits (figure 6 D). Aux endroits fortement infestés, le tégument était complètement détruit et les spicules à découvert (figures 6 E et F). L'observation des lésions n'a pas révélé de fortes concentrations de bactéries (figures 6 C et F).

L'examen histologique a montré que le tégument des juvéniles sains de *H. scabra* mesurait 1 mm d'épaisseur

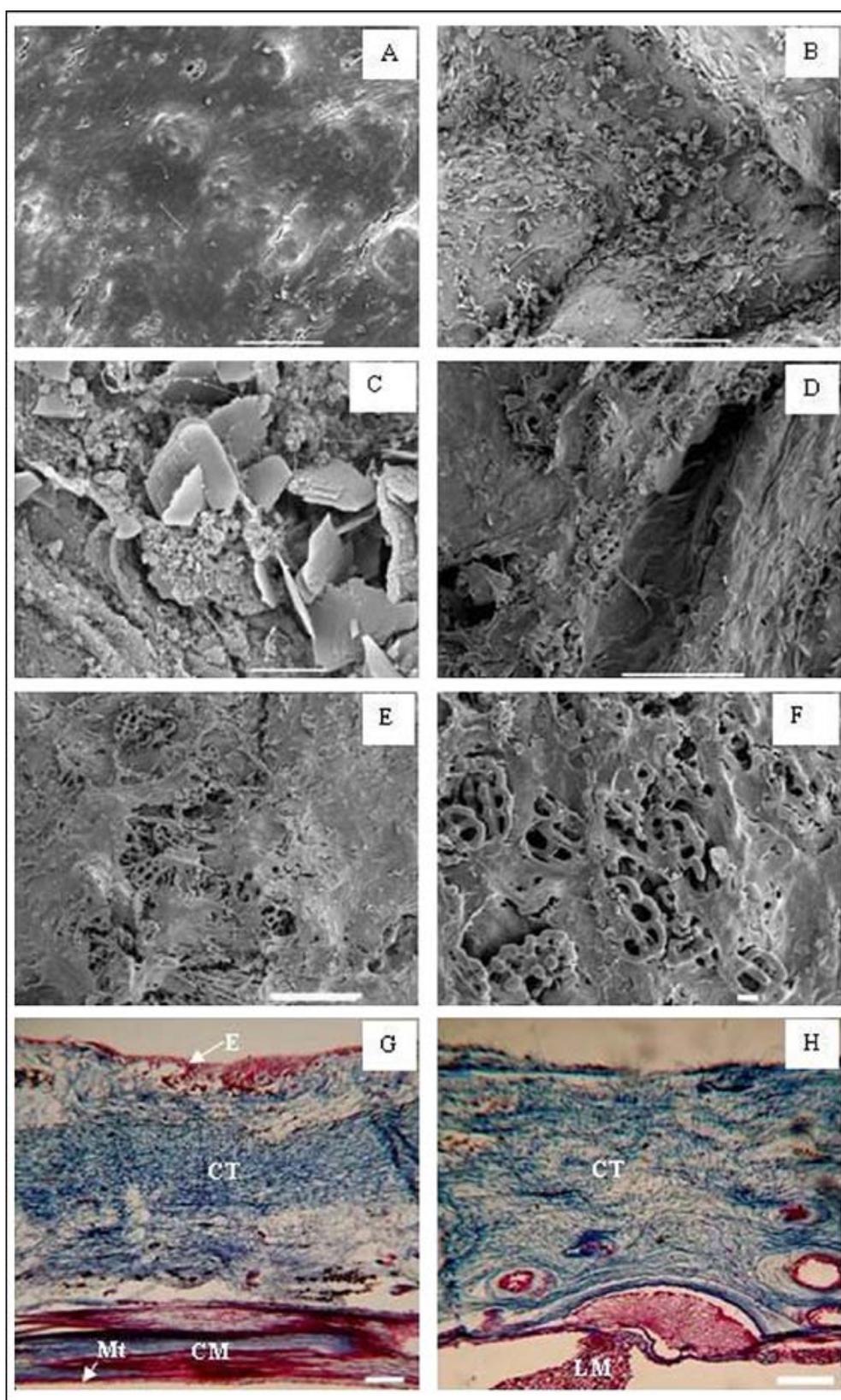
et présentait un épiderme et un cuticule (0,24 mm), une couche de tissu conjonctif (0,5 mm), une couche musculaire circulaire (0,24 mm) et un épithélium coelomique (0,02 mm) (figure 6 G). Dans la zone infectée, le cuticule et la peau étaient entièrement détruits, tout comme la partie supérieure des tissus conjonctifs ; seul l'épithélium coelomique était intact (figure 6 H).

**Étiologie**

Les observations sur le terrain et les expériences en laboratoire ont montré que les isopodes *Cymodoce sp.* de la famille des Sphaeromatidae (Ordre : Flabellifera) (figure 7) étaient responsables de la maladie. Ils ont été observés en abondance sur les individus *H. scabra* malades (15 à 30 isopodes par juvénile, voir figure 8),



**Figure 5.** Évolution de la maladie dans les bassins extérieurs infestés par les isopodes *Cymodoce sp.* Le pourcentage exprime le nombre de spécimens aux différents stades de la maladie par rapport à l'effectif total du stock. A : poids moyen de 15 g (n = 189) ; B : poids moyen de 66 g (n = 82) ; C : poids moyen de 108 g (n = 114). Ni : spécimen non infesté ; St1 : orifice cloacal infesté ; St2 : orifices cloacal et buccal infestés ; St3 : tégument entier infesté ; D : spécimen mort.



**Figure 6.** Téguments de *H. scabra* (A–F : observation au MEB ; G–H : coupe transversale).  
 A et G : téguments sains ; B–F et H : téguments infectés. B : structure désordonnée ; C : structure désordonnée (observée à 2000 x) ; D : spicules visibles ; E : spicules complètement découverts.  
 F : E observé à 500 x ; H : cuticule et épiderme complètement détruits. E : épiderme ; CM : muscle circulaire ; LM : muscle longitudinal ; Mt : mésothélium ; CT : couche de tissu conjonctif.  
 Échelles : barres = 100 µm pour A, B, D, E, G et H, et 10 µm pour C et F.

dans le substrat et dans la colonne d'eau. En dehors de la période où les individus sont tombés malades, nous n'avons trouvé que 10 isopodes par m<sup>2</sup> dans les bassins extérieurs. En revanche, pendant la période où sévissait la maladie, nous avons recensé 520 isopodes par m<sup>2</sup> en moyenne. La densité d'isopodes n'était pas homogène dans les bassins : en effet, on les retrouvait en concentrations supérieures à proximité des bords des bassins, près de la paroi en béton. Les estomacs d'isopodes disséqués ont révélé la présence de quantités abondantes de spicules d'holothuries.

Les symptômes que présentaient les juvéniles malades (n = 189) placés dans des bassins exempts d'isopodes disparaissaient dans les quelques jours suivant leur transfert. En l'espace de deux jours seulement, la lésion du tégument s'était refermée et les juvéniles étaient redevenus très actifs et avaient repris leur cycle circadien d'enfouissement. Après une semaine, 95 % des juvéniles étaient guéris ; après deux semaines, les juvéniles étaient complètement rétablis (figure 9 A).

L'introduction de *T. jarbua* a également donné de très bons résultats en termes de guérison de l'infection. Les poissons consommaient et éliminaient les isopodes en moins de dix jours. Après deux semaines, l'infection avait complètement disparu (figure 9 B), de même que les isopodes.

### Étude des prédateurs

En 2007, on a constaté une mortalité anormale des juvéniles de *H. scabra* qui venaient d'être transférés dans les enclos (aménagés dans l'herbier), alors que la population adulte n'était aucunement affectée (poids moyen des adultes > 250 g). Un mois après le transfert, 70 % des 400 juvéniles transférés en mars 2007 avaient disparu ; en moins d'un mois, ils avaient tous disparu. En août 2007, 800 juvéniles ont disparu en l'espace d'un mois après leur transfert, suivis par 500 juvéniles supplémentaires à la fin de même mois. Seuls quelques juvéniles ont été retrouvés morts dans les enclos pendant la période d'observation. Plusieurs observations diurnes et nocturnes ont permis d'identifier les causes de ces disparitions anormales. Une abondance de crabes *Thalamita crenata* (Rüppell, 1830) (figure 10) de la famille des Portunidae a été observée à proximité et à l'intérieur des enclos. Après plusieurs observations, nous avons découvert que ces crabes mangeaient souvent les juvéniles nouvellement transférés de *H. scabra*. Les expériences menées dans les bassins extérieurs ont montré que les crabes ne mangeaient pas *H. scabra* quand les individus étaient alimentés quotidiennement. Par contre, cinq crabes suffisaient à tuer et manger 20 juvéniles d'un poids moyen de 17 g en seulement cinq jours et 10 juvéniles d'un poids moyen de 54 g en seulement dix jours, lorsqu'on les plaçait dans des bassins extérieurs sans apport de nourriture (tableau 3).

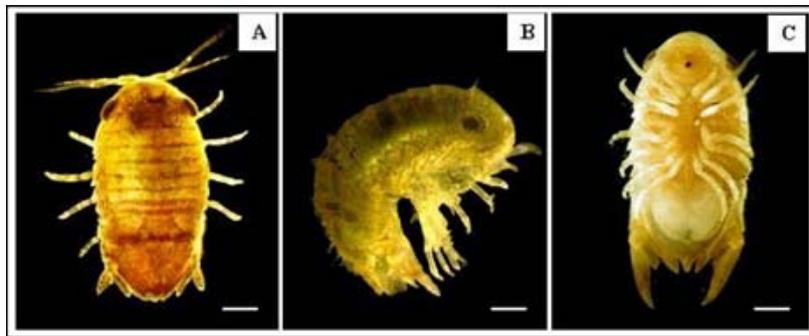


Figure 7. *Cymodoce* sp. A : vue supérieure ; B : vue de profil ; et C : vue inférieure. Échelle : barre = 1 mm.

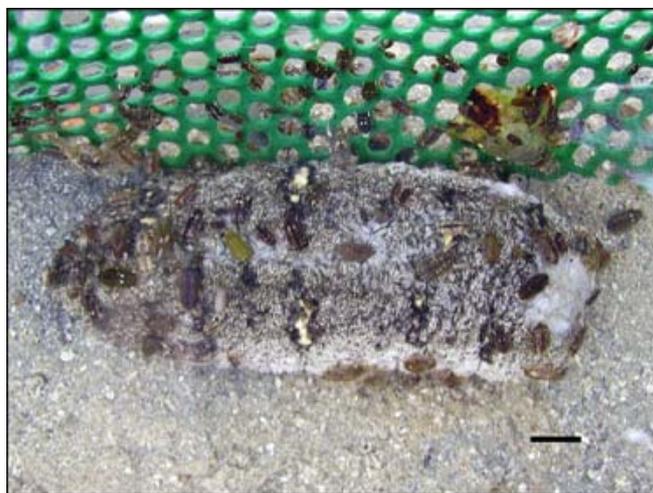
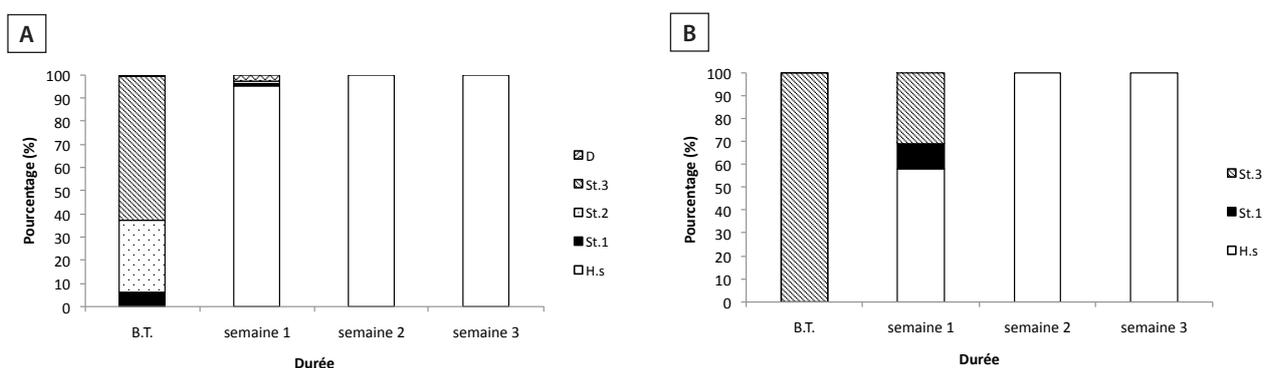


Figure 8. Jeune *H. scabra* couverte d'isopodes. Échelle : barre = 1 cm.



**Figure 9.** Évolution de la maladie dans les bassins d'élevage après traitement. Les chiffres expriment le pourcentage de spécimens aux différents stades de la maladie par rapport à l'effectif total du stock. H.s : spécimen sain (ou guéri) ; St.1 : infestation à proximité de l'orifice cloacal ; St.2 : infestation de l'orifice cloacal et buccal ; St.3 : infestation de la totalité du tégument ; D : spécimen mort ; B.T : début du traitement. A : Prélèvement de nouveaux sédiments dans la zone d'herbier. Taille moyenne de *H. scabra* : 15 g (n = 189). B : Introduction de poissons carnivores *T. jarbua*. Taille moyenne de *H. scabra* : 108 g (n = 114).



**Figure 10.** Vue supérieure du crabe *Thalamita crenata* (Rüppell, 1830). Échelle : barre = 1 cm.

**Tableau 3.** Mortalité moyenne (exprimée en pourcentage) de *H. scabra* dans les bassins extérieurs de grossissement en présence de crabes *T. crenata*. Témoin : *H. scabra* d'élevage sans crabes. Lot A : 20 juvéniles (poids moyen : 17 g ; longueur moyenne : 7 cm) + 5 crabes, sans apport de nourriture. Lot B : 10 adultes (poids moyen : 54 g ; longueur moyenne : 10 cm) + 5 crabes, sans apport de nourriture.

	Début	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J30
Témoin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lot A	0	15	37,5	47,5	55	100	-	-	-	-	-	-
Lot B	0	0	0	0	5	5	5	55	65	80	100	-

**Tableau 4.** Pathologies des holothuries d'élevage recensées entre 2000 et 2007. Les barres obliques indiquent que l'agent étiologique n'a pas été identifié.

Pathologie	Symptômes	Stades infestés	Agent étiologique	Pays	Référence bibliographique
I	Obscurcissement des extrémités du corps ; les spécimens malades subissent une autolyse et le corps se désintègre complètement en l'espace de deux jours.	Auricularia	Bactérie	Chine	Wang et al. 2004
II	Les parois de l'estomac et/ou de l'intestin des larves sont atrophiques.	Auricularia	Bactérie	Chine	Wang et al. 2004
			/	Chine	Liu et al. 2004
			Protozoaire	Équateur	Mercier et al. 2004
III	Présence de bulles de gaz dans l'organisme des larves, qui entraîne une anorexie.	Auricularia	/	Chine	Wang et al. 2004
IV	Les spécimens malades présentent un œdème à proximité du péristome. Les tentacules des juvéniles ne peuvent plus se rétracter ; ils perdent la capacité de se fixer au substrat disponible. Les juvéniles peuvent s'éviscérer. Le tégument se couvre de mucus, l'épiderme disparaît et le corps complet peut se dissoudre par autolyse.	Juvéniles	Bactérie	Chine	Wang et al. 2004
			Virus	Chine	Wang et al. 2007
V	La lésion apparaît à proximité de l'orifice du cloaque et s'étend sur toute la surface du corps.  Le tégument prend une couleur blanchâtre et les spicules peuvent devenir apparents. Les spécimens fortement infestés s'affaiblissent et meurent dans les jours qui suivent.  La maladie est très contagieuse et se propage rapidement dans les populations d'élevage.	Juveniles	Copépodes	Chine	Wang et al. 2004
		Juveniles	Bactérie	Madagascar	Becker et al. 2004; Eeckhaut et al. 2004
		Juveniles	/	Îles Salomon	Hamel et al. 2001
		Juveniles	/	/	Purcell et Eeckhaut 2005
		Juveniles et adultes	Bactérie	Chine	Wang et al. 2004
		Géniteurs	Bactérie	Australie	Morgan 2000
	Juveniles et adultes	Isopodes	Madagascar	Travail en cours	
VI	Les individus infestés sont faibles et anorexiques. Le corps se rigidifie et se couvre d'un excédent de mucus. À mesure que l'infection progresse, la totalité des viscères est expulsée et le spécimen infecté finit par mourir.	Juveniles et adultes	Plathelminthe	Chine	Wang et al. 2004
VII	Les papilles des spécimens malades blanchissent. Le tégument semble prendre une couleur blanche bleutée à mesure que l'infection progresse. Le tégument s'amincit et les individus affectés développent des œdèmes.	Juveniles et adultes	Champignons	Chine	Wang et al. 2004
VIII	Les protozoaires résident dans le tube digestif et dans les arbres respiratoires des holothuroïdes et peuvent provoquer des lésions internes. Les animaux infectés tendent à être faibles et léthargiques. En général, le corps ne présente aucune lésion visible. Toutefois, les intestins, l'arbre respiratoire, etc. peuvent être éviscérés en cas d'infection grave.	Juvéniles et adultes	Protozoaire	Chine	Wang et al. 2004
			Protozoaire	/	Eeckhaut et al. 2004

## Discussion

Il se peut que l'essor rapide de l'holothuriculture favorise l'apparition de plusieurs maladies qui pourraient compromettre la production d'holothuries à grande échelle (Wang et al., 2004 ; Purcell et Eeckhaut, 2005). Ces maladies peuvent toucher les larves, les juvéniles, les adultes et même les géniteurs (tableau 4) et sont provoquées par divers agents pathogènes, dont les bactéries (Morgan, 2000 ; Becker et al., 2004 ; Eeckhaut et al., 2004 ; Wang et al., 2004), les champignons (Wang et al., 2004), les protozoaires (Eeckhaut et al., 2004 ; Mercier et al., 2004), les copépodes (Wang et al., 2004), les plathelminthes (Eeckhaut et al., 2004 ; Wang et al., 2004), les gastropodes (Jangoux, 1990), les crabes (Jangoux, 1990 ; Mohan et James, 2005), les isopodes et les virus (Wang et al., 2007). Les agents pathogènes et les moyens de lutte contre ces agents restent encore largement méconnus (Xilin, 2004). Pour les maladies qui touchent les holothuries, l'ulcère cutané est le symptôme le plus répandu (tableau 4). Ces ulcères peuvent apparaître sous l'action de divers agents pathogènes et toucher plusieurs espèces d'holothuries, dont *A. japonicus* en Chine, *Isoetichopus fuscus* en Équateur, et *H. scabra* en Australie, en Nouvelle-Calédonie et à Madagascar (Becker et al., 2004). Les ulcères cutanés s'accompagnent souvent de sécrétions de mucus visibles sur le corps, d'une décoloration de la peau et de modifications du comportement (Purcell et Eeckhaut, 2005). Les autres pathologies qui n'entraînent pas d'ulcère cutané ne provoquent généralement pas de mortalité importante. On a observé un amincissement, un affaiblissement et un état léthargique chez les individus malades. Certains s'éviscèrent en cas d'infection grave, mais le tégument ne présente aucune lésion suspecte (Wang et al., 2004).

