

Caractéristiques minérales et organiques des sédiments des enclos d'élevage d'*Holothuria scabra* (Holothuroidea, Echinodermata)

Thomas Plotieau¹, Gilles Lepoint², Jean-Marc Baele³, Gaëtan Tsiresy⁴,
Richard Rasolofonirina⁴, Thierry Lavitra⁴ et Igor Eeckhaut^{1,4,*}

Résumé

Les propriétés minérales et organiques des sédiments des enclos d'élevage d'*Holothuria scabra* à Madagascar sont caractérisées pour la première fois dans cette étude réalisée dans quatre villages du sud-ouest de l'île, où le taux de croissance des holothuries s'établit à 0,5-2,1 g jour⁻¹. Les résultats montrent que les sédiments présents à Tampolove, où le taux de croissance de *H. scabra* est le plus rapide des quatre villages étudiés, présentent la plus forte proportion de sable fin, la plus importante concentration de protéines et la numération bactérienne la plus élevée. À l'inverse, la proportion totale de carbone organique et la valeur de $\delta^{15}\text{N}$ dans les sédiments de Tampolove sont les plus faibles des quatre villages.

Introduction

Holothuria scabra est un détritivore dont le taux de croissance peut atteindre, selon les estimations, des valeurs de 0,2–0,9 g jour⁻¹ (Hamel et al. 2001). Comme les autres holothuries, *H. scabra* extrait les nutriments nécessaires à sa croissance du sédiment présent sur le fond marin. En revanche, on ne connaît guère la composition minérale et organique des sédiments dont elle se nourrit. Il est donc important pour l'élevage d'en déterminer les caractéristiques, car la qualité du sédiment pourrait en partie expliquer les variations du taux de croissance en exploitation. Schneider et al. (2011) ont récemment montré que les holothuries influent sur l'alcalinité des eaux dans lesquelles elles évoluent en digérant les carbonates des sédiments, ce qu'avait déjà constaté Hammond (1981). L'élevage des holothuries en mer est pratiqué depuis 2008 dans quatre villages disséminés sur 200 km du littoral sud-ouest de Madagascar. Un suivi a été mis en place afin de comparer les taux de croissance de *H. scabra* dans les enclos des quatre villages (Tsiresy et al. 2011). L'étude présentée ici visait à déterminer les caractéristiques minérales et organiques des sédiments présents dans les enclos où est cultivée *H. scabra* dans le sud-ouest du pays. Comme c'est la première fois que les caractéristiques des sédiments ingérés par *H. scabra* sont étudiées de manière détaillée, ces travaux pourront servir de référence à toute personne désireuse d'élever ces espèces en enclos.

Matériel et méthodes

Un suivi de la croissance des holothuries a été réalisé dans quatre villages situés à proximité de Toliara, dans le sud-ouest de Madagascar, de mai 2009 à octobre 2010. L'un des villages, Saradrano, se trouve au sud de Toliara, tandis que les trois autres (Andrevo, Fiherenamasay et Tampolove) sont situés au nord (figure 1).



Figure 1. Situation des quatre villages du sud-ouest de Madagascar où l'élevage intensif des holothuries fait l'objet d'un suivi depuis 2009.

¹ Laboratoire de biologie des organismes marins et biomimétisme, Université de Mons, B-7000 Mons, Belgique

² Laboratoire d'océanologie, Université de Liège, B6 Sart Tilman, B-4000 Liège, Belgique

³ Géologie fondamentale et appliquée, Université de Mons, B-7000 Mons, Belgique

⁴ Unité de recherche en polyaquaculture, IHSM, Université de Toliara, 601 Toliara, Madagascar

* Auteur à contacter : igor.eeckhaut@umons.ac.be

Comme les juvéniles d'holothuries étaient dispersés dans les enclos, la densité constatée au début des travaux s'établissait à 2 ind. m⁻² au maximum (voir Eeckhaut et al. 2009 et 2012, au sujet du développement des juvéniles avant l'élevage), soit la densité recommandée par Lavitra et al. (2010). Les résultats du suivi de la croissance sont détaillés dans Tsiresy et al. (2011), à l'exception de ceux concernant Tampolove. Le taux de croissance journalier était de 2,1 g à Tampolove, 1,7 g à Andrevo, 1,5 g à Sarodrano et 0,5 g à Fiherenamasay.