En plus des parasites pathogènes, les holothuries sont aussi victimes des prédateurs en milieux d'élevage (Hamel et al., 2001). À l'écloserie, les copépodes et les ciliés constituent les plus redoutables prédateurs des larves au stade auricularia (James et al., 1994). Ils peuvent également s'attaquer aux juvéniles qui viennent d'achever leur métamorphose (Tanaka, 2000 ; Wang et al., 2004). Les tectibranches (gastropodes) et certaines espèces d'amphipodes s'alimentent de larves au stade pentactula et de juvéniles d'holothuries juste après leur métamorphose (Mercier et al., 2000). Dans le milieu naturel, les juvéniles qui viennent d'être relâchés sont la proie (i) de différentes espèces de poisson (Hamel et al., 2001 ; Pitt et Duy 2004), (ii) de crabes (Pitt et Duy, 2004), (iii) de crevettes (Pitt et Duy, 2004) et (iv) d'étoiles de mer (Hatanaka et al., 1994). Cette prédation peut entraîner la disparition du stock entier en très peu de temps (Mercier et al., 2000 ; Tanaka, 2000).

Lorsque l'on utilise des enclos aménagés dans le milieu naturel, les prédateurs représentent l'un des principaux risques dont il faut tenir compte pour l'élevage aquacole des holothuries. Une observation méticuleuse des sites est indispensable pour éviter que les prédateurs n'infestent les sites. La présente étude a révélé que le crabe *T. crenata* est le plus redoutable prédateur dans la région de Toliara. Au-delà de la maîtrise des paramètres biotiques, le choix de sites adéquats pour l'aménagement des enclos marins constitue l'un des principaux paramètres de réussite d'un élevage holothuricole. Les sites doivent être amé-

nagés dans des zones d'herbier, protégées des vents et des vagues, où les holothuries ne restent pas découvertes trop longtemps à marée basse. Les substrats sablonneux vaseux, riches en matière organique, représentent aussi un habitat favorable. Même *H. scabra* pourrait résister à une faible salinité à 20 ‰ (Mercier et al., 1999a, 1999b ; Pitt et Duy, 2004). Il est préférable d'aménager le site aquacole loin des estuaires et des arrivées d'eau douce. La salinité qui convient le mieux aux holothuries se situe entre 28 ‰ et 31 ‰ (Chen, 2004 ; Xilin, 2004).

## Remerciements

Ce travail n'aurait pu se faire sans le concours financier de la Commission Universitaire pour le Développement de la Communauté française de Belgique, dans le cadre du projet d'holothuriculture tropicale à Madagascar. Nous adressons tous nos remerciements à Jean-Marc Ouin, Pascal Manohitsara, Joelson Ralainirina, Nicolas Fohy, Gaëtan Tsiresy, Brunel Taxi et Franco pour leur aide et leur contribution.

## Bibliographie

- Battaglione S.C. 1999. Progress in the production of tropical sea cucumbers *Holothuria scabra* and *Holothuria fuscogilva* for stock enhancement. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 12:32.
- Becker P., Gillan D., Lanterbecq D., Jangoux M., Rasolofonirina R., Rakotovo J. and Eeckhaut I. 2004. The skin ulceration disease in cultivated juveniles of *Holothuria scabra* (Holothuroidea, Echinodermata). *Aquaculture* 242:13–30.
- Chen J. 2004. Present status and prospects of sea cucumber industry in China. p. 25–38. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds). *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Eeckhaut I., Parmentier E., Becker P., Da Silva S.G. and Jangoux M. 2004. Parasites and biotic diseases in field and cultivated sea cucumbers. p. 311–325. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds). *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hamel J. F., Conand C., Pawson D. L., Mercier A. 2001. The sea cucumber *Holothuria scabra* (Holothuroidea: Echinodermata): Its biology and exploitation as Bêche-de-Mer. *Advances in Marine Biology* 41:129–223.
- Hatanaka H., Uwaoku H., Yasuda T. 1994. Experimental studies on the predation of juvenile sea cucumber, *Stichopus japonicus* by sea star, *Asterina pectinifera*. *Suisanzoshoku* 42:563–566.
- James D.B., Rajapandian M.E., Gopinathan C.P. and Bascar B.K. 1994. Breakthrough in induced breeding and rearing of the larvae and juveniles of *Holothuria*

- (*Metriatyta*) *scabra* Jaeger at Tuticorin. p. 66–70. In: Rangarajan, K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Central Marine Fisheries Research Institute, Cochin, India. 46.
- Jangoux M. 1990. Diseases of Echinodermata. p. 439–567. In: Kine, O. (ed). Disease of marine animals. Vol. 3. Hamburg, Germany: Biologische Anstalt Helgoland.
- Mercier A., Battaglione S.C. and Hamel J.F. 1999a. Daily burrowing cycle and feeding activity of juvenile sea cucumbers *Holothuria scabra* in response to environmental factors. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 239:125–156.
- Mercier A., Battaglione S.C. and Hamel J. F. 1999b. Daily activities of juvenile sea cucumbers *Holothuria scabra* in response to environmental factors. Abstracts 34<sup>th</sup> European Marine Biology Symposium, Ponta Delgada, 13–17 September 1999, Azores, Portugal, p. 83.
- Mercier A., Battaglione S.C. and Hamel J.F. 2000. Settlement preferences and early migration of the tropical sea cucumber *Holothuria scabra*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 249:89–110.
- Mercier A., Hidalgo R.Y. and Hamel J.F. 2004. Aquaculture of the sea cucumber, *Isostichopus fuscus*. p. 347–358. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Mohan R.M.K. and James D.B. (2005). Incidence d'une infestation parasitaire dans *Holothuria atra* Jaeger. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin* 22:38.
- Morgan A.D. 2000. Aspects de la gestion des stocks géniteurs d'holothuries de sable (Echinodermes : Holothurides). *La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS* 13:2–8.
- Pitt R. and Duy N.D.Q. 2004. Breeding and rearing of the sea cucumber *Holothuria scabra* in Viet Nam. p. 333–346. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Purcell S.W. 2004. Criteria for release strategies and evaluating the restocking of sea cucumber. p. 181–192. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Purcell S.W. and Eeckhaut, I. 2005. Un examen sanitaire externe des holothuries produites en éclosion. *La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS* 22:34–38.
- Tanaka M. 2000. Diminution of sea cucumber *Stichopus japonicus* juveniles released on artificial reefs. *Bulletin of the Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center* 2:19–29.
- Wang Y.G., Zhang C., Rong X., Chen J. and Shi C. 2004. Disease of cultured sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, in China. p. 297–310. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Wang P., Chang Y., Yu J., Li C. and Xu C. 2007. Acute peristome edema disease in juvenile and adult sea cucumbers *Apostichopus japonicus* (Selenka) reared in North China. *Journal of Invertebrate Pathology* 96:11–17.
- Xilin S. 2004. The progress and prospects of studies on artificial propagation and culture of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. p. 273–276. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

## Évaluation des stocks des populations d'holothuries dans les eaux de la mer Rouge en Arabie saoudite

Mohamed Hamza Hasan<sup>1</sup>

### Résumé

La présente étude propose une estimation des stocks d'holothuries en différents endroits de la mer Rouge, au sujet desquels on manque actuellement de données fiables. Elle a porté sur dix-huit sites répartis entre trois zones (Al-Wajh, Thowal et îles Farasan) des côtes saoudiennes de la mer Rouge. Ses principales conclusions révèlent que l'ensemble des sites examinés ont été victimes d'une très importante surpêche qui a entraîné un extrême appauvrissement des stocks d'holothuries.

Au cours de cette étude, douze espèces ont été recensées, les îles Farasan étant le site qui offre le plus de diversité (huit espèces), suivi de Thowal (quatre espèces) et d'Al-Wajh (trois espèces). Parmi ces espèces, trois présentent une grande valeur commerciale (*Holothuria fuscogilva*, *H. nobilis* et *H. scabra*), cinq une valeur moyenne (*Actinopyga echinites*, *A. mauritiana*, *Holothuria atra*, *H. fuscopunctata* et *Stichopus variegatus*), trois une faible valeur (*Bohadschia vitiensis*, *Pearsonothuria graeffei* et *Holothuria edulis*) et l'une d'entre elles est une espèce non commerciale, *Holothuria leucospilota*. Les recherches menées sur la structure des populations indiquent le fort appauvrissement des populations de *H. nobilis*, tandis que les populations de *H. fuscogilva* comme de *H. scabra* ont été complètement décimées. *H. atra* demeure la seule espèce préservée.

### Introduction

En raison du large éventail d'habitats et de l'exceptionnelle biodiversité qu'elle abrite, la mer Rouge constitue un environnement unique en son genre. C'est pourquoi elle présente un grand intérêt sur le plan scientifique et écologique (Head, 1987). Les côtes saoudiennes de la mer Rouge s'étendent sur près de 2 000 km, soit la quasi-totalité du littoral oriental de la mer Rouge. Au large de celles-ci, on compte de nombreuses îles aux écosystèmes florissants et aux communautés d'espèces riches. Les holothuries représentent l'une des composantes les plus importantes de l'écosystème de la mer Rouge et elles influent sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes coralliens (Bakus, 1973), compte tenu de leur contribution considérable à la chaîne alimentaire et à la modification du substrat (Lawrence, 1975). De plus, les holothuries présentent une grande valeur commerciale en raison de la forte demande du marché pour ce produit et du cours élevé auquel elles sont échangées (Holand, 1994).

Les paramètres environnementaux des habitats marins des côtes saoudiennes de la mer Rouge sont favorables aux holothuries (Price, 1982, 1983). La présence de nourriture, les substrats adéquats (Roberts, 1979 ; Mercier et al., 1999), la grande diversité des niches (Clark et Rowe, 1971 ; Guille et Ribes, 1981), les profondeurs adaptées (Preston et Lokani, 1990 ; Lokani et al., 1996) et le faible nombre d'ennemis naturels (Hasan, 2003, 2005) contribuent au développement des holothuries. Toutefois, à partir de 1999, l'holothurie a commencé à être victime d'une surpêche qui a conduit à la surexploitation des ressources et, partant, à l'appauvrissement des stocks (Hasan, 2008).

Entraînant la diminution de la densité des espèces, cette surpêche risque également de faire disparaître certaines espèces de l'habitat marin, notamment celles présentant une valeur commerciale élevée.

Compte tenu de la surpêche de l'holothurie pratiquée en Arabie saoudite et de l'appauvrissement manifeste des stocks naturels, le Ministère de l'agriculture saoudien a interdit la pêche de cet animal. Il a demandé la réalisation d'une étude exhaustive sur toutes les espèces d'holothuries présentes et sur l'état des stocks avant d'envisager la réouverture de cette pêche. Dans une étude précédente (Hasan, 2008), j'ai étudié la situation du secteur et ai proposé un plan de gestion des holothuries en Arabie saoudite. Le présent article décrit une enquête de deux mois réalisée en vue d'évaluer les stocks naturels d'holothuries sur les côtes saoudiennes de la mer Rouge.

### Matériel et méthodes

#### Sites d'étude

Réalisée d'avril à mai 2006, cette enquête sur les stocks d'holothuries a porté sur dix-huit sites, au large des côtes saoudiennes de la mer Rouge. Trois lieux bordant le littoral ont été étudiés : la zone d'Al-Wajh, celle de Thowal et les îles Farasan. Ces trois endroits ont été amplement décrits dans l'étude réalisée par mes soins en 2008. Plusieurs sites de chacune de ces zones ont été observés. À Al-Wajh, les cinq endroits suivants ont été examinés : Al-Ewandia Nord (récif immergé), Kotaa Al-Ewandia (récif peu profond), Shaab Al-Jaziera (récif peu profond), île Braim et Kaad Al-Jazeira. À Thowal, trois sites ont été explorés : Bousti (île immergée) et les récifs de Tallah et

<sup>1</sup> Institut national de recherche océanographique et halieutique, service de la mer Rouge et des golfes de Suez et d'Aqaba, P.O. Box 182, Suez, Égypte

d'Abou Koussa. L'archipel des Farasan est placé à 50 km du rivage, au large de la région de Jazan, à la frontière sud du pays. Dix sites y ont fait l'objet d'une observation : Umm El-Hagar (récif immergé), Umm El-Raak (récif immergé), Bagel (récif immergé), Al-Hayla, Al-Shabeen, Umm Al-Madah, Gadeefa (île immergée), Al-Hacece, Al-Sharaa et Abou Atteque.

### Méthodes d'évaluation des populations d'holothuries

Les populations d'holothuries sur les sites d'étude ont été estimées par le biais de comptages visuels sous-marins le long de transects. L'évaluation visuelle directe constitue la méthode traditionnellement utilisée : elle permet de compter directement les spécimens de l'épifaune (Lokani et al., 1996). Pour chaque site, des transects ont été tirés à diverses profondeurs, dans différentes zones et au niveau de différents habitats. Chaque transect mesurait près de 150 mètres de long. Entre cinq et neuf expériences ont été réalisées en parallèle à chaque zone et/ou profondeur. Le long de chaque transect, dix quadrats de dix mètres sur dix (100 m<sup>2</sup>) ont été mis en place. Les zones peu profondes ont été étudiées grâce à des plongées en apnée, les plus profondes, lors de plongées en scaphandre autonome.

### Estimation et répartition des populations

La densité de population des différentes espèces d'holothuries au sein de chaque quadrat a été relevée et exprimée en nombre d'individus pour 100 m<sup>2</sup>. Pour chaque quadrat, les différents biotopes du récif et le type de substrat ont été décrits en pourcentage de sable, de débris grossiers, de dalle corallienne, de plantes marines, d'algues, de rochers et de corail mort ou vivant.

Pour chacun des sites d'étude, la population totale de chaque espèce a été estimée à l'aide de la formule suivante :

$$P = X * N$$

Où :

P = population totale  
X = nombre moyen par transect  
N = nombre de transects placés dans l'ensemble de la zone (N= superficie totale / superficie du transect)

La superficie totale de chaque site a été calculée d'après les distances mesurées par un bateau navigant à vitesse constante, en utilisant la formule suivante :

$$D = V * T$$

Où D représente la distance, V la vitesse du bateau et T le temps.

### Estimation des stocks permanents

La biomasse a été calculée en collectant différentes espèces d'holothuries à partir de quadrats représentatifs et en pesant ces animaux. Ensuite, les holothuries ont été redéposées à leur emplacement d'origine. Les holothuries ont été pesées cinq minutes après leur sortie de l'eau et

après avoir été délicatement séchées à l'aide d'un chiffon. Les stocks permanents ont été calculés comme suit :

$$SP = \text{Poids m.} * ST / SQ$$

Où SP représente les stocks permanents, Poids m. le poids moyen dans les quadrats représentatifs, ST la superficie totale et SQ la superficie du quadrat.

### Conclusions

#### Espèces d'holothuries présentes

Au total, douze espèces ont été recensées sur les trois sites d'étude. Trois espèces de valeur élevée ont été observées : *Holothuria fuscogilva*, *H. nobilis* et *H. scabra* ; cinq espèces de valeur moyenne : *Actinopyga echinites*, *A. mauritiana*, *Holothuria atra*, *H. fuscopunctata* et *Stichopus variegatus* ; trois espèces de faible valeur : *Bohadschia vitiensis*, *Pearsonothuria graeffei* et *Holothuria edulis* ; et une espèce non commerciale (*Holothuria leucospilota*) (Tableau 1). Sur les dix-huit sites étudiés, cinq ne comportaient aucune holothurie (El-Ewandia Nord, Al-Hayla, Al-Shabeen, Umm-El-Madah et Al-Sharaa). L'espèce la plus courante était *Holothuria atra* (recensée sur neuf sites), suivie de *Holothuria nobilis* (repérée sur trois sites), tandis que les autres espèces n'étaient présentes que sur un ou deux sites.

Les sites étudiés diffèrent tant par leur diversité que par la densité des espèces qui s'y trouvent. Il apparaît clairement que chaque site ne comporte que peu d'espèces différentes. Cette étude a révélé que parmi ces sites, 27,78 pour cent ne comportaient aucune espèce d'holothurie ; 27,78 pour cent présentaient une espèce seulement ; 38,89 pour cent comprenaient deux espèces, et seuls 5,56 pour cent comptaient six espèces.

#### Densité et répartition des espèces selon les habitats

Dans la zone d'Al-Wajh, on a observé des holothuries sur quatre des cinq sites, qui présentaient une densité et une diversité faibles. Seule une espèce de valeur élevée y a été relevée (*Holothuria nobilis*, observée à Shaab Al-Jaziera), à une faible densité, à savoir entre 0,1 et 0,2 individu pour 100 m<sup>2</sup> (tableau 2A). *Holothuria atra*, espèce de valeur moyenne, a été recensée sur trois des cinq sites (Shaab Al-Jaziera, île Braim et île Kaad El-Zawrak). Les plus fortes densités ont été notées dans les habitats sablonneux (entre 4,3 individus pour 100 m<sup>2</sup> à Shaab Al-Jaziera et 8,4 individus pour 100 m<sup>2</sup> à l'île Braim), tandis que c'est dans les habitats de corail mort qu'a été enregistrée la plus faible densité de *H. atra*. Cette espèce n'a pas été relevée dans les zones présentant un habitat de corail vivant.

Dans la zone de Thowal, quatre espèces d'holothuries ont été relevées sur les trois sites. Deux espèces de grande valeur, *Holothuria fuscogilva* (à Bousti seulement), et *Holothuria nobilis* (à Bousti et à Tallah), ont été observées à de faibles densités dans des habitats rocheux et de corail mort (tableau 2B). L'espèce de valeur moyenne *H. atra* a été repérée à une faible densité à Tallah, tant dans des habitats sablonneux (12,3 individus pour 100 m<sup>2</sup>), que rocheux (2,4 individus pour 100 m<sup>2</sup>). On a noté une faible densité à Abou Koussa (0,2 individu pour 100 m<sup>2</sup>), dans les habitats rocheux comme sablonneux. *Actinopyga mau-*

**Tableau 1.** Composition par espèce des holothuries sur les sites d'étude (présence/absence)

Spécimens	Zone Al-Wajh				Zone Thowal			Iles Farasan					
	Kataa Al-Ewandia	Shaab Al-Jaziera	Baim Island	Kaad El-Zawrak Island	Bousti	Tallah	Abou Koussa	Umm El-Hagar	Umm El-Raak	Bagel	Gadeefa	Al-Hacece	Abou Atteque
<i>Actinopyga echinites</i>									+		+		
<i>A. mauritiana</i>							+						
<i>Bohadschia vitiensis</i>											+	+	
<i>P. graeffei</i>	+												
<i>Holothuria atra</i>		+	+	+		+	+	+	+	+	+		
<i>H. edulis</i>											+		
<i>H. scabra</i>										+	+		
<i>H. fuscogilva</i>					+								
<i>H. nobilis</i>		+			+	+							
<i>H. fuscopunctata</i>												+	
<i>H. leucospilota</i>													+
<i>Stichopus variegatus</i>											+		

*ritiana*, une autre espèce de valeur moyenne, a été observée à une très faible densité (0,01 individu pour 100 m<sup>2</sup>) et sur un seul site corallien (Abou Koussa).

Aux îles Farasan, l'espèce de grande valeur *Holothuria scabra* n'a été observée que sur des substrats sablonneux et à de faibles densités à Bagel (0,1 individu pour 100 m<sup>2</sup>) et à Gadeefa (0,3 individu pour 100 m<sup>2</sup>). On a également relevé la présence d'espèces de valeur moyenne à de faibles densités. Parmi celles-ci, c'est *H. atra* qui présentait la plus forte densité. *H. edulis*, une autre espèce de valeur moyenne, a été observée uniquement sur du corail mort (0,1 individu pour 100 m<sup>2</sup>) et sur des habitats coralliens (0,2 individu pour 100 m<sup>2</sup>) à Gadeefa. Deux autres espèces de valeur moyenne ont été repérées aux îles Farasan : *Actinopyga echinites*, observée à Umm El-Raak seulement (0,1 individu pour 100 m<sup>2</sup>, tant sur des habitats rocheux que sur du corail mort), et *Stichopus variegatus*, uniquement présente sur l'habitat sablonneux de Gadeefa. L'espèce non commerciale *Holothuria leucospilota* a été observée à de fortes densités au niveau des habitats sablonneux (7,8 individus pour 100 m<sup>2</sup>) et rocheux (3,9 individus pour 100 m<sup>2</sup>) du site d'Abou Atteque (tableau 2C).

### Évaluation des stocks

On a relevé 35 individus de l'espèce *Holothuria scabra* à Gadeefa et seulement 8 de la même espèce à Bagel. *Holothuria fuscogilva*, autre espèce de grande valeur, occupe une place de choix dans la composition des prises d'holothuries en Arabie saoudite. Or, on n'a relevé que 10 individus à Bousti. La présence de *Holothuria nobilis* a été observée sur trois sites : 14 individus à Shaab Al-Jaziera, 7 à Bousti et 18 au niveau du récif de Tallah. La seule espèce pour laquelle on a compté davantage d'individus est celle de valeur moyenne *Holothuria atra*, avec 1 567 individus

recensés sur le récif de Tallah, où il semblerait que la population se soit reconstituée après trois années d'interdiction de la pêche. Cette espèce a également été observée à Shaab Al-Jaziera (87 individus), l'île Braim (189 individus), l'île Kaad El-Zaurak (112 individus), Bagel (65 individus) et Gadeefa (92 individus).

En poids humide, la biomasse totale était légèrement inférieure à une demi-tonne (tableau 3). La majeure partie de cette biomasse se composait de l'espèce *Holothuria atra*, qui représentait 450,5 kg. Sur tous les sites d'étude, les espèces de grande valeur ont été observées à des niveaux négligeables. *Holothuria scabra* présentait une biomasse totale de 32,5 kg, dont 26,58 kg relevés à Gadeefa et 5,65 kg à Bagel. Les résultats n'étaient pas meilleurs pour *Holothuria nobilis*, dont la biomasse totale s'élevait à 24,95 kg. *Holothuria fuscogilva* n'a été observée qu'à Bousti et présentait une biomasse de 6,5 kg (tableau 4).

Le tableau 4 présente l'état des stocks d'holothuries. C'est à Tallah qu'a été enregistrée la plus forte biomasse (347,45 kg en poids humide), celle-ci se composant néanmoins en grande partie d'espèces de faible valeur. Les holothuries relevées à Bousti présentaient une forte valeur, mais leur biomasse était très faible.

### Discussion

La principale conclusion de la présente étude est que tous les sites observés ont été victimes d'une surpêche très importante. La pêche illicite se poursuit manifestement, en particulier dans les parties nord et sud du littoral. Malgré des conditions environnementales satisfaisantes qui devraient permettre aux holothuries de se développer, on note une faible diversité des espèces, ainsi qu'une densité encore plus faible pour les espèces de grande

**Tableau 2A.** Densité par espèce d'holothurie (nombre d'individus pour 100 m<sup>2</sup>) dans les différents habitats sur les sites étudiés de la zone d'Al-Wajh (données exprimées en moyenne)

Spécimens	Bousti			Tallah			Abou Koussa		
	Roches	Coraux morts	Coraux vivants	Sable	Roches	Coraux morts	Sable	Herbiers	Coraux vivants
<i>Holothuria atra</i>	0	0	0	12,3	2,4	1,2	0,2	0,2	0
<i>Holothuria nobilis</i>	0,1	0,1	0	0	0,2	0,1	0	0	0
<i>Holothuria fuscogilva</i>	0	0,2	0,01	0	0	0	0	0	0
<i>Actinopyga mauritiana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01

**Tableau 2B.** Densité par espèce d'holothurie (nombre d'individus pour 100 m<sup>2</sup>) dans les différents habitats sur les sites étudiés de la zone de Thowal (données exprimées en moyenne)

Spécimens	Kotaa Al-Ewandia	Shaab Al-Jaziera			Braum Island			Kaad El-Zawrak Island	
	Coraux vivants	Sable	Roches	Coraux morts	Sable	Herbiers	Coraux morts	Sable	Roches
<i>Holothuria atra</i>	0	4,3	1,1	0,9	8,4	4,2	0,3	5,6	1,2
<i>Holothuria nobilis</i>	0	0,01	0,2	0	0	0	0	0	0
<i>Pearsonothuria graeffei</i>	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 2C.** Densité par espèce d'holothurie (nombre d'individus pour 100 m<sup>2</sup>) dans les différents habitats sur les sites étudiés de la zone des îles Farasan (données exprimées en moyenne)

Spécimens	Umm El-Hagar		Umm El-Raak		Bagel		Gadeefa			Al-Hacece		Abou Atteque	
	Sable	Roches	Sable	Coraux morts	Sable	Roches	Sable	Coraux morts	Coraux vivants	Sable	Coraux vivants	Sable	Roches
<i>Actinopyga echinites</i>	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bohadschia vitiensis</i>	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0,1	0	0
<i>Holothuria atra</i>	0,4	0,2	0,2	0,1	0,5	0,2	4,6	2	0	0	0	0	0
<i>H. edulis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0	0	0	0
<i>H. fuscopunctata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0
<i>H. scabra</i>	0	0	0	0	0,1	0	0,3	0	0	0	0	0	0
<i>H. leucospilota</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,8	3,9
<i>Stichopus variegatus</i>	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0

valeur. Il est probable que les paramètres naturels ne suffisent pas à maintenir les stocks d'holothuries en Arabie saoudite.

La densité des espèces d'holothuries diffèrent radicalement selon les habitats (Hasan et Hasan, 2004), le comportement de l'espèce (Hammond, 1982 ; Young et Chia, 1982) et le niveau d'exploitation (Conand, 1990, 1998, 2004). Sur les sites étudiés, la densité de population des espèces de valeur élevée *Holothuria scabra*, *H. nobilis* et *H. fuscogilva* est très faible. La densité de ces mêmes espèces était nettement supérieure en Papouasie-Nouvelle-Guinée, en 1981 (de 0,29 à 0,37 individu m<sup>-2</sup>) (Shelly, 1981). En 1979, Lawrence observait une très forte abondance d'*A.*

*mauritiana* à Guam (12 individus/m<sup>2</sup>). La densité de *H. scabra* relevée dans les eaux de la mer Rouge en Arabie saoudite est similaire aux faibles densités enregistrées en d'autres endroits : en Indonésie, par exemple, la densité de *H. scabra* s'élève entre 0,0025 et 0,39 individu par mètre carré (Darsono et al., 1998), tandis qu'en Papouasie-Nouvelle-Guinée, elle est de 0,01 à 0,02 individu par mètre carré (Lokani et al., 1996).

Quel que soit le site, la biomasse de toutes les espèces commerciales d'holothuries est faible et probablement insuffisante pour maintenir une population ou constituer une ressource halieutique fiable. De plus, les espèces de valeur élevée (*Holothuria fuscogilva*, *H. nobilis* et *H. scabra*)

**Tableau 3.** Stocks permanents (biomasse exprimée en kilogrammes) des différentes espèces d'holothuries sur les sites étudiés

Site	<i>Actinopyga echinites</i>	<i>A. mauritiana</i>	<i>Bohadschia vitiensis</i>	<i>Pearsonothuria graeffei</i>	<i>Holothuria atra</i>	<i>H. edulis</i>	<i>H. leucopilota</i>	<i>H. fuscogilva</i>	<i>H. nobilis</i>	<i>H. fuscopunctata</i>	<i>H. scabra</i>	<i>Stichopus variegatus</i>
Kotaa Al-Ewandia	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Shaab Al-Jaziera	-	-	-	-	18,50	-	-	-	9,25	-	-	-
Braim Island	-	-	-	-	36,75	-	-	-	-	-	-	-
Kaad El-Zaurak Island	-	-	-	-	21,10	-	-	-	-	-	-	-
Bousti	-	-	-	-	-	-	-	6,5	2,75	-	-	-
Tallah reef	-	-	-	-	334,50	-	-	-	12,95	-	-	-
Abou Koussa reef	-	0,65	-	-	0,85	-	-	-	-	-	-	-
Umm El-Hagar	-	-	-	-	2,10	-	-	-	-	-	-	-
Umm El-Raak	2,3	-	-	-	1,45	-	-	-	-	-	-	-
Bagel	-	-	-	-	13,65	-	-	-	-	-	5,65	-
Gadeefa	2,7	-	4,1	-	21,60	1,25	-	-	-	-	26,85	21,35
Al-Hacece	-	-	4,8	-	-	-	-	-	-	1,35	-	-
Abou Atteque	-	-	-	-	-	-	189,75	-	-	-	-	-

**Tableau 4.** Abondance totale, poids humide total et part des espèces de grande valeur commerciale (*Holothuria scabra*, *H. fuscogilva* et *H. nobilis*) pour chaque site.

Site	Abondance totale	Poids (kg)	% espèces à haute valeur (nbre)	% espèces à haute valeur (poids)
Kotaa Al-Ewandia	3	0,500	0,00	0,00
Shaab Al-Jaziera	101	27,750	16,09	33,33
Braim Island	189	36,750	0,00	0,00
Kaad El-Zaurak Island	112	21,100	0,00	0,00
Bousti	17	9,250	100,00	100,00
Tallah reef	1585	347,450	1,15	3,73
Abou Koussa reef	8	1,500	0,00	0,00
Umm El-Hagar	19	2,100	0,00	0,00
Umm El-Raak	13	3,750	0,00	0,00
Bagel	73	19,300	12,31	29,27
Gadeefa	186	77,850	18,82	34,49
Al-Hacece	22	6,150	0,00	0,00
Abou Atteque	451	189,750	0,00	0,00

sont présentes en de très faibles quantités, ce qui indique un extrême appauvrissement. Sur tous les récifs des sites étudiés, on observe également des espèces de qualité moyenne ou basse en faible quantité. Quel que soit l'endroit, *H. atra*, l'espèce actuellement ciblée, a été décimée, à l'exception du site de Tallah et de l'île Braim, où l'on observe un rétablissement de la population et des densités relativement élevées. La biomasse de *H. atra* sur le récif de Tallah est faible en raison de la forte proportion d'animaux de petite taille.

En Arabie saoudite, la collecte de l'holothurie a débuté en 1999, puis a été interdite en 2004. La reconstitution des stocks d'holothuries exposés à la surpêche est un phénomène lent qui peut s'étaler sur plusieurs années (Purcell et al., 2002). La réduction de la densité de population causée par la surpêche risque d'empêcher la reproduction des individus restants. Il semble désormais évident qu'il faudra certainement des années avant que les stocks décimés d'holothuries de valeur élevée puissent se reconstituer sur les sites étudiés. Faute de dispositif concret de

contrôle, de surveillance et de mise en application des réglementations, la pêche illicite d'holothuries a fleuri, ce qui a débouché sur un appauvrissement des ressources. Les avantages d'un régime de gestion efficace de la pêche de l'holothurie emmené par les parties prenantes du secteur demeurent méconnus, et c'est ce qui explique en grande partie la surexploitation et l'épuisement des stocks. Des formations plus concrètes doivent être proposées aux gestionnaires des pêches, aux scientifiques, au personnel des services de protection du littoral, aux agents des services de protection de l'environnement, aux agents des coopératives et aux pêcheurs.

Les autorités devraient adopter des règles et des réglementations adaptées en vue de préserver les stocks d'holothuries et définissant clairement les procédures de récolte à suivre. De plus, il est nécessaire de procéder à l'enregistrement de données fiables et précises sur les holothuries des eaux de la mer Rouge en Arabie saoudite. Ces obligations devront être mises en œuvre dans le cadre d'un plan de gestion.

## Remerciements

Je tiens à remercier mes collègues du Centre de recherche halieutique de Jeddah (Arabie saoudite) pour l'aide qu'ils m'ont apportée lors des travaux menés sur le terrain dans le cadre de la présente étude.

## Bibliographie

- Bakus G.J. 1973. The biology and ecology of tropical holothurians. p. 325–367. In: Jones O.A. and Endean R. (eds). *Biology and ecology of coral reefs*, Vol. 2. New York: Academic press.
- Clark A.M. and Rowe F.W.E. 1971. *Monograph of shallow water Indo-West Pacific Echinoderms*. London: Trustees British Museum of Natural History. 277 p.
- Conand C. 1990. The fishery resources of Pacific Island Countries Part2: Holothurians. FAO Fisheries Technical Paper 272(2). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 141 p.
- Conand C. 1998. Overexploitation in the present sea cucumber fisheries and perspectives in mariculture. p. 449–454. In: Mooi R. and Telford M. (eds.). *Echinoderms*. San Francisco: Balkema.
- Conand C. 2004. Present status of world sea cucumber resources and utilization an international overview. p. 13–23. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds.). *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Darsono P., Aziz A. and Djamali A. 1998. Kepadatan stok teripang pada beberapa lokasi di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan* 2:264–272.
- Guille A. and Ribes S. 1981. Echinoderms associés aux Scleractinaires d'un récif grangeant de l'île de la Reunion (Océan Indien). *Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris* 3(1):73–92.
- Hammond L.S. 1982. Patterns of feeding and activity of deposit feeding holothurian and echinoids from a shallow back reef lagoon, Discovery Bay, Jamaica. *Bulletin of Marine Science* 32(2):549–571.
- Hasan M.H. 2003. Ecology and distribution patterns of the threatened holothurians as correlated with over-fishing in the Gulf of Aqaba, Northern Red Sea, Egypt. *Journal of Egyptian Academic Society of Environmental Development*, 4(3):101–118.
- Hasan M.H. 2005. Destruction of a *Holothuria scabra* population by overfishing at Abu Rhamada Island in the Red Sea. *Marine Environmental Research* 60:489–511.
- Hasan M.H. 2008. Plan de gestion et situation de la pêche d'holothuries en Arabie saoudite La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 28:14–21.
- Hasan M.H. and Hasan Y.S. 2004. Natural ecological factors and human impacts influencing the spatial distribution of holothuroid species in the Gulf of Aqaba. *Journal of the Egyptian German Society of Zoology* 43(D):287–306.
- Head S.M. 1987. Introduction to the Red Sea. p. 1–21. In: Edwards A.J. and Head S.M. (eds). *Key environments: The Red Sea*. Oxford: Pergamon Press.
- Holland A. 1994. The status of global beche-de-mer fisheries with special reference to the Solomon Islands and the potentials of holothurian culture [M.Sc. Thesis]. Newcastle, Australia: University of Newcastle. 134 p.
- Lawrence J.M. 1975. On the relationships between the marine plants and sea urchins. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 13:213–286.
- Lokani P. Matoto S.V. and Ledua E. 1996. Report of a survey of sea cucumber resources at Ha'apai, Tonga. May-June, 1996. Noumea, New Caledonia: South Pacific Commission. 13 p.
- Mercier A., Battaglione S.C. and Hamel J.F. 1999. Daily burrowing cycle and feeding activity of juvenile sea cucumber *H. scabra* in response to environmental factors. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 239:125–156.
- Preston G.L. and Lokani P. 1990. Report of a survey of the sea cucumber resources of Ha'apai, Tonga. June, 1990. Noumea: South Pacific Commission. 14 p.
- Price A.R.G. 1982. Echinoderms of Saudi Arabia. Comparison between echinoderm faunas of Arabian Gulf, SE-Arabia, Red Sea and Gulfs of Aqaba and Suez. *Fauna of Saudi Arabia* 4:3–21.
- Price A.R.G. 1983. Echinoderms of Saudi Arabia. Echinoderms of the Arabian Gulf Coast of Saudi Arabia. *Fauna of Saudi Arabia* 5:28–108.
- Purcell S., Gardener D. and Bell J. 2002. Élaboration de stratégies optimales pour la reconstitution des stocks d'holothuries de sable : un projet conjoint mis en œuvre en Nouvelle-Calédonie. *La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS* 16:2–4.
- Roberts D. 1979. Deposit-feeding mechanisms and resource partitioning in tropical holothurians. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 37:43–56.
- Shelly C. 1981. Aspects of the distribution, reproduction, growth and fishery potential of holothurians in the Papuan coastal lagoon [M.Sc. Thesis]. Port Moresby: University of Papua New Guinea.
- Young C.M. and Chia F.S. 1982. Factors controlling spatial distribution of the sea cucumber *Psolus chitonoides*: Settling and post-settling behavior. *Marine Biology* 69:195–205.

## De l'écloserie au village – Premier programme communautaire d'holothuriculture à Madagascar

*Georgina Robinson,<sup>1\*</sup> Benjamin Pascal<sup>1</sup>*

### Résumé

Dans la région de Toliara (Madagascar), un partenariat novateur a vu le jour entre les communautés locales, des organisations non gouvernementales et des interlocuteurs du secteur privé. Les différents partenaires travaillent à mettre sur pied un projet pionnier de mariculture communautaire qui permettra aux communautés résidant le long du littoral d'élever dans de simples enclos marins des juvéniles d'holothuries produits en écloserie. Le présent article décrit le travail engagé par les partenaires pour démontrer la viabilité socioéconomique d'un nouveau modèle de génération de revenus pour les habitants des zones côtières dans cette région appauvrie.

### Introduction

La pêche des holothuries joue un rôle important dans l'économie de Madagascar. En 2002, la valeur des exportations d'holothuries a été estimée à 3,1 millions de dollars des États-Unis, soit 2 % de la valeur totale des exportations de ressources marines du pays (Rasolofonirina, 2007). Dans la région de Toliara (sud-ouest de Madagascar), cette pêche est une activité traditionnelle (Rasolofonirina et al., 2004) très pratiquée (Rasolofonirina et Conand, 1998) par les communautés des zones côtières. Pour les pêcheurs de Vezo qui habitent dans cette région, le ramassage d'holothuries est devenu une composante à part entière de leurs activités de subsistance et constitue la première source de revenus d'une part importante de la population (McVean et al., 2005). Les techniques employées sont simples, à savoir le ramassage à pied ou en apnée, nécessitent très peu d'investissement en matériel et assurent une participation égale des hommes, des femmes et des enfants (Pascal, 2008).

Depuis le début des années 1990, les halieutes et les communautés locales du sud-ouest de Madagascar ont constaté un déclin marqué de l'abondance des holothuries. La surexploitation se manifeste actuellement par plusieurs signes, dont une baisse de qualité, une diminution de la taille des produits, le recours à des équipements interdits (216 bouteilles de plongée ont été saisies en 2002), la concurrence féroce que se livrent les pêcheurs (Conand et al., 1998), l'exploitation de zones de pêche situées en dehors des eaux malgaches (Rasolofonirina et al., 2004) et le ramassage de juvéniles (Conand et al., 1997; Rasolofonirina, 2007). La surexploitation de la ressource est associée à l'évolution de cette filière, au départ traditionnelle ou familiale, vers une pêche artisanale semi-industrielle, alimentée par la demande croissante de trévang (bêche-de-mer) sur les marchés internationaux et la rareté des holothuries dans les eaux peu profondes (Rasolofonirina et al., 2004).

La surexploitation des holothuries pourrait avoir des conséquences socioéconomiques et écologiques très graves. À l'échelle des communautés, la raréfaction

de ce produit d'exportation très coté entraînerait une paupérisation et la déstabilisation des communautés villageoises qui ont progressivement axé leurs activités sur l'exploitation du produit « trévang » (Rasolofonirina et al., 2004). D'un point de vue écologique, les holothuries participent de façon essentielle au maintien des écosystèmes côtiers dans les zones tropicales, faisant office d'ingénieurs des écosystèmes, puisqu'elles augmentent la complexité structurelle de l'habitat, et de macro-détritivores qui consomment des déchets organiques divers (Coleman et William, 2002; Rasolofonirina et al., 2004).