Échantillonnage

En octobre 2010, des prélèvements ont été effectués dans la couche supérieure (les deux premiers centimètres) du sédiment de surface où s'alimente *H. scabra* dans les enclos des exploitations de chaque village. Les échantillons de sédiment ont été directement conservés à une température de 4 °C, ou conservés dans une solution de paraformaldéhyde 4 % (dans de l'eau de mer filtrée à 0,2 µm), puis entreposés à 4 °C. Une fois à Toliara, une fraction des échantillons non fixés a été utilisée pour quantifier la concentration de chlorophylle *a* provenant des micro-organismes photosynthétiques. Une autre fraction a été séchée au four pendant 48 heures, à une température de 60 °C, en vue d'analyses ultérieures au Laboratoire de biologie des organismes marins et biomimétisme. Ces échantillons secs ont servi à déterminer la granulométrie, la teneur en matière organique, l'abondance des carbonates et la nature des minéraux. Les échantillons fixés en solution de paraformaldéhyde 4 % ont été utilisés pour établir la numération bactérienne.

Analyses de la matière organique et de la composition minérale

Les méthodes utilisées dans cette étude sont expliquées dans Plotieau et al. (2013a). Pour chaque essai, les valeurs moyennes (indiquées à la section Résultats) ont été calculées à partir de cinq répétitions.

La teneur en matière organique a été déterminée par carbonisation. La quantité de bactéries a été estimée au moyen de la technique DAPI (coloration au diamidino-2-phénylindole). La quantité de micro-organismes photosynthétiques dans le sédiment a été estimée d'après

la concentration en chlorophylle *a*. Des analyses des isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) ont été réalisées sur les échantillons de sédiment et sur des holothuries.

Des échantillons de 100 g de sédiment prélevé dans chaque village ont été tamisés, puis pesés pour en déterminer composition granulométrique. Les carbonates ont été enregistrés après dissolution du chlorure d'hydrogène (HCl), et la technique de diffraction des rayons X a permis de déterminer l'abondance de quatre minéraux : le quartz, qui était composé de silice (SiO₂) quasiment pure ; la calcite, qui est le plus stable polymorphe du carbonate de calcium (CaCO₃) ; l'aragonite qui, d'un point de vue thermodynamique, est une forme métastable de carbonate de calcium (CaCO₃) à température et pression normale ; et la calcite magnésienne (Ca,Mg)CO₃, une variété de calcite composée de carbonate magnésien aléatoirement substitué dans une trame désordonnée de calcite. La calcite magnésienne est le biominéral qui constitue l'essentiel du squelette des échinodermes.

Pour les comptages directs par la technique DAPI, la teneur totale en matière organique, les proportions de carbonates et la teneur en chlorophylle *a*, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé ($\alpha < 0,05$) afin de comparer les enclos avec la transformation arcsinus utilisée pour les pourcentages.

Résultats

Les résultats obtenus sont résumés au tableau 1. Les fractions de sable < 500 µm représentent 85 % du poids sec du sédiment prélevé à Tampolove, 73–50 % pour Sarodrano et Andrevo, et moins de 50 % pour Fiherenamasay. Ce village est le seul où le sédiment contenait plus de 25 % de sable d'une granulométrie supérieure à 1 mm. Par comparaison, le sédiment de Tampolove contenait moins de 2 % de particules de cette taille.

Le carbone organique total (COT) dans le sédiment constituait 0,4–2,0 % du poids sec total des échantillons prélevés dans les quatre villages (tableau 1). Le COT des sédiments provenant de Fiherenamasay et de Tampolove présentait des écarts significatifs et différait de ceux des deux autres villages ($P < 0,05$). Le COT le plus élevé a été observé à Sarodrano, suivi par Andrevo et Fiherenamasay. Il est

Tableau 1. Caractéristiques minérales et organiques du sédiment présent dans les enclos d'élevage. Les valeurs les plus fortes sont indiquées en gras, les plus faibles en italique.