C'est dans ce contexte régional qu'a vu le jour un partenariat novateur entre les communautés locales, les organisations non gouvernementales (ONG) et les interlocuteurs du secteur privé. Les différents partenaires travaillent à mettre sur pied un projet pionnier de mariculture communautaire qui permettra aux communautés résidant le long du littoral d'élever dans de simples enclos marins des juvéniles d'holothuries produits en écloserie. Les partenaires s'efforcent de démontrer la viabilité socioéconomique d'un nouveau modèle de génération de revenus applicable aux habitants des zones côtières dans cette région appauvrie. En cas de réussite, le projet constituera un tournant important de l'exploitation à l'élevage d'un animal marin crucial. À long terme, cette initiative contribuera aussi à la régénération des populations sauvages.

### Développement de l'holothuriculture à Madagascar

La nature complexe des pêcheries d'holothuries ne facilite pas la mise en œuvre de mesures de gestion halieutique, en raison du nombre élevé de maillons qui constituent la chaîne d'approvisionnement et qu'il faut réglementer. À Madagascar, la gestion de la pêche des holothuries est particulièrement délicate, du fait de réglementations inadéquates, de leur application laxiste et de l'absence de collecte et de gestion des statistiques (Rasolofonirina, 2007). C'est pour cette raison que l'holothuriculture est actuellement considérée comme la meilleure solution de gestion de l'exploitation (Lavitra, 2008).

1 Blue Ventures Conservation, Unit 2D, Aberdeen Centre, 22-24 Highbury Avenue, Londres, N6 2EA, Royaume-Uni.  
Correspondance : georgi@blueventures.org

2 Trans'Mad-Développement, Besakoa, Antsirasa 601, District Toliara 1, Madagascar

L'holothurie de sable, *Holothuria scabra*, est l'une des espèces d'holothuries les plus rentables. Elle fait l'objet d'une exploitation massive dans l'ensemble de la région Indopacifique en vue de sa commercialisation en Asie (Rasolofonirina et al., 2005). Cette espèce se prête bien à l'aquaculture, compte tenu du fait que son développement larvaire peut être maîtrisé et que l'espèce est tolérante à un large éventail de conditions écologiques (Hamel et al., 2001).

Dans le monde, Madagascar est l'un des pays pionniers des techniques d'écloserie permettant l'élevage de *H. scabra* et reste le seul pays de l'océan Indien occidental à maîtriser l'aquaculture de cette espèce. Le projet a débuté à Madagascar en 1999, avec le lancement d'un projet d'holothuriculture (Jangoux et al., 2001) financé par la Coopération Universitaire pour le Développement de Belgique et le gouvernement de Madagascar (Eeckhaut et al., 2008). Ce projet regroupe des scientifiques de deux universités belges (Université de Mons-Hainaut et Université Libre de Bruxelles) et de l'Institut Halieutique et des Sciences Marines (IHSM) à Toliara. Au cours de ses deux principales phases, entre 1999 et 2007, le projet a permis de mettre au point avec succès la technologie et les installations (écloserie, site de nourricerie et enclos marins) nécessaires à la production de juvéniles d'holothuries de sable et à leur grossissement jusqu'à une taille commercialisable.

En mars 2008, le projet a basculé de la phase expérimentale au domaine commercial avec la création de Madagascar Holothurie SA (MHSA), première entreprise privée d'holothuriculture à Madagascar (Eeckhaut et al., 2008). L'entreprise a été constituée pour rassembler des représentants des deux universités belges, de l'IHSM et de Copefrito SA, entreprise privée de pêche et d'exportation, basée à Toliara. Les différents acteurs représentés au sein de la nouvelle entreprise rassemblent des connaissances spécialisées dans la production et l'exportation de bêche-de-mer. Le principal objectif de MHSA est d'augmenter la capacité de production actuelle de l'écloserie d'holothuries à l'IHSM et du site de nourricerie à Belaza pour atteindre des échelles commerciales et produire 200 000 juvéniles par an pendant les cinq prochaines années (Eeckhaut et al., 2008). MHSA a cerné le principal goulot d'étranglement de la production à échelle commerciale, à savoir l'espace limité offert par les bassins artificiels. Cela dit, compte tenu du potentiel qu'offrent les vastes herbiers intertidaux le long de la côte sud-ouest malgache ainsi que du besoin urgent de proposer de nouveaux moyens d'existence viables aux communautés de pêcheurs, l'entreprise a décidé de collaborer avec des ONG locales afin de réaliser la phase de grossissement des holothuries dans le cadre d'un projet de mariculture communautaire.

### Lancement d'un programme de mariculture communautaire

Deux ONG locales, le groupe de conservation *Blue Ventures* (<http://www.blueventures.org>) et *Trans'Mad-Développement* (<http://www.transmad.org>), travaillent en partenariat avec MHSA et ont récemment reçu le concours de ReCoMaP (Programme régional pour la gestion durable des zones côtières des pays de l'Océan Indien) en vue de développer l'holothuriculture pour

en faire une activité rémunératrice durable pour les communautés de la région. Durant les deux ans que dure le projet, leur rôle est d'appuyer et d'accompagner le développement d'une cinquantaine d'unités de mariculture le long du littoral sud-ouest de Madagascar. Les financements de ReCoMaP permettront aux ONG d'offrir un soutien financier et logistique aux communautés partenaires, et ce, en vue de construire et de charger des enclos de grossissement, qui seront la propriété des villages, où les juvéniles achetés à MHSA seront transférés jusqu'à ce qu'ils atteignent une taille commercialisable. L'objectif, d'ici à la fin du projet, est de créer un modèle et des mécanismes d'appui qui devraient permettre de répliquer cette activité tout le long du littoral malgache dans de nouveaux villages et d'en faire bénéficier d'autres communautés.

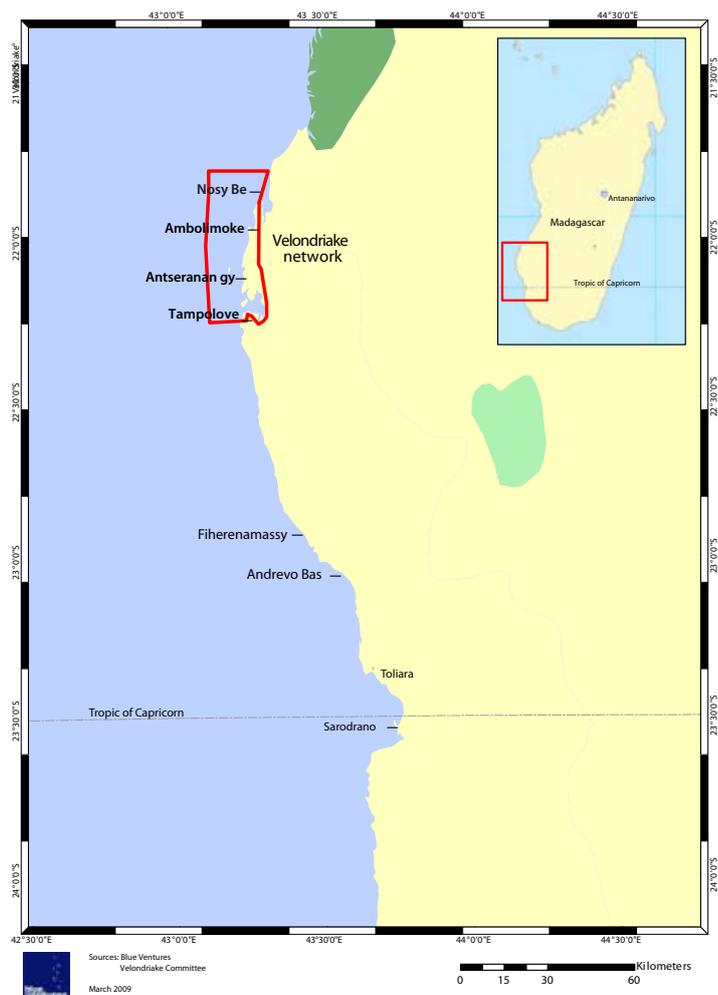
Les deux ONG œuvrent dans des zones géographiques distinctes, ce qui assure une couverture spatiale optimale du projet. *Trans'Mad-Développement* gère déjà des projets dans le domaine maritime de la région de Toliara, dont le comptoir régional du sel de Tuléar (Co.Re.SEL, sel iodé) et la création d'un collège maritime spécialisé. Pour les essais pilotes de mariculture, les ONG ont sélectionné des villages à proximité de Toliara, notamment Fiharenamasay et Andrevo-Bas au nord et Sarodrano au sud (figure 1) selon un critère principal : la présence de sites adaptés au grossissement de *H. scabra* à proximité du village.

*Blue Ventures* a son siège dans un village reculé d'Andavadoaka, à quelque 200 kilomètres au nord de Toliara. L'entreprise travaille principalement en partenariat avec *Velondriake* (<http://www.livewiththesea.org>), association communautaire dont le nom signifie « vivre avec la mer » et qui regroupe 24 villages côtiers formant trois régions géographiques constitutives. Ensemble, ils gèrent un réseau d'aires marines et côtières protégées sous administration communautaire, créées en 2006 pour protéger plus de 800 km<sup>2</sup> d'étendue marine et côtière et les ressources qu'elle recèle. En 2007, *Blue Ventures* a lancé des études pilotes de faisabilité sur la filière holothuricole en collaboration avec l'IHSM, Copefrito, le collectif de femmes d'Andavadoaka et le village d'Ambolimoke. Au titre de ce nouveau projet mené en collaboration avec MHSA, l'élevage aquacole d'holothuries se poursuivra avec la participation du collectif de femmes et des villageois d'Ambolimoke et sera étendu aux villages de Tampolove et de Nosy Bé.

### Solutions techniques et financières

Un certain nombre de modèles sociaux de propriété sont à l'étude dans le cadre de ce projet, s'appuyant notamment sur les lignées familiales, les associations, les noyaux familiaux et les groupes de familles. Une convention écrite stipulant les conditions et responsabilités de chaque partie est établie entre chaque groupe et l'ONG. Le projet vise à financer et à acheminer le matériel de base nécessaire à la construction de quatre enclos par groupe et à former et superviser les villageois pendant le travail de fabrication des enclos.

Les enclos sont fabriqués avec des matériaux disponibles sur place, notamment des filets de pêche en nylon d'un maillage de 10 mm<sup>2</sup>, des pieux en bois et du cordage de



**Figure 1.** Sites sélectionnés pour les essais pilotes de mariculture réalisés par Blue Ventures et Trans'Mad-Développement au sud-ouest de Madagascar (Image : B. Pascal, Trans'Mad-Développement)

2 et 4 mm (figures 2 et 3). Le filet de deux mètres de large est doublé et renforcé à la base par une barre d'armature en fer, enfouie à 25 cm de profondeur dans le sédiment pour éviter que les juvéniles ne s'échappent.

Le système d'élevage a été mis au point selon des méthodes d'aquaculture correspondant aux meilleures pratiques, l'idée étant aussi de générer d'importants revenus pour les aquaculteurs. Des enclos de différentes tailles (12,5 m x 12,5 m et 15 m x 15 m) sont à l'essai, avec une charge respective de 300 et 450 holothuries. Étant donné que la croissance des holothuries dépend de leur densité, il est recommandé que les densités de charge ne dépassent pas 2 individus par m<sup>2</sup> pour permettre une croissance optimale (Lavitra, 2008).

Avec le concours financier et les conseils techniques des ONG partenaires, les aquaculteurs peuvent acheter à crédit des lots de juvéniles à Madagascar Holothurie pour les faire grossir dans leurs enclos (figures 4–7). Une fois que les holothuries ont atteint une taille adulte commercialisable de 300–350 g, elles sont revendues à Madagascar Holothurie en déduisant le coût d'achat des juvéniles. Le cycle de grossissement de *H. scabra* étant estimé à 12 mois, la mise en charge des quatre enclos

et la collecte des individus seront réparties tout au long de l'année à des intervalles de trois mois.

Ce cycle trimestriel de mise en charge et de collecte doit permettre de distribuer à la fois les risques associés à l'exploitation et les revenus tirés de la collecte, de façon homogène tout au long de l'année. Cette stratégie vise aussi à aider les aquaculteurs à comprendre qu'il est nécessaire de réinvestir pour poursuivre l'activité à long terme. En effet, une fois les aides financières épuisées, les aquaculteurs devront supporter eux-mêmes le coût d'achat des juvéniles et de l'entretien des enclos, sans aide directe des ONG.

Si l'holothuriculture est une filière assez simple qui ne demande que peu de main-d'œuvre et aucun intrant alimentaire, plusieurs activités régulières de supervision doivent être assurées pour l'entretien des enclos et la sécurité du stock. Les vols de spécimens constituent actuellement un risque majeur pour le projet. Les holothuries de sable sont une espèce à forte valeur marchande et les négociants en bêche-de-mer sont actuellement nombreux dans la région. À l'échelon local, les holothuries de sable de qualité supérieure se vendent à environ 2,5–3 dollars É.-U. par individu (Lavitra, 2008) ; par conséquent, pour les habitants de Madagascar, où 60 % de la population vit avec moins de 1 dollar par jour, le braconnage, même à petite échelle, a beaucoup d'attrait. Ainsi, les aquaculteurs sont obligés d'assurer une surveillance nocturne de leurs enclos pour garantir l'intégrité de leur stock tout au long du

cycle de grossissement. En outre, les enclos nécessitent un soin et un entretien réguliers, notamment pour éliminer les prédateurs, dont les crabes (*Thalamita crenata*) et les étoiles de mer (*Culcita* spp.) ; l'intégrité des filets doit être vérifiée et les salissures des filets doivent être éliminées pour assurer un renouvellement suffisant des eaux. Toutefois, comparées à la difficulté que représente la surveillance nocturne, ces tâches sont mineures. Un suivi mensuel des taux de croissance est assuré la nuit pendant les marées de vives eaux, avec l'assistance des agents des ONG, afin de mieux comprendre et évaluer les facteurs qui affectent la croissance et la mortalité des individus.

## Conclusion

Ce nouveau modèle d'holothuriculture communautaire dans la région sud-ouest de Madagascar constitue une approche novatrice qui pourrait permettre de créer de nouvelles activités rémunératrices pour les populations de Vezo dans la région. De toute évidence, le projet est très porteur en termes de génération de revenus pour les communautés locales et MHSA, mais il se heurte actuellement à des difficultés diverses, notamment d'ordre socioéconomique et biologique.



**Figure 2.** Séchage d'holothuries pêchées en milieu naturel au village de Vezo  
(Photo: B. Pascal, Trans'Mad-Développement)



**Figure 3.** Nourricerie d'holothuries à Belaza, au sud-ouest de Madagascar (Photo : B. Pascal, Trans'Mad-Développement)



**Figure 4.** Juvéniles de *H. scabra* élevés en écloserie  
(Photo : G. Robinson, Blue Ventures)



**Figure 5.** Le collectif de femmes d'Andavadoaka aménage son premier enclos (Photo : G. Cripps, Blue Ventures)



**Figure 6.** Individu *H. scabra* ayant atteint une taille commercialisable, élevé par le collectif de femmes  
(Photo : G. Cripps, Blue Ventures)



**Figure 7.** Des familles à Ambolimoke préparent des filets et construisent leurs enclos (Photo : G. Robinson, Blue Ventures)

Étant donné qu'il faut attendre la fin du cycle de grossissement d'au moins 12 mois pour tirer les premiers bénéfices économiques de l'activité holothuricole, il est nécessaire que les familles poursuivent leur travail quotidien et leurs activités économiques habituelles en parallèle. Ainsi, la réussite du projet ne sera assurée que si l'on trouve un moyen d'intégrer concrètement cette activité aux autres activités de subsistance des populations de sorte à éviter que les tâches aquacoles ne soient abandonnées ou négligées. Il importe de souligner toutefois que ce nouveau projet n'a pas pour but de se substituer à la pêche, qui demeure un moyen essentiel de répondre aux besoins vivriers des familles. L'objectif de la mariculture dans la région est plutôt de proposer une activité complémentaire aux communautés pour leur apporter une nouvelle source de revenus et réduire l'attrait économique de la pêche.

À long terme, l'idée est que l'activité holothuricole permette de ralentir la surexploitation des stocks sauvages à l'échelon local. Cet objectif pourrait être atteint grâce aux revenus tirés de la mariculture, qui rendraient moins pressant le besoin d'exploiter les holothuries pour obtenir des liquidités, et grâce aux adultes grossis dans les fermes d'élevage qui pourraient fournir les recrues nécessaires pour reconstituer les stocks locaux. Dans la région sud-ouest de Madagascar, les stocks de *H. scabra* sont gravement surexploités. Il est possible que l'épuisement du stock d'adultes reproducteurs ait déjà fait baisser la réussite de reproduction des populations sauvages à un niveau inférieur au seuil de régénération naturelle du stock. Des études menées dans d'autres parties de la région Indopacifique posent l'hypothèse que ce seuil dit d'« effet allélique » s'élève à 10 à 50 individus par ha pour les holothuries tropicales, selon l'espèce et le lieu (Bell et al., 2008).

Des recherches sur l'abondance et la distribution des holothuries exploitées, menées sur la barrière du Grand Récif de Toliara en 1997, ont montré que la biomasse moyenne de *H. scabra* dans les herbiers était de 3,774 kg par ha. Ces données révèlent qu'il y a encore dix ans, les stocks sauvages d'holothuries de sable avaient un niveau proche du seuil associé à l'effet allélique. Comme les holothuries de sable atteignent leur maturité sexuelle à un poids de 150–200 g (Conand, 1990 ; Hamel et al., 2001), la majorité des holothuries élevées en éclos auront la possibilité de se reproduire avant qu'elles ne soient collectées (à 300–350 g). Les enclos constituent donc une « biomasse féconde » d'holothuries de sable. La création programmée de 50 unités de mariculture le long de la côte sud-ouest de Madagascar permettra de créer un réseau protégé de concentrations de reproducteurs, qui pourraient avoir une taille et une densité suffisantes pour que la reproduction et la fécondation des individus de l'espèce aient lieu, ce qui permettrait de soutenir le recrutement des populations sauvages de *H. scabra*, victimes de grave surexploitation.

## Bibliographie

- Bell J.D., Purcell S.W. and Nash W.J. 2008. Restoring small-scale fisheries for tropical sea cucumbers. *Ocean & Coastal Management* 51:589–593.
- Coleman F.C. and Williams S.L. 2002. Overexploiting marine ecosystem engineers: potential consequences for biodiversity. *Ecology & Evolution* 17(1):40–44.
- Conand C. 1990. The Fishery Resources of Pacific Island Countries. Part 2: Holothurians. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 272 p.
- Conand C., Galet-Lalande N., Randriamiarana H., Razafintseho G. and de San M. 1997. Les holothuries de Madagascar : problèmes de gestion durable de la pêche. *La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS* 9:4–5.
- Conand C., De San M., Refeno G., Razafintseho G., Mara E. and Andriajatovo S. 1998. Gestion durable de la filière holothuries à Madagascar. *La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS* 10:7–9.
- Eeckhaut I., Lavitra T., Rasoforinina R., Rabenevanana M.W., Gildas P., Jangoux M. 2008. Madagascar Holothurie SA : la première entreprise commerciale axée sur l'aquaculture des holothuries à Madagascar. *La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS* 28:22–23.
- Hamel J.F., Conand C., Pawson D. and Mercier A. 2001. The sea cucumber *Holothuria scabra* (Holothuroidea: Echinodermata): its biology and exploitation as beche-de-mer. *Advances in Marine Biology* 41:129–223.
- Jangoux M., Rasoforinina R., Vaitilingon D., Ouin J.M., Seghers G., Mara E. and Conand C. 2001. Un projet pilote d'écloserie et de mariculture d'holothuries à Tuléar, Madagascar. *La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS* 14: 2–5.
- Lavitra T. 2008. Caractérisation, contrôle et optimisation des processus impliqués dans le développement post-métamorphique de l'holothurie comestible *Holothuria scabra* [dissertation]. Mons, Belgium : University of Mons-Hainaut. 166 p.
- McVean A.R., Hemery G., Walker R.C.J., Ralisoana B.L.R. and Fanning E. 2005. La pêche traditionnelle de l'holothurie dans le sud-ouest de Madagascar: une étude de cas réalisée sur deux villages en 2002. *La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS* 21:15–18.
- Pascal B. 2008. De la « terre des ancêtres » aux territoires des vivants : Les enjeux locaux de la gouvernance sur le littoral sud-ouest de Madagascar [dissertation]. ED 227. Paris: Muséum national d'Histoire naturelle. 413 p.
- Rasolofonirina R. 2007. Sea cucumbers in Madagascar. p. 31–40. In: Conand C. and Muthiga N. (eds). *Commercial Sea Cucumbers: A Review for the Western Indian Ocean*. WIOMSA Book Series N°. 5. Nairobi: Kul Graphics Ltd.
- Rasolofonirina R. and Conand C. 1998. L'exploitation des holothuries dans le sud-ouest de Madagascar, région de Toliara. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin* 10:10–15.
- Rasolofonirina R., Mara E. and Jangoux M. 2004. Sea cucumber and mariculture in Madagascar, a case study of Tuléar, south-west Madagascar. p. 133–149. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (eds). *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Rasolofonirina R., Vaitilingon D., Eeckhaut I. and Jangoux M. 2005. Reproductive cycle of edible echinoderms from the south-west Indian Ocean II: The sandfish *Holothuria scabra*. *Western Indian Ocean Journal for Marine Science* 4(1):61–75.

## La phagocytose par les amœbocytes chez *Apostichopus japonicus*

Xing Kun,<sup>1,2</sup> Hongsheng Yang<sup>1</sup>

### Résumé

La présente étude porte sur l'analyse quantitative de la phagocytose opérée par les amœbocytes chez *Apostichopus japonicus*. Le zymosan A a été utilisé comme marqueur. Il a été mélangé *in vitro* aux cœlomocytes et le taux de phagocytose a été analysé en dénombrant les cellules à l'aide d'un microscope optique. Les taux de phagocytose (exprimés en pourcentage) du zymosan A ingérés par les amœbocytes ont été établis lorsque le marqueur a été mis en présence des amœbocytes à des températures différentes (4, 10, 15, 20 et 30 °C) et pendant des périodes d'incubation différentes (15, 45 et 60 min). Il s'est avéré que l'activité phagocytaire variait en fonction de la température et de la durée d'exposition. Les amœbocytes sont efficaces lorsqu'il s'agit d'absorber le zymosan A.

### Introduction

La plupart des réponses immunitaires sont assurées par les phagocytes (revu par Gross *et al.* 1999) qui peuvent également fonctionner dans l'encapsulation cellulaire de corps étrangers et de microbes par coagulation où ils s'imbriquent les uns dans les autres. (Hillier et Vacquier, 2003). Les caractéristiques des cœlomocytes d'*A. japonicus* ont été démontrées directement à l'aide d'un microscope optique et d'un microscope électronique (Eliseikina et Magarlamov 2002 ; Xing *et al.* 2008). Six types de cœlomocytes ont été identifiés : des lymphocytes, des cellules au stade morula, des amœbocytes, des cellules cristallines, des cellules fusiformes et des cellules vibratiles (Xing *et al.* 2008). Les phagocytes, chez les échinodermes, ont fait l'objet de plusieurs analyses quantitatives. Beck et Habicht (1993) ont démontré que la phagocytose *in vitro* chez l'étoile de mer *Asterias forbesi* était positivement corrélée avec la durée d'incubation. Xing et Chia (1998) ont eu recours à la cytométrie en flux afin d'étudier les caractéristiques quantitatives des amœbocytes chez *Holothuria leucospilota* ; la phagocytose était massive et positivement corrélée avec le rapport billes/cellule. L'objectif de la présente étude consistait à quantifier le taux de phagocytose opérée par les amœbocytes chez *A. japonicus* en utilisant du zymosan A.

### Matériaux et méthodes

#### Prélèvement de liquide cœlomique

Des holothuries *Apostichopus japonicus* en bonne santé (longueur du corps : 10 à 15 cm; poids : 100 à 150 g) ont été obtenues auprès de fermes aquacoles de Qingdao, dans la Province de Shandong (Chine). Elles ont été transférées au laboratoire dans une cuve en PVC de 500 l d'eau de mer à 10 °C, aérée, filtrée au sable et renouvelée quotidiennement. Elles ont eu la possibilité de s'acclimater à leur nouvel environnement pendant quatre semaines avant les expériences. Environ 5 à 10 ml

de liquide cœlomique ont été prélevés du flanc droit de l'animal (Santiago-Cardona *et al.* 2003) à l'aide d'une seringue de 25 et dilués dans une même quantité d'eau de mer artificielle (ASW, pH 7,4). Une solution de fixation à base d'EDTA [6 x 10<sup>-3</sup> M d'EDTA, 0,01 M de PBS (tampon phosphate salin), ASW, pH 6,0] (Noble 1970) a été utilisée comme agent de désagrégation. Le liquide cœlomique a été stocké dans des tubes de centrifugeuse stériles de 5 ml à une température de 4 °C.

#### Phagocytose du zymosan A

Le liquide cœlomique a été stocké dans des tubes de centrifugeuse stériles de 1,5 ml et centrifugé à une vitesse de 2 000 t/min pendant 10 min à température ambiante. Le zymosan A (BSA, Sigma – Aldrich, Steinheim, Allemagne) a ensuite été ajouté au sérum extrait, deux heures avant les essais de phagocytose, à une concentration de 0,1 g ml<sup>-1</sup> et à température ambiante. Afin d'étudier la phagocytose du zymosan A, 0,2 ml de liquide cœlomique filtré, dilué avec de l'ASW stérile (proportion 1:1), a été extrait et mélangé au zymosan A activé dilué. Les essais ont été effectués à des températures de 4, 10, 15, 20 et 30 °C pendant 15, 30 et 60 min dans des tubes de centrifugeuse stériles. Ensuite, le pourcentage de cellules phagocytantes a été estimé, après observation d'une centaine d'entre elles, sélectionnées au hasard, grâce au système Opton à un taux de grossissement de 400x.

### Résultats

#### Morphologie des amœbocytes

Les amœbocytes possèdent plusieurs pseudopodes rayonnant à partir du cytoplasme. Tous les amœbocytes possèdent des pseudopodes pétales ou filiformes (fig. 1 et 2) rayonnant dans différentes directions à partir de la masse de cellules endoplasmique centrale. Les amœbocytes sont parvenus à coaguler avec des pseudopodes filiformes (fig. 2).

<sup>1</sup> Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071 (Chine), Courriel: xingkun84@gmail.com – Auteur correspondant : hshyang@126.com

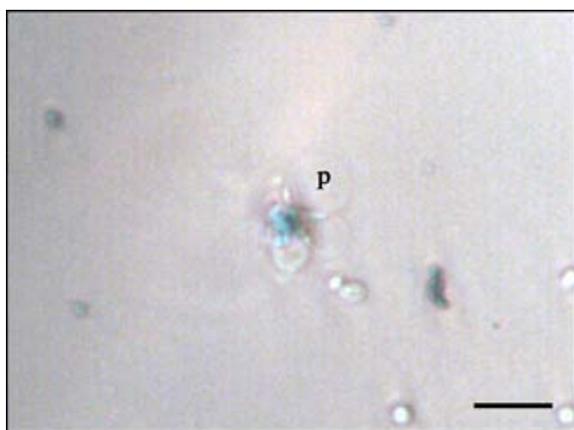
<sup>2</sup> Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039 (Chine)



**Figure 1.** Micrographie optique d'amœbocytes pétaloïdes ; pseudopode (barre = 10µm)

### Phagocytose du zymosan A

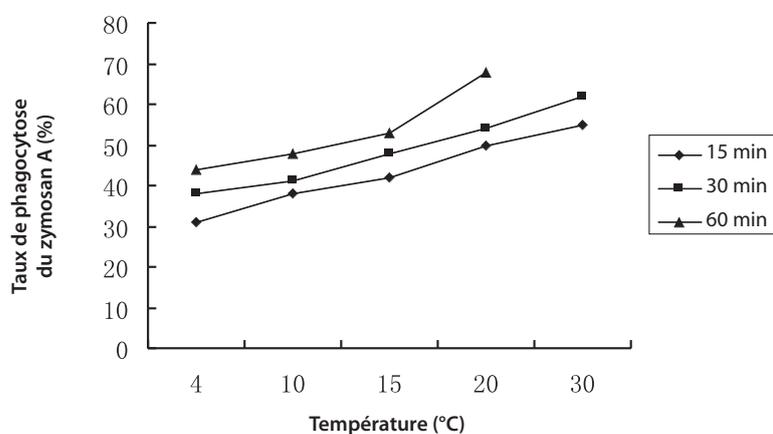
La microscopie optique a permis d'observer que les amœbocytes opposaient une réponse phagocytaire au zymosan A (figure 3) lors d'une incubation en suspension. Il est apparu que les amœbocytes étaient activement phagocytaires et que leur capacité phagocytaire était élevée : les cellules phagocytantes représentent entre 30 et 70 pour cent des cellules dénombrées. Le rapport entre la capacité phagocytaire et la température s'est révélé cohérent (figure 4). La capacité phagocytaire était élevée lorsque l'on ajoutait du zymosan A et immédiatement après l'extraction du liquide coelomique de l'holothurie ; en l'espace d'une heure, les coelomocytes avaient coagulé à 30 °C.



**Figure 2.** Micrographie optique d'amœbocytes filiformes ; pseudopode (barre = 10µm)



**Figure 3.** Micrographie optique montrant les réponses phagocytaires au zymosan A ; flèches : zymosan (barre = 5µm)



**Figure 4.** Analyse quantitative du taux de phagocytose du zymosan A par les amœbocytes dans *Apostichopus japonicus*

## Discussion

Sur les six types de coelomocytes d'*A. japonicus*, les amœbocytes étaient les deuxièmes cellules les plus abondantes après les lymphocytes (Xing *et al.* 2008). Les amœbocytes peuvent absorber des colorants et d'autres particules des viscères et les amœbocytes filiformes participent à la coagulation et à la cicatrisation des blessures. Globalement, les amœbocytes assurent l'immunité cellulaire de l'échinoderme puisqu'elles sont dotées de capacités de phagocytose et de nutrition, et jouent un rôle actif dans la réaction coagulante. On sait que les amœbocytes contiennent des matières hétérogènes de différentes dimensions. Les cellules présentent souvent d'importantes quantités de pseudopodes, et les amœbocytes chargés de pseudopodes ont souvent tendance à s'agglutiner. Chez l'espèce d'holothurie étudiée, ainsi que d'autres échinodermes, les pseudopodes des amœbocytes étaient pétales et filiformes (Edds, 1993). Les amœbocytes présentent des transformations morphologiques intervenant avant et pendant l'agrégation cellulaire. Les observations attentives de préparations fraîches indiquent que tous les amœbocytes possèdent des pseudopodes ectoplasmiques qui rayonnent dans différentes directions à partir du cytoplasme périnucléaire de la cellule. Des phagocytes pétales se sont directement transformés en amœbocytes avec des pseudopodes filiformes, mais la transformation de pseudopodes filiformes en pseudopodes pétales n'a jamais été observée (Hetzl 1963). Les amœbocytes se sont révélés être sensibles aux pressions induites. Elles ont connu une transition pétales-filiforme par pression sous l'effet de rayonnements UV-B (Matranga *et al.* 2006). Les transformations de pseudopodes pétales en pseudopodes filiformes se sont accélérées et l'agrégation des cellules était apparente après que celles-ci aient été mélangées au zymosan *A in vitro*.

L'étude quantitative de la phagocytose révèle l'existence d'un rapport cohérent entre la température et les capacités phagocytaires. Les amœbocytes pétales et filiformes ont tous deux réagi. À l'issue de la phagocytose, les amœbocytes sont passés de l'état pétales à l'état filiforme, d'autres types de coelomocytes ont fait preuve de capacités phagocytaires limitées. Les amœbocytes se sont révélés capables de s'agglutiner *in vitro*. Dans les préparations fraîches, les pseudopodes pétales semblent s'effondrer et une redistribution du cytoplasme produit des pseudopodes filiformes branchus particulièrement longs, souvent entrelacés avec les pseudopodes filiformes d'autres amœbocytes. Alors que la température augmentait et que le temps passait, les amœbocytes se coagulaient avec des cellules morula et des lymphocytes, ce qui entraînait une réduction de l'efficacité de la phagocytose.

## Remerciements

Cette recherche a été possible grâce au soutien de la *National Natural Science Foundation of China* (subvention n° 40576073) et du *National Key Technology Research and*

*Development Program* (subvention n° 2006BAD09A02/09). Le professeur Conand a formulé des suggestions et nous a aidés à rédiger ce document, et nous lui sommes très reconnaissants de son assistance et de ses informations.

## Bibliographie

- Beck G. and Habicht G.S. 1993. Invertebrate Cytokines III: Invertebrate interleukin-1-like molecules stimulate phagocytosis by tunicate and echinoderm cells. *Cellular Immunology* 146:284–299.
- Edds K.T. 1993. Cell biology of echinoid coelomocytes. I. Diversity and characterization of cell types. *Journal of Invertebrate Pathology* 61:173–178.
- Eliseikina M.G. and Magarlamov T.Y. (2002) Coelomocyte morphology in the holothurians *Apostichopus japonicus* (Aspidochirota: Stichopodidae) and *Cucumaria japonica* (Dendrochirotida: Cucumariidae). *Russian Journal of Marine Biology* 28:197–202.
- Gross P.S., Al-Sharif W.Z., Clow L.A. and Smith L.C. 1999. Echinoderm immunity and the evolution of the complement system. *Development and Comparative Immunology* 23:429–442.
- Hetzl H.R. 1963. Studies on holothurian coelomocytes. A survey of coelomocyte types. *Biological Bulletin* 125:289–301.
- Hillier B.J. and Vacquier V.D. 2003. Amassin, an olfactomedin protein, mediates the massive intercellular adhesion of sea urchin coelomocytes. *Journal of Cell Biology* 160:597–600.
- Matranga V., Pinsino A., Celi M., Bella G. and Natoli A. 2006. Impacts of UV-B radiation on short-term cultures of sea urchin coelomocytes. *Marine Biology* 149:25–34.
- Noble P.B. 1970. Coelomocyte aggregation in *Cucumaria frondosa*: effect of ethylenediaminetetra-acetate, adenosine, and adenosine nucleotides. *Biological Bulletin* 139:549–556.
- Santiago-Cardona P.G., Berríos C.A., Ramírez F. and García-Arrarás J.E. 2003. Lipopolysaccharides induce intestinal serum amyloid A expression in the sea cucumber *Holothuria glaberrima*. *Developmental and Comparative Immunology* 27:105–110.
- Xing J. and Chia F.S. 1998. Phagocytosis of sea cucumber amœbocytes: a flow cytometric study. *Invertebrate Biology* 117:67–74.
- Xing K., Yang H.S. and Chen M.Y. 2008. Morphological and ultrastructural characterization of the coelomocytes in *Apostichopus japonicus*. *Aquatic Biology* 2:85–92.

# Communications...

## **Résumé d'un projet de thèse soumis par Hanna Nilsson**

### **Stratégies de gestion de la pêche de holothuries à Zanzibar (Tanzanie)**

**Source :** Projet de thèse

*Direction : Maricela de la Torre-Castro et Professeur Nils Kautsky, Département écologie des systèmes, Université de Stockholm (Suède)*

Les holothuries sont considérées comme des organismes essentiels pour le bon fonctionnement des écosystèmes, étant donné qu'elles remplissent des fonctions écologiques fondamentales, telles que le recyclage des nutriments et la bioturbation. En outre, elles constituent une source de revenus importante pour les populations des zones côtières. Depuis longtemps déjà, on pêche les holothuries dans l'océan Indien occidental pour les exporter vers les marchés de pays asiatiques tels que la Chine. La demande reste forte et des signes indicateurs d'une surpêche commencent à apparaître. Or l'on ne sait que peu de choses de la biologie et de l'écologie des holothuries, ainsi que de l'importance socioéconomique ou de la gestion de cette ressource dans l'océan Indien occidental. C'est pour combler ce déficit de connaissances qu'une étude sur la gestion des holothuries a été menée pendant trois ans à Zanzibar (Tanzanie). Il s'agissait d'enquêter sur les stratégies de gestion officielles et officieuses actuellement appliquées sur cette île et de formuler des propositions pour améliorer la viabilité à long terme de la pêche. Les informations ont été recueillies dans le cadre d'entretiens semi-directifs avec des exploitants de la ressource et des agents de la fonction publique, ainsi qu'à partir de l'examen de textes législatifs et de documents d'orientation. L'étude met en évidence l'insuffisance et les carences de la gestion publique des holothuries à Zanzibar. Le plus grand flou règne en matière de réglementation et de contrôle des licences d'exploitation. Les prises d'holothuries fraîches ne font l'objet d'aucune statistique; les seules données recueillies concernent les holothuries séchées destinées à l'exportation. En outre, il n'est procédé à aucune évaluation régulière des stocks et il n'existe aucune mesure officielle de surveillance de la ressource. La réglementation interdit la pêche des holothuries de moins de 10 cm de longueur, mais cette disposition n'est pas correctement appliquée. Par ailleurs, les stratégies officieuses de gestion de la ressource paraissent insuffisantes et ne permettent pas d'assurer la pérennité de l'activité. On détecte cependant, aussi bien chez les exploitants que chez les fonctionnaires, une véritable volonté de préserver la ressource à un niveau permettant son exploitation, ce qui constitue un élément essentiel pour la réussite de toute mesure de gestion. C'est en tenant compte de cette volonté que des propositions ont été élaborées à partir des idées soumises par les exploitants et les gestionnaires de la ressource. Ces suggestions s'inscrivent dans le droit fil des structures déjà en place à Zanzibar, en s'appuyant sur une analyse de la littérature scientifique relative à la gestion de la ressource. Les propositions avancées pourraient servir de tremplin à la mise en œuvre d'un plan global de gestion des stocks d'holothuries à Zanzibar; elles apportent en outre une pierre à l'édifice des études régionales sur l'océan Indien occidental.

## **Résumé d'un projet de thèse soumis par Caroline Raymond**

### **Structure de la filière de l'holothurie et exploitation de la ressource à Zanzibar (Tanzanie)**

**Source :** Projet de thèse

*Direction : Maricela de la Torre-Castro et Professeur Nils Kautsky, Département écologie des systèmes, Université de Stockholm (Suède)*

Dans l'océan Indien occidental, la pêche des holothuries est considérée comme une source de revenus de première importance dans nombre de zones côtières. Mais en raison d'une forte demande, les holothuries sont victimes d'une surpêche et l'on voit diminuer leurs populations dans le monde entier. C'est le cas également dans l'océan Indien occidental. L'objectif général de la présente étude était d'établir le profil de l'organisation, des acteurs et des circuits de la filière de l'holothurie à Zanzibar (île d'Unguja). Ce travail s'appuie sur 100 entretiens conduits avec des acteurs du secteur. Les résultats obtenus montrent que la filière est constituée par ceux qui ramassent l'holothurie (les pêcheurs), la transforment (les intermédiaires) et la commercialisent (les exportateurs). Le prélèvement s'effectue selon trois méthodes : en marchant le long du rivage, en apnée ou en plongée sous-marine. Les transformateurs spécialisés font souvent office d'intermédiaires : ils achètent leurs prises aux pêcheurs pour les revendre ensuite aux négociants, qui, après nouvelle transformation, exportent le produit sur le marché mondial (le plus souvent à Hong Kong). La collecte est assurée aussi bien par les hommes que par les femmes, sachant que ces dernières pêchent uniquement le long du littoral. On estime que près de 800 pêcheurs spécialisés participent au prélèvement des holothuries, ce à quoi il faut ajouter les pêcheurs occasionnels. Cependant le revenu journalier moyen varie considérablement suivant les catégories de pêcheurs : il s'élève à plus de 30 000 shillings tanzaniens pour un plongeur, c'est-à-dire dix fois plus que celui d'un pêcheur intervenant le long de la côte. On estime que le secteur de l'holothurie dégage un chiffre d'affaires annuel de 872 000 000 shillings tanzaniens (665 000 dollars des États-Unis) pour les pêcheurs spécialisés. Zanzibar abrite 20 espèces d'holothuries d'intérêt commercial qui sont pratiquement toutes ciblées par les trois catégories de pêcheurs. On constate cependant que les plongeurs en apnée ou en scaphandre autonome tendent à prélever les espèces les plus recherchées en beau-

coups plus grandes quantités. Le volume des exportations de bêche-de-mer en 2007 est estimé à 56 tonnes. Les résultats de l'étude indiquent que la pêche des holothuries constitue un moyen de subsistance potentiel à Zanzibar. Il convient cependant d'examiner très sérieusement la question de la pérennité de cette activité.

### Communication de Maricela de la Torre-Castro

Dans le cadre du projet « Sea cucumbers, a poorly understood but important coastal resource : National and regional analyses to improve management in the Western Indian Ocean (WIO) » (Les holothuries, ressource côtière mal connue mais importante : analyses nationales et régionales destinées à améliorer la gestion des stocks dans l'océan Indien occidental) (2006–2008), financé par le programme Marine Science for Management (MASMA) (Sciences de la mer au service de la gestion), nous avons étudié la filière de l'holothurie à Zanzibar. Ce premier volet du projet concernait la gestion, l'organisation et les paramètres économiques de la filière et constitue la première étude systématique de ce type jamais réalisée à Zanzibar. Les principaux résultats de ces travaux figurent sous forme de résumés dans le présent bulletin. Nous allons poursuivre nos travaux en procédant à une évaluation des stocks et de la biodiversité, ainsi qu'à une étude comparative des différents systèmes de gestion mis en œuvre dans les pays de l'océan Indien occidental.

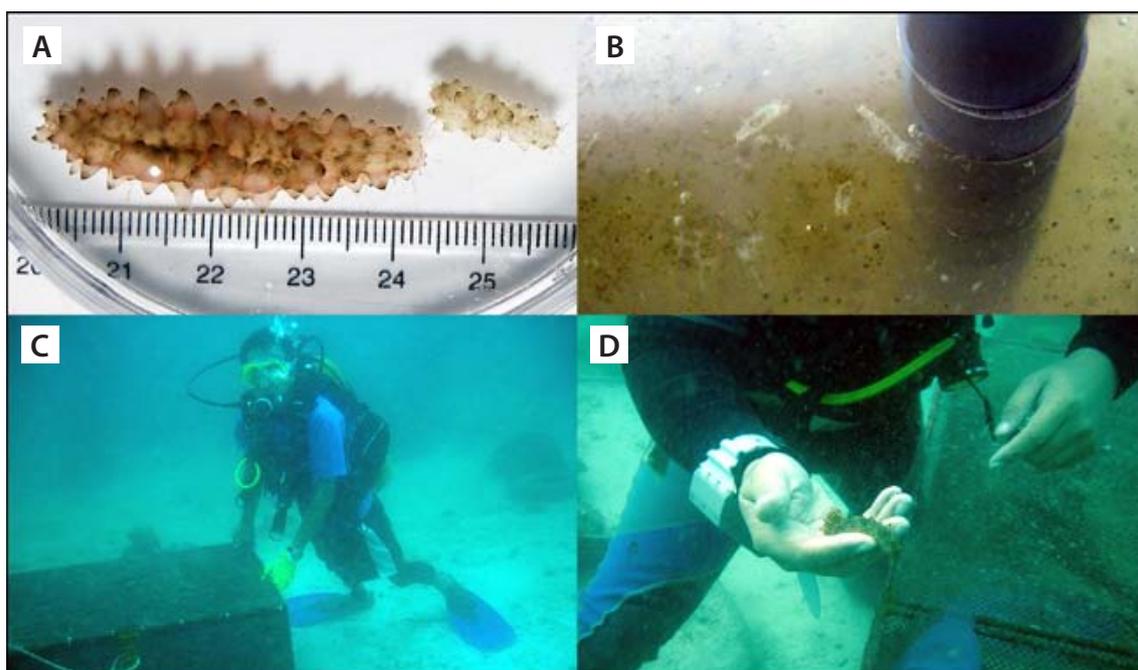
Correspondance : Hampus Eriksson, hampus@ecology.su.se et Maricela de la Torre-Castro, maricela@ecology.su.se, Département écologie des systèmes, Université de Stockholm (Suède).

### Communication de Zaidnuddin Ilias

Service des pêches de Malaisie, National Prawn Fry Production and Research Centre (NAPFRE), (Centre national de recherche et de production d'alevins de crevettes), zaiali01@yahoo.co

### Observation des premiers essais de grossissement de juvéniles de *Stichopus horrens* en Malaisie

*Stichopus horrens* est une holothurie d'intérêt commercial très prisée en Malaisie, où elle constitue l'un des ingrédients de base de la médecine traditionnelle. La filière de *S. Horrens* est une importante source de revenus et a fait de l'une des îles du pays (Langkawi) un centre de production de remèdes à base d'holothurie. Les substances extraites de cette espèce sont connues depuis longtemps pour leurs propriétés antifongiques et antibactériennes et leur emploi est répandu. Les laboratoires pharmaceutiques locaux réalisent des recherches sur ces substances. Face à la montée en puissance de l'exploitation et du prélèvement des holothuries, le Service des pêches de Malaisie a lancé des travaux de recherche sur cette espèce dans les domaines de l'écologie et de l'aquaculture. Les recherches aquacoles ont débuté dès 1994 à l'Institut de recherche sur les pêcheries de Malaisie, mais des progrès considérables ont été enregistrés ces derniers temps. Deux pontes en éclosure se sont succédé à la fin 2007 et à la mi-2008 au Centre national de recherche et de production d'alevins de crevettes (NAPFRE), nous permettant de tenter une opération d'élevage de juvéniles. Le grossissement en éclosure s'est révélé très lent, puisqu'il a fallu 30 à 40 jours aux juvéniles pour atteindre une longueur d'environ 4 cm. Un essai de grossissement en cage dans la mer, réalisé en novembre 2008, s'est révélé plus probant, puisque les juvéniles



Figures 1 à 4 : Juvéniles élevés en éclosure (A), petits juvéniles (B), plongeur près d'une cage expérimentale (C) et juvéniles après 20 jours en cage (D)

ont atteint la même longueur en moitié moins de temps, avec un taux de survie de 80 pour cent. De nouvelles études sont réalisées pour établir la densité de stockage adéquate et la possibilité de conserver les juvéniles dans ces cages jusqu'à leur maturité.

### Informations diverses communiquées par Poo Sze

#### Nukualofa, Tonga

Source : [http://www.matangitonga.to/article/tonganews/economy/tonga\\_sea\\_cucumber\\_220908.shtml](http://www.matangitonga.to/article/tonganews/economy/tonga_sea_cucumber_220908.shtml)

Le Directeur adjoint du ministère de la Pêche, 'Ulunga Fa'anunu, a confirmé aujourd'hui qu'après 11 ans de fermeture les Tonga allaient de nouveau autoriser la pêche des holothuries, en la limitant cependant à six mois par an.

Le ministère a délivré à neuf sociétés locales des licences les autorisant à pêcher l'holothurie à Tongatapu, Vavau et Haapai; pour l'essentiel les prises seront exportées vers l'Asie, et notamment vers Hong Kong.

Le Directeur adjoint a déclaré que le Conseil des ministres des Tonga avait, en juillet 2008, adopté une nouvelle réglementation relative à la gestion des pêcheries (préservation de la ressource) et levé l'interdiction de la pêche des holothuries d'avril à septembre, tout en la maintenant pour les six mois restants, du 1<sup>er</sup> octobre au 31 mars, pendant la saison de la reproduction.

En 1997, face à la surexploitation des holothuries, les Tonga en avaient interdit la pêche; cette mesure de protection de l'espèce a permis à la ressource de se reconstituer au fil des ans.

M. Fa'anunu a expliqué qu'il avait été tenu compte de la situation actuelle de l'économie du pays au moment de décider de rouvrir la pêche, activité susceptible de renforcer les exportations nationales, sachant que la pêche restera interdite une partie de l'année pour en assurer la viabilité à long terme.

#### L'Île Maurice va réglementer la pêche des holothuries

Port-Louis — 27/08/2008

Port-Louis, Île Maurice — L'agence PANA (Panafrique News Agency) a appris de source officielle que le Ministère mauricien de l'agroindustrie et de la pêche s'appropriait à promulguer une série de lois destinées à réglementer la pêche des holothuries. Un représentant du ministère a déclaré mardi soir que cette décision avait pour objectif de garantir la viabilité à long terme de l'exploitation de la ressource. « Aux termes de la nouvelle réglementation, toute personne souhaitant pêcher l'holothurie devra solliciter une autorisation écrite auprès du Ministère de l'agroindustrie », a-t-il expliqué. Il a ajouté que la pêche des holothuries, couramment appelées *bambara*, serait interdite chaque année du 1<sup>er</sup> au 31 mars afin de permettre la reproduction de l'espèce. Mets très apprécié en Chine, l'holothurie est également appelée concombre de mer à cause de sa forme, et on lui prête des propriétés aphrodisiaques. L'holothurie est un animal allongé à la peau rugueuse que l'on trouve sur les fonds marins du monde entier.

#### Étude de la faisabilité de la polyculture de l'huître creuse du Pacifique et de l'holothurie *Parastichopus californicus*

Équipe de recherche : Chris Pearce - Service canadien des pêcheries et des océans (DFO), Debbie Paltzat - Université de Colombie-Britannique (UBC), Penny Barnes - Centre de recherche sur les coquillages (CSR), Scott McKinley (UBC). Pour plus d'informations, contacter Chris Pearce, [PearceC@pac.dfo-mpo.gc.ca](mailto:PearceC@pac.dfo-mpo.gc.ca). Présenté par le Programme de recherche et de développement en collaboration dans le domaine de l'aquaculture (ACRDP) du DFO.

La croissance et la production d'holothuries *Parastichopus californicus* dans le cadre d'un élevage d'huîtres creuses du Pacifique (*Crassostrea gigas*) en position suspendue, ont fait l'objet d'une étude de 12 mois en Colombie-Britannique sur deux sites d'élevage d'huîtres en position suspendue en eaux profondes. Le taux de biodéposition de l'huître (fèces et pseudofèces) et l'utilisation de cette matière comme aliment par *P. californicus* ont également été étudiés.

En avril et juillet 2004, on a observé des pics dans les taux de sédimentation (93,6 g/m<sup>2</sup>/jour (poids sec)) pour une profondeur de 8,5 m. Sur les deux sites étudiés, les flux moyens maximum de carbone total dans les pièges à sédiments à 8,5 mètres de profondeur ont été mesurés en juillet 2004 et s'élevaient à 3 123 et 4 150 mg de C/m<sup>2</sup>/jour (poids sec). Les flux moyens maximum d'azote total sur les deux sites s'élevaient à 633 et 441 mg de N/m<sup>2</sup>/jour et ont été observés respectivement en juillet et novembre 2004. Les rapports moyens C/N des particules présentes dans les échantillons prélevés dans les pièges à sédiments des deux sites étaient compris entre 5,93 et 8,39, ce qui correspond à une valeur nutritive élevée.

Les holothuries élevées dans des bacs sur les deux sites sont parvenues à utiliser les biodépôts engendrés par les huîtres d'élevage et ont enregistré une augmentation moyenne de 42,9 g de leur poids sur une période d'environ 12 mois (les taux de croissance moyens pour les deux sites oscillent entre 0,061 et 0,158 g jour<sup>-1</sup>). La croissance globale a été affectée par l'absence de viscères et l'arrêt de l'activité trophique en novembre 2004 au cours de la période de prélèvement des échantillons. Les teneurs moyennes en matières organiques étaient nettement plus élevées dans le tube digestif antérieur des holothuries (233,0 mg g<sup>-1</sup> de sédiment sec) que dans les sédiments eux-mêmes (64,3 mg g<sup>-1</sup> de sédiment sec) ou dans le tube digestif postérieur (142,8 mg g<sup>-1</sup> de sédiment sec), ce qui démontre à la fois une sélection active des matières organiques dans les sédiments, et leur digestion/assimilation dans le tube digestif. Les matières organiques déposées dans les bacs ont été assimilées par *P. Californicus* avec une efficacité moyenne de 48,4 pour cent.

La bonne utilisation par les holothuries des biodépôts produits naturellement par les huîtres d'élevage tend démontrer la faisabilité d'une structure d'élevage mixte à l'échelle commerciale, qui permettrait de réduire le volume des dépôts organiques sous les élevages de coquillages, tout en assurant une récolte de rapport secondaire.

# Résumé et nouvelles publications

## Résumés des articles présentés lors de la 13e Conférence internationale sur les échinodermes, Université de Tasmanie, Hobart (Australie)

### Les marqueurs mitochondriaux révèlent de nombreux complexes d'espèces et la non-monophylie des holothuries aspidochirotides

François Michonneau,<sup>1</sup> Sun Kim,<sup>2</sup> Kris Netchy,<sup>1</sup> John Starmer,<sup>1</sup> Sarah McPherson,<sup>1</sup> Chelsey A. Campbell,<sup>1</sup> Sarah G. Katz,<sup>1</sup> Laura Kenyon,<sup>1</sup> Julie Zill,<sup>1</sup> Mark O'Laughlin,<sup>3</sup> Alexander M. Kerr,<sup>2</sup> Gustav Paulay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Biology, University of Florida and Florida Museum of Natural History, Gainesville, FL 32611-7800, États-Unis, fmichon@flmnh.ufl.edu

<sup>2</sup> Marine Laboratory, University of Guam, Mangilao GU 96923 USA

<sup>3</sup> Museum Victoria, GPO Box 666E, Melbourne 3001, Australie

Malgré leur présence très marquée sur les récifs coralliens et les millions de dollars que leur exploitation rapporte, les holothuries aspidochirotides ont relativement peu attiré l'attention des taxonomistes. En se fiant trop aux ossicules, on a abouti à une taxonomie confuse, qui masque une grande diversité cryptique. Dans le cadre des travaux réalisés en vue de revenir sur les inexactitudes relatives aux holothuries, nous avons procédé au séquençage de nombreux spécimens d'espèces disponibles, afin de tester les limites des espèces et de formuler des hypothèses phylogénétiques. En nous fondant sur une approche ascendante, nous avons commencé par séquencer les marqueurs mitochondriaux à évolution rapide (16S et COI), étant donné que ces informations sont avant tout intéressantes pour les niveaux taxonomiques inférieurs. Nous avons percé à jour de nombreux complexes d'espèces et identifié plusieurs espèces non décrites. Nos analyses ont par exemple révélé que « l'espèce » circumtropicale *Holothuria impatiens* se compose d'une douzaine de lignées évolutives principales (LEP) bien définies et réciproquement monophylétiques. Un chevauchement de l'aire de répartition de certaines espèces, associé à une divergence récente, dénote la rapide évolution des barrières d'isolation de la reproduction parmi ces LEP. Une évolution aussi rapide qui favorise la coexistence d'espèces sympatriques est également observée pour plusieurs autres complexes d'espèces identifiés par nos soins, et contraste avec celle de la plupart des autres invertébrés marins. À un niveau taxonomique supérieur, les premiers résultats montrent que la non-monophylie des taxa actuellement reconnus prévaut. Les stichopodides émergent des synallactidae paraphylétiques. Alors que les holothurides semblent monophylétiques, *Holothuria* ne l'est pas, parce que plusieurs sous-genres de ce genre divergent fortement. Nous avons soumis de nouvelles hypothèses phylogénétiques, qui améliorent notre compréhension de la spéciation et de l'évolution des caractéristiques des holothuries.

### Étude du transport vertical du sédiment associé à *Holothuria scabra*, à l'aide de traceurs fluorescents

Svea-Mara Wolkenhauer,<sup>1,2</sup> Timothy Skewes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Biodiversity Research, University of Rostock, Universitätsplatz 2, 18055 Rostock, Allemagne

<sup>2</sup> CSIRO Marine & Atmospheric Research, PO Box 120, Cleveland, QLD 4163, Australie

La présente étude porte sur le transport (mélange) vertical du sédiment associé à la recherche de nourriture et à l'enfouissement de *Holothuria scabra* (holothurie de sable). Pendant six semaines, les animaux ont été placés dans des aquariums dotés d'un écoulement constant d'eau de mer. La gangue sédimentaire (12 cm) a été entièrement marquée à l'aide de trois particules traçantes de couleurs différentes. Une maille d'échantillonnage a été établie et des carottes de sédiments ont été aléatoirement extraites après 1, 10 et 56 jours. Les carottes ont ensuite été coupées en morceaux de 2 cm et les traceurs des sous-échantillons de chaque morceau ont été examinés à l'aide d'un microscope fluorescent. Les résultats obtenus ont été utilisés pour calculer les taux de mixité instantanés de la couche de surface, ainsi que le déplacement global du sédiment dans l'ensemble de la gauge sédimentaire. L'étude a montré que l'holothurie de sable n'affecte pas le sédiment sur plus de 6 cm. Après 56 jours, approximativement 14 pour cent du sédiment de surface s'étaient déplacés vers des couches plus profondes, soit un taux de mixité instantané de 0,25 pour cent par jour, ce qui signifie que, tous les 400 jours, l'holothurie de sable (à une densité naturelle de 0,48 individus par m<sup>2</sup>) peut déplacer les

deux premiers centimètres. Par ailleurs, à partir de la population des holothuries de sable de la baie de Moreton, on a pu extrapoler des données relatives à la bioturbation : dans des conditions estivales, 33,4 tonnes de sédiments seraient ainsi déplacées chaque jour, dans la baie, par leur population (3,6 millions). L'holothurie de sable retourne le sédiment grâce à l'association de deux mécanismes : le déploiement (diffusion) et les mouvements ascensionnels de la circulation thermohaline. Un nouveau mode fondé sur les groupes fonctionnels existants de bioturbateurs est donc proposé : les « transporteurs diffuseurs ». Sur le plan écologique, les holothuries jouent un rôle très important pour les herbiers subtropicaux. Toutefois, elles sont deux fois moins efficaces que d'autres grands bioturbateurs, comme les polychètes.

### Cycles quotidiens et saisonniers du comportement de l'holothurie d'intérêt commercial *Holothuria scabra*

Svea-Mara Wolkenhauer,<sup>1</sup> Timothy Skewes,<sup>2</sup> Matthew Browne,<sup>3</sup> Doug Chetwynd<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Biodiversity Research, University of Rostock, Universitätsplatz 2, 18055 Rostock, Allemagne

<sup>2</sup> CSIRO Marine & Atmospheric Research, PO Box 120, Cleveland, QLD 4163, Australie

<sup>3</sup> CSIRO Mathematical and Information Sciences, PO Box 120, Cleveland Qld 4163, Australie

La présente étude a examiné et modélisé les cycles quotidiens et saisonniers à long terme du comportement de l'holothurie adulte *Holothuria scabra* de la baie de Moreton (Australie). Pendant deux années, les invertébrés ont été placés dans des bassins extérieurs et leur comportement a été observé tous les mois, sur une durée de 24 heures, au moyen d'une vidéo en accéléré. Les traits comportementaux ont été classés en huit catégories et divers modèles binomiaux conditionnels emboîtés (modèles linéaires généralisés) ont été appliqués pour décrire la probabilité que de grands traits comportementaux se produisent. Les comportements actifs, comme la recherche de nourriture et l'alimentation, ont été corrélés négativement à la température de l'eau et étaient près de cinq fois plus fréquents en été (environ 16 heures par jour) qu'en hiver (environ 3 heures par jour). En été (décembre – février), les holothuries sont moins susceptibles de s'enfouir, et pendant un mois au moins, elles ne s'enfouissent pas du tout. Quelle que soit la saison, la probabilité que les holothuries demeurent inactives aux petites heures de la matinée, vers 5 heures, est de 80 pour cent. Quelle que soit l'heure du jour, au milieu de l'hiver (juillet – août), la probabilité que ces invertébrés soient entièrement enfouis est de 50 pour cent. L'activité de recherche adopte un schéma bimodal : les animaux passent plus de temps à rechercher en automne et au printemps (environ deux heures par jour), qu'en été (à peu près une heure par jour) ou en hiver (environ 20 minutes par jour). Pour concevoir des systèmes de gestion des ressources halieutiques et des projets d'aquaculture durables, il est essentiel de décrire les caractéristiques comportementales de l'holothurie, notamment en réalisant un tableau des probabilités relatif au comportement actif et à la fréquence d'enfouissement. Les principales conclusions de cette étude fournissent des informations sur les périodes optimales pour conduire des recensements de population. Elles peuvent également s'appliquer aux fonctions générales des holothuries tropicales dans l'écosystème.

### Évaluation des techniques de marquage d'*Australostichopus (Stichopus) mollis* (Hutton, 1872) dans la perspective d'un élevage intensif

Niki Davey,<sup>1</sup> Graeme Moss,<sup>2</sup> Phil James,<sup>2</sup> Jeanie Stenton-Dozey<sup>3</sup>

<sup>1</sup> NIWA (National Institute of Water and Atmosphere Research LTD, 217 Akersten Street, Port Nelson, Nouvelle-Zélande).

<sup>2</sup> NIWA (National Institute of Water and Atmosphere Research LTD, Mahanga Bay, Wellington, Nouvelle-Zélande).

<sup>3</sup> NIWA (National Institute of Water and Atmosphere Research LTD, 10 Kyle St, Christchurch, Nouvelle-Zélande).

L'holothurie *Stichopus mollis* est un habitant benthique commun des eaux côtières de Nouvelle-Zélande et est souvent présente en abondance en dessous des élevages de moules. Étant donné que *S. mollis* est un produit d'exportation lucratif sur les marchés asiatiques, l'élevage intensif de cette holothurie sous des fermes mytilicoles pourrait représenter un investissement intéressant. Si l'on veut évaluer le potentiel de l'élevage intensif de cette holothurie, la première étape consiste à savoir si les holothuries d'élevage qui étaient placées à un moment donné sous une ferme mytilicole demeurent en place, en vue d'une récolte ultérieure. Pour déterminer la durée de présence sous les fermes, nous avons posé et récupéré des marques, ce qui requiert une méthode efficace. En effet, compte tenu de la nature de leur tégument, il est difficile de marquer les holothuries. C'est pourquoi nous avons testé plusieurs méthodes à cet effet, afin de déterminer celle qui présentait le moins de risques de perte de la marque. Sur les six méthodes testées en laboratoire (marquage à froid, micro-sablage, oxytétracycline, marquage à PIT, barres en T et implant visible en élastomère fluorescent), ce sont les barres en T et l'implant qui ont produit les meilleurs résultats après quatre semaines dans les bassins (taux de rétention des marques entre 87 et 93 pour cent). Ces deux procédés ont alors été employés pour évaluer si ces taux de rétention étaient les mêmes en mer et en laboratoire. Quinze holothuries marquées ont été placées dans chacun des quatre bassins, qui présentaient soit un substrat sablonneux, soit un substrat de coquilles de moules. Dans le même temps, en mer, quinze holothuries marquées ont été installées dans chacune des cages, soit sur un substrat sablonneux, soit sur un substrat à base de coquilles de moules. Comme nous supposons que le substrat avait une influence sur le déplacement des holothuries, qui à son tour influe sur le taux de rétention des marques, différents substrats ont été testés. Les résultats ont montré que les holothuries placées dans les cages en mer perdaient beaucoup plus rapidement leur marque que celles situées dans les bassins du laboratoire. Par ailleurs, quel que soit le type de marquage, il semblerait que les pertes soient légèrement plus importantes sur le substrat en coquilles, plus rugueux. Nous avons examiné les incidences de ces résultats sur notre projet de pose et de récupération des marques réalisé dans le but d'évaluer la durée de présence des holothuries sous les fermes mytilicoles.

## Développement de l'holothurie *Holothuria leucospilota*

Yuji Hiratsuka,<sup>1</sup> Tsuyoshi Uehara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus, 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japon, yujihiratsuka@hotmail.com

<sup>2</sup> Tropical Biosphere Research Center, University of the Ryukyus, 3422 Sesoko, Motobu, Okinawa 905-0227, Japon, ueharago@sci.u-ryukyu.ac.jp

Le développement de l'espèce tropicale *Holothuria leucospilota* a été étudié entre novembre et décembre 2007. Cinq individus adultes ont été collectés dans la partie nord de l'île d'Okinawa et conservés dans un aquarium aéré. La reproduction s'est réalisée spontanément, sans stimulation aucune. Les œufs fertilisés sont parvenus au stade blastula 7 heures après leur fécondation à 25° C. Le début du stade gastrula a été atteint au bout de 20 heures. L'éclosion s'est produite au bout de 22 heures. Les larves au stade initial d'auricularia se sont formées au bout de 48 heures. Les diatomées *Chaetoceros gracillius* ont été ajoutées tous les deux jours pendant le stade initial. Six jours après, les larves avaient atteint le stade intermédiaire d'auricularia et présentaient des lobes préoral et postoral, plusieurs paires de protubérances latérales et un ossicule à l'extrémité postérieure. L'auricularia a continué de croître pendant les deux semaines qui ont suivi. À ce stade, les larves ont commencé à accumuler des nodules hyalins à l'extrémité de la partie postérieure et des protubérances latérales. Le stade d'auricularia âgée est atteint après 19 à 21 jours ; les animaux disposent alors de somatocèles gauche et droit, ainsi que d'une hydrocœle. La période de transition entre le stade d'auricularia âgée et le stade doliolaria, qui se caractérise par la résorption totale de toutes les protubérances latérales, a duré plusieurs jours. Les larves ont atteint le stade doliolaria, où elles prennent la forme de tonneaux, en 23 à 25 jours. Afin d'induire la métamorphose, les doliolaria ont été transférées dans une boîte de Petri couverte d'un biofilm. Au bout de 28 jours, les doliolaria étaient parvenues au début du stade pentacula et possédaient cinq tentacules primaires, ainsi qu'un seul podion. Comme les autres espèces congénères, *H. leucospilota* présente un développement planctotrophique aux stades larvaires auricularia, doliolaria et pentacula.

## Caractérisation et rôle de la microflore bactérienne intradigestive chez *Holothuria scabra* (Jaeger, 1833) (Holothuroidea), macrodétritivore majeur des milieux intertidaux récifaux

Thomas Plotieau, Igor Eeckhaut

Laboratoire de Biologie Marine, Université de Mons-Hainaut, Belgique

Pendant longtemps, les holothuries ont été considérées comme des détritivores qui ne sélectionnaient pas leurs aliments. Or, d'après de récentes recherches, elles n'absorbent que les substances nutritives d'une partie du sédiment. Le sédiment est un environnement complexe, associant matières minérales et fragments organiques vivants ou morts (par exemple les micro-organismes tels que les bactéries, les champignons, les protistes et la méiofaune). L'objectif de la présente étude est de caractériser et de déterminer le rôle joué par la communauté microbienne intestinale de *H. scabra* et par le substrat sur lequel elle vit. L'étude de la microflore intradigestive a été réalisée à l'aide de trois méthodes : (i) cultures bactériennes des intestins, suivie du séquençage d'ARNr 16s ; (ii) électrophorèse en gel de gradient dénaturant (DGGE) et (iii) clonage. La numération bactérienne a été obtenue par coloration au DAPI (4',6-diamino-2-phénylindole) et la taille des particules du substrat a été déterminée par tamisage. Les résultats suggèrent que *H. scabra* ne sélectionne pas les particules en fonction de leur taille. Toutefois, le tube digestif antérieur comporte un nombre élevé de bactéries, ce qui indique que les bactéries sont soit sélectionnées à partir du substrat, soit cultivées dans le tube. Il est suggéré que *H. scabra* pourrait ainsi être un détritivore qui ne sélectionne pas ses aliments (à savoir, ingestion de toutes les particules du sédiment sans sélection), mais que les substances nutritives absorbées par l'holothurie proviennent en majeure partie de la fraction vivante du sédiment.

## Détermination du code-barres génétique des espèces commerciales de bêtes-de-mer

Sven Uthicke,<sup>1</sup> Maria Byrne,<sup>2</sup> Chantal Conand<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Australian Institute of Marine Science, PMB No. 3, Townsville MC, Q 4810

<sup>2</sup> University of Sydney

<sup>3</sup> Université de La Réunion

Suite à une étude récemment réalisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 47 espèces d'holothuries utilisées dans le cadre de la production de bêtes-de-mer ont été recensées. À l'exception de trois espèces de l'ordre des dendrochirotes, toutes les espèces de bêtes-de-mer sont des aspidochirotes. L'identification de nombre de ces espèces s'avère difficile. En vue d'améliorer celle-ci, nous avons examiné les informations génétiques disponibles et obtenu de nouvelles données visant à déterminer si le code-barres génétique peut être utilisé comme outil d'identification des espèces de bêtes-de-mer. Nous avons concentré nos efforts sur le gène COI mitochondrial, tout comme d'autres projets du même type que le nôtre. Même si des informations génétiques étaient disponibles pour près de la moitié de toutes les espèces de bêtes-de-mer, on ne disposait d'informations suffisantes et de la réplication intraspécifique que pour six espèces seulement. Nous avons obtenu 96 nouvelles séquences de COI : la base de données recouvre désormais la plupart des espèces communes de bêtes-de-mer. Dans la plupart des cas, le COI a permis d'identifier sans ambiguïté les espèces de bêtes-de-mer et, par conséquent, a procuré d'excellents code-barres génétiques. Toutefois, étant donné que ce marqueur n'a pas fonctionné pour deux des espèces de plus grande valeur, il faudra élaborer d'autres méthodes. Les séquences de COI se sont non seulement révélées utiles pour l'identification des espèces adultes, mais aussi pour celle des juvéniles. Les séquences ont par ailleurs permis de démontrer que les grands

spécimens (épais) et ceux de petite taille (étroits) de *Holothuria atra* appartiennent à la même espèce. Il ressort également de notre étude qu'il est essentiel d'entreprendre davantage de travaux sur la génétique et la taxonomie de ce groupe : les résultats de la présente étude indiquent en effet qu'au moins trois autres espèces restent à décrire (une espèce de *Bohadschia* notamment) et que certaines espèces pourraient constituer des espèces distinctes dans les océans Indien et Pacifique (comme *H. fuscogilva*).

### Diversité des saponines et leur répartition dans le corps de cinq espèces tropicales d'holothuries de la famille des Holothuriidae

Séverine Van Dyck,<sup>1</sup> Pascal Gerbaux, Patrick Flammang

<sup>1</sup> Université de Mons-Hainaut, Pentagone 2B, Av. Du Champ De Mars, 6, Mons, Belgique

Les holothuries manquent de défenses structurelles en raison de la taille réduite de leur squelette. Pour faire face aux prédateurs, elles sont dotées de molécules qui dissuadent ceux-ci, les saponines, au niveau de leur tégument et de leurs viscères. Les saponines sont des métabolites secondaires dont la structure repose sur les glycosides triterpéniques. L'objectif de cette étude est d'analyser et de comparer les mélanges de saponines de cinq espèces d'holothuries de l'océan Indien : *Actinopyga echinites*, *Bohadschia subrubra*, *Holothuria atra*, *H. leucospilota* et *Pearsonothuria graffei*. La spectrométrie de masse (MALDI-SM et MALDI-SM/SM) a été utilisée pour détecter les saponines et décrire leur structure moléculaire. La CPL-SM et la CPL-SM/SM ont également été employées pour séparer les saponines et, dans certains cas, pour identifier les isomères. Deux parties du corps ont été analysées séparément : le tégument (qui protège l'animal et constitue également son plus grand organe) et les tubes de Cuvier (organe de défense qui peut être expulsé sur les prédateurs en cas d'attaque). Ces deux parties ont été étudiées chez toutes les espèces, à l'exception de *H. atra*, qui ne dispose pas de tubes de Cuvier. Les saponines des holothurides sont généralement réparties en deux catégories : celles non sulfatées du genre *Bohadschia*, et celles sulfatées de tous les autres genres. Les résultats que nous avons obtenus ne corroborent pas complètement cette répartition. En effet, bien que *B. subrubra* dispose uniquement de saponines non sulfatées et qu'*A. echinites* et *H. atra* présentent des saponines sulfatées seulement, *H. leucospilota* et *P. graffei* comportent les deux types de saponines. Le nombre de saponines dans un mélange varie d'une espèce à l'autre, de même qu'entre les différentes parties du corps d'une même espèce. Pour chaque espèce, certaines saponines sont communes à ces deux parties du corps, tandis que d'autres sont spécifiques à un organe.

## Liste des publications de Dr D.B. James sur la bêche de mer

RTD Principal Scientist, Central Marine Fisheries Research Institute, Cochin 37, Sadasiva Metha Street, Sadasiva Nagar, Chennai-600 029, Tamil Nadu, India

1. James D.B. 1967. *Phyllophorus (Phyllophorella) parvipedes* Clark (Holothuroidea), a new record to the Indian seas. Journal of the Marine Biological Association of India 7:325–327.
2. James D.B. 1968. Studies on Indian Echinoderms — 2. The holothurian *Stolus buccalis* (Stimpson) with notes on its systematic position. Journal of the Marine Biological Association of India 8(2):285–289.
3. Alagarswamy K., Lal Mohan R.S., James D.B. and Appukuttan K.K. 1968. Bibliography of the Indian Ocean 1900–1930. A supplement to the partial bibliography. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 4:1–217.
4. James D.B. 1969. Catalogue of echinoderms in the reference collection of the Central Marine Fisheries Research Institute. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 7:51–62.
5. James D.B. and Lal Mohan R.S. 1969. Bibliography of the echinoderms of the Indian Ocean. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 15:1–43.
6. Lal Mohan R.S., James D.B. and Appukuttan K.K. 1969. Bibliography of the Indian Ocean 1931–1961. A Supplement to the partial bibliography. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 11:1–176.
7. Jones S. and James D.B. 1970. On the Stiliferid gastropod in the cloacal chamber of *Holothuria atra* Jaeger. p. 799–804. In: Proceedings of the Symposium on Mollusca, Part 3, 1968. Cochin, India: Marine Biological Association of India.
8. James D.B. 1971. The distributional pattern of the echinoderms of the Indian Ocean and adjacent seas [abstract]. p. 92–93. In: Proceedings of the Symposium on Indian Ocean and Adjacent Seas. Cochin, India: Marine Biological Association of India.
9. James D.B. and Pearse J.S. 1971. Echinoderms of the Gulf of Suez and Northern Red Sea. Journal of the Marine Biological Association of India 11(1&2):78–125.
10. James D.B. 1973. Beche-de-mer resources of India. p. 706–711. In: Proceedings of the Symposium on Living Resources of the seas around India. CMFRI Special Publication. Cochin, India: Central Marine Fisheries Research Institute.

11. James D.B. 1978a. Studies on Indian Echinoderms — 6. Re-description of two little known holothurians with a note on an early juvenile of *Holothuria scabra* Jaeger from Indian Seas. *Journal of the Marine Biological Association of India* 18:55–61.
12. James D.B. 1978b. Studies on the systematics of some shallow water Asterozoa, Ophiurozoa and Holothurozoa of the Indian Seas [Ph.D. thesis]. Visakhapatnam, India: Andhra University.
13. James D.B. 1980. History of echinodermology of Indian Ocean. *Journal of the Marine Biological Association of India* 18(2):298–309.
14. James D.B. 1981a. Studies on Indian echinoderms — 7. On a new family Labidodematidae (Holothurozoa: Aspidochirotridae) with a detailed description of *Labidodemas rugosum* (Ludwig) from the Andamans. *Journal of the Marine Biological Association of India*, 23(1&2):82–85.
15. James D.B. 1981b. Book review — Echinoderms: Present and past. *Journal of the Marine Biological Association of India* 23(1&2):223.
16. James D.B. 1982a. Studies on Indian echinoderms — 11. On *Protankyra tuticorenensis* sp. nov. and other apodus holothurians from the Indian seas. *Journal of the Marine Biological Association of India* 24(1&2):92–105.
17. James D.B. 1982b. Ecology of intertidal echinoderms of the Indian Seas. *Journal of the Marine Biological Association of India* 24(1&2):124–129.
18. James D.B. 1983a. Sea-cucumber and sea-urchin resources. *Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute* 34:85–93.
19. James D.B. 1983b. Research on Indian echinoderms — A review. *Journal of the Marine Biological Association of India* 25(1&2):91–108.
20. James D.B. 1984. Studies on Indian echinoderms — 15. On *Psolus mannarensis* sp. nov. and other Dendrochirotrids from Indian seas. *Journal of the Marine Biological Association of India* 26(1&2):109–122.
21. James D.B. 1985a. Echinoderm fauna of the proposed National Marine Park in the Gulf of Mannar. p. 403–406. In: *Proceedings of the Symposium on Endangered Marine Animals and Marine Parks, 12–16 January 1985, Cochin, India*. Cochin: Marine Biological Association of India.
22. James D.B. 1985b. Ecology of intertidal echinoderms of the Indian seas. Second National Seminar on Marine Intertidal Ecology, Department of Zoology, Andhra University, Waltair, Abstract No. 29.
23. Rao D.S., James D.B., Girijavallabhan K.G., Muthuswamy S. and Najmuddin M. 1985a. Bioactivity in echinoderms. *Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series* 63:10–12.
24. Rao D.S., James D.B., Girijavallabhan K.G., Muthuswamy S., Najmuddin M. 1985b. Biotoxicity in echinoderms. *Journal of the Marine Biological Association of India* 27(1&2):88–96.
25. James D.B. 1986a. The holothurian resources. *Marine Fishery Resources and Management*. CMFRI R & D Series 10:1–4.
26. James D.B. 1986b. Studies on Indian echinoderms — 12. *Holothuria (Acanthotrabeza) pyxis* Selenka, an interesting holothurian from the Andamans. *Journal of the Andaman Science Association* 2(1):31–36.
27. James D.B. 1986c. Studies on Indian echinoderms — 13. *Phyrella fragilis* (Ohshima) (Echinodermata: Phyllophoridae), a new record from the Indian Ocean with notes on its habits. *Journal of the Andaman Science Association* 2(1):37–38.
28. James D.B. 1986d. Zoogeography of the shallow-water echinoderms of Indian seas. p. 569–591. In: P.S.B.R. James (ed.). *Recent advances in marine biology*. New Delhi, India: Today and Tomorrow's Printers and Publishers.
29. James D.B. 1986e. Holothurian toxin as a poison to eradicate undesirable organisms from fish farms. p. 1339–1341. *Proceedings of the Symposium on Coastal Aquaculture, Part 4*. Cochin, India: Marine Biological Association of India.
30. James D.B. 1986f. Quality improvement in beche-de-mer. *Seafood Export Journal*, 18(3):3–10.
31. James D.B. 1987a. Animal association in echinoderms [abstract]. p. 13. In: *Proceedings of the All India Symposium on Aquatic Organisms*. A.V.V.M. Sri Pushpam College, Poondi.
32. James D.B. 1987b. Research, conservation and management of edible holothurians and their impact on the beche-de-mer industry [abstract]. p. 97–98. In: *Proceedings of the National Symposium on Research and Development in Marine Fisheries*. Cochin, India: Central Marine Fisheries Research Institute.
33. James D.B. 1987c. Prospects and problems of beche-de-mer industry in Andaman and Nicobar Islands. p. 110–113. In: *Proceedings of the Symposium on Management of Coastal Ecosystems and Oceanic Resources of Andamans*. Port Blair, India: Andaman Science Association.
34. James D.B. 1988a. Boring and fouling echinoderms of Indian waters. p. 227–238. In: *Marine Biodeterioration*. Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.
35. James D.B. 1988b. Echinoderm fauna of the proposed National Marine Park in the Gulf of Mannar. p. 403–406. In: *Proceedings of the Symposium on Endangered Marine Animals and Marine Parks*. Cochin, India: Marine Biological Association of India.
36. James D.B. 1988c. The enigmatic echinoderms. *Biology Education* 5(2):84–86.

37. James D.B. 1988d. Problems of beche-de-mer industry in Tamil Nadu and recent development in breeding of sea-cucumbers. Paper presented in Workshop on Research and Development in Marine Fisheries of Tamil Nadu, 13–14 September 1988, Madras, India. 5 p.
38. James D.B. 1988e. A review of the holothurian resources of India: Their exploitation and utilization [abstract]. p. 8. Proceedings of the Symposium on Tropical Marine Living Resources. Cochin, India: Marine Biological Association of India.
39. James D.B., Rajapandian M.E., Basker B.K. and Gopinathan C.P. 1988. Successful induced spawning and rearing of the holothurian *Holothuria (Metriatyta) scabra* Jaeger at Tuticorin. Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series 87:30–33.
40. James D.B. 1989a. Beche-de-mer: Its resources, fishery and industry. Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series 92:1–35.
41. James D.B. 1989b. A handbook on Beche-de-mer [in Tamil with English summary]. Issued on the occasion of the Workshop on Beche-de-mer, at Mandapam Camp, 23–25 February 1989. Cochin, India: Central Marine Fisheries Research Institute. 32 p.
42. James D.B. 1989c. Echinoderms of Lakshadweep and their zoogeography. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 43:97–144.
43. James D.B. 1989d. Beche-de-mer resources of Lakshadweep. In: Marine Living Resources of the Union Territory of Lakshadweep – An indicative survey with suggestions for development. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 43:144–149.
44. James D.B. 1989e. Echinoderms [in Tamil]. Tamil Encyclopedia. Thanjavur, India: Tamil University.
45. Lal Mohan R.S., James D.B. and Kalimuthu S. 1989. Mariculture potential in Lakshadweep. In: Survey of Fisheries Potential of Lakshadweep. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 43:243–247.
46. James D.B. 1991a. Echinoderms of the Marine National Park, South Andamans. Journal of the Andaman Science Association 7(2):19–25.
47. James D.B. 1991b. Research, conservation and management of edible holothurians and their impact on the Beche-de-mer industry. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 44(3):648–661.
48. Rao, D.S., James D.B., Pillai C.S.G., Thomas P.A., Appukuttan K.K., Girijavallabhan K.G., Gopinathan C.P., Muthuswamy S. and Najmuddin M. 1991. Bioactive compounds from marine organisms. p. 367–371. Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.
49. James D.B. 1993a. Part III. Sea cucumber culture. p. 33–37. In: Sea weed, sea urchin and sea cucumber. Handbook on Aquafarming, Marine Products Export Development Authority. Cochin, India:.
50. James D.B. 1993b. Sea-cucumbers. Technical Paper presented in the Business Session of INDAQUA 93, MPEDA, Cochin, India. 3 p.
51. James D.B. 1993c. Sea ranching of sea cucumbers. Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series 124:15–17.
52. James D.B., Kathirvel M., Ramadoss K., Chellam A. 1993. The spawning of the holothurian *Actinophyga mauritiana* (Quoy & Gaimard) on board FORV Sagar Sampada. Journal of the Marine Biological Association of India 35(1&2):220–221.
53. James P.S.B.R. and James D.B. 1993. Ecology, breeding, seed production and prospects for farming of sea cucumbers from the seas around India. Fishing Chimes 13(3):24–34.
54. James D.B. 1994a. An annotated bibliography on sea-cucumbers. CMFRI Special Publication 58:1–92.
55. James D.B. 1994b. Holothurian resources from India and their exploitation. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:27–31.
56. James D.B. 1994c. Ecology of commercially important species of holothurians of India. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:37–38.
57. James D.B. 1994d. Zoogeography and systematic of holothurians used for beche-de-mer in India. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:34–36.
58. James D.B. 1994e. A review of the hatchery and culture practiced in Japan and China with special reference to possibilities of culturing holothurians in India. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:63–65.
59. James D.B. 1994f. Report on the resources of commercially important sea cucumbers of Lakshadweep, their exploitation and management. Report submitted to Administration of Lakshadweep.
60. James D.B. 1994g. Improved methods of processing holothurians for beche-de-mer. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:1–75.
61. James D.B. 1994h. Seed production in sea cucumbers. Aqua International 1(9):15–26.

62. James D.B. 1994i. Saving goose that lays golden eggs. *Food Talk* 7(8):19.
63. James D.B. and James P.S.B.R. 1994. A hand book on Indian sea-cucumbers. CMFRI Special Publication 59:1–46.
64. James P.S.B.R. and James D.B. 1994a. Management of the beche-de-mer industry in India. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:17–22.
65. James P.S.B.R. and James D.B. 1994b. Conservation and management of sea-cucumber resources of India. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:23–26.
66. James D.B. and Basker B.K. 1994. Present status of the Beche-de-mer industry in the Palk Bay and the Gulf of Mannar. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:85–90.
67. James D.B. and Ali Manikfan M. 1994. Some remarks on the present status of beche-de-mer industry of Maldives and its lesson for the Lakshadweep. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:101–105.
68. James D.B., Rajapandian M.E., Basker B.K. and Gopinathan C.P. 1994. Breakthrough in induced breeding and rearing of the larvae and juveniles of *Holothuria (Metriatyla) scabra* Jaeger at Tuticorin. In: Rengarajan K. and James D.B. (eds). Proceedings of the National Workshop on Beche-de-mer. Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute 46:66–70.
69. James D.B., Gandhi A.D., Palaniswamy N. and Rodrigo J.X. 1994. Hatchery techniques and culture of sea-cucumber *Holothuria scabra*. CMFRI Special Publication 57:1–40.
70. James D.B. 1995a. Taxonomic studies on the species of *Holothuria* (Linnaeus, 1767) from the seas around India. Part 1. *Journal of the Bombay Natural History Society* 92(1):43–62.
71. James D.B. 1995b. Taxonomic studies on the species of *Holothuria* (Linnaeus, 1767) from the seas around India. Part 2. *Journal of the Bombay Natural History Society* 92(2):190–204.
72. James D.B. 1995c. Animal association in echinoderms. *Journal of the Marine Biological Association of India* 37(1&2):272–276.
73. James D.B. 1995d. Prospects for culture of sea cucumbers in India [abstract]. National Conference on Sustainable Aquaculture, Institute of for Ocean Management, Anna University, Madras.
74. James D.B. 1995e. Recent developments in Indian beche-de-mer industry [abstract]. p. 102. National Symposium on Technology for Advancement in Fisheries and its impact on Rural Development, Department of Industrial Fisheries, Cochin University of Science and Technology.
75. James D.B. and Badrudeen M. 1995. Deep water Redfish – A new resource for the Indian Beche-de-mer industry. *Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series* 137:6–8.
76. James D.B., Lordson A.J. and Ivy W.G. 1995. Reproductive cycle of *Holothuria scabra* Jaeger (Echinodermata: Holothuroidea) from Tuticorin (Gulf of Mannar) [abstract]. p. 10. In: Proceedings of the VII All India Symposium on Invertebrate Reproduction.
77. James D.B. 1996a. Culture of sea cucumbers. *Bulletin of the Central Marine Fisheries Research Institute* 48:120–126.
78. James D.B. 1996b. Part VII. Conservation of sea cucumbers. p. 80–88. In: Menon N.G. and Pillai C.S.G. (eds). *Marine Biodiversity, conservation and management*. Cochin, India: Central Marine Fisheries Research Institute.
79. James D.B. 1996c. Inspection report of Dr. D.B. James FAO Consultant for sea cucumber culture in Laamu Atoll, Maldives from 12<sup>th</sup> to 22<sup>nd</sup> December, 1995. FAO/TCP/MDV/4452. 28 p.
80. James D.B. 1996d. Prospects for the culture of sea cucumbers in India. In: Ramachandran S. (ed). Proceedings of the National Conference on Sustainable Aquaculture, Anna University. 189–199.
81. James D.B. 1996e. Prospects for hatchery and culture of sea cucumbers in India. p. 123–135. In: Proceedings of the Seminar on Fisheries – A Multibillion Dollar Industry, Aquaculture Foundation of India & Fisheries Technocrat Forum, Chennai.
82. James D.B. and Ruparani G. 1996. New resource for the Indian beche-de-mer industry and their management [abstract]. p. 221. Fourth Indian Fisheries Forum, School of Marine Sciences, CUSAT, Cochin.
83. James D.B., Lordson A.J., Ivy W.G. and Gandhi A.D. 1996. Experimental rearing of the juveniles of *Holothuria scabra* Jaeger produced in the hatchery. p. 207–214. In: Paulraj S. (ed). Proceedings of the Symposium on Aquaculture for 2000 AD.
84. James D.B. and Badrudeen M. 1997. Observations on the landings of the sea cucumber *Holothuria spinifera* at Rameswaram by chanku madi. *Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series* 149:6–8.
85. James D.B. 1998a. Sea cucumber hatchery and culture prospects. p. 141–143. In: Proceedings of the Workshop on National Aquaculture Week. Chennai, India: Aquaculture Foundation of India..
86. James D.B. 1998b. On the occurrence of the gastropod parasite *Prostilifer* sp. on the holothurian *Holothuria scabra* Jaeger at Tuticorin. *Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series* 157: 26.
87. James D.B. 1998c. Ecological significance of echinoderms of the Gulf of Mannar. p. 118–128. In: Proceedings of Workshop on Coastal Biodiversity of Gulf of Mannar. Chennai, India: M.S. Swaminathan Research Foundation.

88. James D.B. 1998d. On little known holothurian *Stichopus vastus* Sluiter with notes on other species of *Stichopus* from the seas around India. Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series 158:12–15.
89. James D.B. 1998e. *Holothuria (Microthele) fuscogilva* Cherbonnier, a new record from India with a note on its export potential and processing. Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series 158:15–16.
90. James D.B. 1998f. A note on the growth of the juveniles of *Holothuria scabra* in concrete ring. Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series 154:16.
91. James D.B. 1999a. *Holothuria (Thymioscycia) arenicola* Semper, a rare holothurian from the Gulf of Mannar. Marine Fisheries Information Service Technical and Extension Series 161:15.
92. James D.B. 1999b. Hatchery and culture for the sea cucumber *Holothuria scabra* Jaeger in India. Naga, ICLARM Quarterly, 22(4):12–16.
93. James D.B. 2000a. Sea cucumbers. p. 124–151. In: Pillai V.N. and Menon N.G. (eds). Marine Fisheries Research and Management. Cochin, India: Central Marine Fisheries Research Institute.
94. James D.B. 2000b. The enigmatic echinoderms. p. 19–23. In: Souvenir of Golden Jubilee of Staff Club of Tuticorin Research Centre of CMFRI, Tuticorin.
95. James D.B. 2001. Twenty sea cucumbers from seas around India. Naga ICLARM Quarterly 24(1&2):4–8.
96. James D.B., Asha P.S., Ram Mohan M. and Jaiganesh K. 2002. Culture of sea cucumbers in prawn farms – A take off in technology. p. 5–7. Proceedings of the National Dev. Trans. Fish. Tech. Thoothukudi, India: Fisheries College and Research Institute.
97. James D.B. 2003a. Echinoderm diversity in India. p. 332–340. In: Marine faunal diversity in India. Chennai, India: Marine Biological Station, Zoological Survey of India.
98. James D.B. 2003b. Echinoderms of the Maldives. Records of the Zoological Survey of India, 103 (Parts 1–2):1–5.
99. James D.B. and Nithyananthan M. 2003. Collection, preservation and identification of Echinoderms. p. 341–349. In: Marine faunal diversity of India. Chennai, India: Marine Biological Station, Zoological Survey of India.
100. James D.B. 2004a. Indian Sea cucumbers. p. 1–9. Issued on the occasion of International Conference and Exposition on Marine Living Resources of India for Food and Medicine, 27–29 February 2004.
101. James D.B. 2004b. A bibliography on Indian sea cucumbers. The Fisheries Technocrats Forum, Chennai, Technical Bulletin 2:1–28.
102. James D.B. 2004c. 'Kadal Attai – Oru Kaiyedu' A hand book on beche-de-mer [in Tamil]. Issued on the occasion of Ocean life, food & medicine Expo 2004 by Aquaculture Foundation of India, Chennai. 12 p.
103. James D.B. 2004d. Indian sea cucumbers. Published by TANUVAS, Chennai, M.S. University, Tirunelveli, University of Madras, Chennai, Annamalai University, Chidambaram & Aquaculture Foundation of India, Chennai. 9 p.
104. James D.B. 2004e. Culture possibilities of sea cucumbers in India. p. 97–104. Proceedings of the National Seminar on New Frontiers in Marine Bioscience Research. Chennai, India: National Institute of Ocean Technology.
105. James D.B. 2004f. Lessons to India from Chinese multibillion dollar sea cucumber industry. Fishing Chimes 24(1):135–138.
106. James D.B. 2004g. Captive breeding of the sea cucumber *Holothuria scabra* from India. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 19:20.
107. James D.B. 2004h. Captive breeding of the sea cucumber *Holothuria scabra* from India. p. 385–395. In: Lovatelli A., Conand C., Purcell C., Uthicke S., Hamel S. and Mercier J.F. (eds.). Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO Fisheries Technical Paper No. 463. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
108. James D.B. 2004i. Sea cucumber farming: An eco-friendly practice. Fishing Chimes 24(8):10–21.
109. James D.B. 2005a. Sea cucumber resources of India and their potential for culture. p. 90–101. In: Proceedings of the Ocean Life, Food and Medicine Exposition. Chennai, India: Aquaculture Foundation of India.
110. James D.B. 2005b. Conservation of coral reef fauna and flora in the Gulf of Mannar. p. 34–53. In: Sakthivel M. and Ronald J. (eds). Proceedings of the National Seminar on Rejuvenation and Reclamation of Coral Reefs in the Gulf of Mannar.
111. James D.B. 2005c. Echinoderms of the seas around India [abstract]. p. 14–15. National Seminar on Marine Biodiversity, Centre for Marine Biodiversity, Department of Aquatic Biology and Fisheries, Kerala University, Trivandrum.
112. James D.B. 2005d. Sea cucumbers from India – Strategies for conservation [abstract]. p. 27. National Seminar on Conservation and Valuation of Marine Biodiversity, Marine biological Station, Zoological Survey of India & Indian Society for Ecological Economics, Delhi.
113. Ram Mohan M.K. and James D.B. 2005. An incidence of parasitic infestation in *Holothuria scabra* Jaeger. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 22:38.
114. James D.B. 2006a. Identification of Indian sea cucumbers and culture techniques. p. 20–24. In: Manual for National Training Workshop on Marine Coastal Biodiversity Assessment for Conservation and Sustainable Utilization. Tuticorin, India: Suganthi Devadason Marine Research Institute.

115. James D.B. 2006b. Sea cucumber of Gulf of Mannar. Colour poster issued by Tamil Nadu Forest Department. The Wild Life Warden. Ramanathapuram, India: Gulf of Mannar Marine National Park.
116. James D.B. 2006c. Biosecurity of sea cucumber through integrated farming with shrimp. *Fishing Chimes*, 26(1):18.
117. James D.B. 2006d. Distribution and identification of Indian sea cucumbers. GOMBRT Publication No. 3:40–53.
118. James D.B. 2006e. Kadal Attaikal – Membadu Seivathu vazhi kanudal [in Tamil]. GOMBRT Publication No. 4:40–43.
119. James D.B. 2007a. Conservation and management of sea cucumbers in the Gulf of Mannar Biosphere Reserve [abstract]. p. 74. International Seminar on Gulf of Mannar Biosphere Reserve; An ecological model for biodiversity, conservation, livelihood and sustainability. India: National Biodiversity Authority, Chennai & UNESCO, New Delhi.
120. James D.B. 2007b. Echinoderm biodiversity. p. 56–62. In: Workshop on Biodiversity and Conservation Strategies on the Threatened and Endangered Species of the Gulf of Mannar Marine Biosphere. Tuticorin, India: Fisheries College and Research Institute.
121. James D.B. 2007c. Echinoderms of the west coast of India. *Fishing Chimes* 27(7):19–21.
122. James D.B. 2007d. Common sea cucumbers of the Gulf of Mannar. p. 60–63. In: Capacity building in identification of marine scheduled animals: Training-cum-Information Manual. India: Gulf of Mannar Biosphere Reserve Trust, Ramanathapuram & Suganthi Devadoson Marine Research Institute, Tuticorin.
123. James D.B. 2008a. Diversity of Echinoderms in India. p. 221–230. In: Training manual on GIS and marine biodiversity. Chennai, India: Loyola College.
124. James D.B. 2008b. A field guide for identification of common echinoderms of the Gulf of Mannar. p. 231–253. In: Training manual on GIS and marine biodiversity. Chennai, India: Loyola College.
125. James D.B. 2008c. Indian echinoderms: Their resources, biodiversity, zoogeography and conservation. In: Natarajan et al. Glimpses of aquatic biodiversity. (eds). Rajiv Gandhi Chair Special Publication 7:120–132.
126. James D.B. 2008d. Indian echinoderms: Their resources, biodiversity, zoogeography and conservation [abstract]. p. 41. National Conference on Aquatic Genetic Resources. Lucknow, India: National Bureau of Fish Genetic Resources & Aquatic Biodiversity Conservation Society.
127. James D.B. James. 2008e. Advantages of farming of sea cucumbers in shrimp farms. *Fishing Chimes* 28(8):50.
128. James D.B., Pillai Deepa R. and Pravitha K. 2008. New records of echinoderms from the west coast of India. *Fishing Chimes* 28(9):48.
129. James D.B. 2009. Sea cucumbers from India – Strategies for conservation [abstract]. p. 34–35. Seminar on Current Trends in Marine Science and Technology. Chennai, India: Department of Marine Studies and Coastal Resource Management & Department of Zoology, Madras Christian College.

---

© Copyright Secrétariat général de la Communauté du Pacifique, 2009

Tous droits réservés de reproduction ou de traduction à des fins commerciales/lucratives, sous quelque forme que ce soit. Le Secrétariat général de la Communauté du Pacifique autorise la reproduction ou la traduction partielle de ce document à des fins scientifiques ou éducatives ou pour les besoins de la recherche, à condition qu'il soit fait mention de la CPS et de la source. L'autorisation de la reproduction et/ou de la traduction intégrale ou partielle de ce document, sous quelque forme que ce soit, à des fins commerciales/lucratives ou à titre gratuit, doit être sollicitée au préalable par écrit. Il est interdit de modifier ou de publier séparément des graphismes originaux de la CPS sans autorisation préalable.

Texte original : anglais

Secrétariat général de la Communauté du Pacifique, division Ressources marines, Section Information  
B.P. D5, 98848 Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie  
Téléphone : +687 262000; Télécopieur : +687 263818; Courriel : cfpinfo@spc.int  
Site Internet : <http://www.spc.int/coastfish/Indexf/index.html>