	Sarodrano	Andrevo	Fiherenamasay	Tampolove	Moyenne
Taux de croissance	1,5	1,7	0,5	2,1	1,45
Proportion de particules < 500 µm (%)	73	50	43	85	62,7
Carbone organique total (%)	2,0 ± 0,24	1,8 ± 0,26	1,1 ± 0,13	<i>0,4 ± 0,13</i>	1,325
Teneur en protéines (µg µl ⁻¹)	<i>0,015 ± 0,001</i>	0,024 ± 0,01	0,018 ± 0,003	0,049 ± 0,002	0,0265
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	3,1 ± 0,2	2,2 ± 0,5	4,2 ± 0,2	<i>0,9 ± 0,9</i>	2,6
Numération bactérienne (DAPI) (x 10 ⁹)	0,9 ± 0,4	<i>0,7 ± 0,07</i>	0,8 ± 0,1	2,0 ± 0,9	1,1
Concentrations de chlorophylle <i>a</i> (mg g ⁻¹)	6,9 ± 1,1	<i>1,4 ± 0,3</i>	3,3 ± 0,8	4,5 ± 3,7	4
Proportion de carbonate (%)	35 ± 1	48 ± 5	94 ± 2,5	74 ± 0,5	62,75
Calcite magnésienne (%)	9	7	35	16	16,7

surprenant que le COT le plus faible ait été relevé à Tampolove où le taux de croissance de *H. scabra* est le plus fort. La teneur en protéines des sédiments allait de $0,015 \mu\text{g } \mu\text{l}^{-1}$ à $0,049 \mu\text{g } \mu\text{l}^{-1}$ (tableau 1). Seul le sédiment de Tampolove présentait une teneur en protéines significativement différente de celle des autres villages ($P < 0,05$), soit trois fois plus que dans ces trois villages où elle est inférieure à $0,025 \mu\text{g } \mu\text{l}^{-1}$. Le nombre moyen de bactéries observées au moyen de la coloration au DAPI variait entre 7×10^8 et 2×10^9 , le chiffre le plus élevé correspondant au sédiment de Tampolove (tableau 1) qui est nettement supérieur à celui trouvé dans les sédiments d'Andrevo et de Fiherenamasay ($P < 0,05$). En revanche, le nombre de bactéries trouvées dans l'échantillon de Tampolove ne diffère pas de manière significative de celui de Sarodrano, étant donné les écarts-types importants relevés pour ces deux endroits. Notons toutefois que le nombre moyen de bactéries est deux fois plus important à Tampolove. Les concentrations moyennes en chlorophylle *a* se situent entre $1,4 \text{ mg g}^{-1}$ et $6,9 \text{ mg g}^{-1}$ de sédiment (poids humide) (tableau 1), les chiffres les plus élevés ayant été trouvés pour le sédiment de Sarodrano et les plus faibles pour Andrevo.

La figure 2 illustre les moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ obtenues pour les sédiments et les holothuries des quatre villages. Les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ pour les holothuries diffèrent significativement dans les quatre villages, ce qui indique des différences d'alimentation. En revanche, les sédiments présentent des valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ semblables pour les quatre villages, mais des valeurs moyennes très différentes pour $\delta^{15}\text{N}$, ce qui laisse à penser que la teneur en matières organiques apportées par les producteurs primaires varie selon les sédiments.

La proportion moyenne de carbonates, déterminée par attaque acide, s'établit à $35 \pm 1 \%$ du poids humide du sédiment de Sarodrano, $48 \pm 5 \%$ pour Andrevo, $94 \pm 2,5 \%$ pour Fiherenamasay et $74 \pm 0,5 \%$ pour Tampolove. Il est étonnant que la plus importante fraction de carbonates ait été relevée là où la croissance des holothuries est la plus faible.

L'abondance relative des principaux minéraux identifiés (quartz, calcite magnésienne, aragonite et calcite) des deux fractions granulométriques ($>$ et $<$ $500 \mu\text{m}$) pour les quatre villages est illustrée à la figure 3 qui présente le profil minéralogique de chaque exploitation. Le quartz est le minéral le plus important à Sarodrano, Andrevo et Tampolove, quelles que soient les fractions analysées. À Fiherenamasay, le site où la croissance des holothuries est la plus faible, c'est la calcite magnésienne qui prédomine. Dans tous les sites, on trouve davantage de calcite magnésienne que de calcite (sauf dans la fraction $< 500 \mu\text{m}$ à Fiherenamasay où la proportion est la même). La situation observée à Fiherenamasay contraste nettement avec celle des autres villages où le minéral le plus important dans les deux fractions est la calcite magnésienne, suivie par l'aragonite, le quartz et la calcite.

Discussion

Dans un document récent (Plotieau et al. 2013a), nous avons comparé les caractéristiques des sédiments dans les enclos (là où les holothuries se nourrissent) et à l'extérieur des enclos de deux villages après achèvement de six cycles d'élevage. L'échantillonnage destiné à la présente étude a été réalisé un an après ces analyses (Plotieau et al. 2013a). On constate que la composition du sédiment est

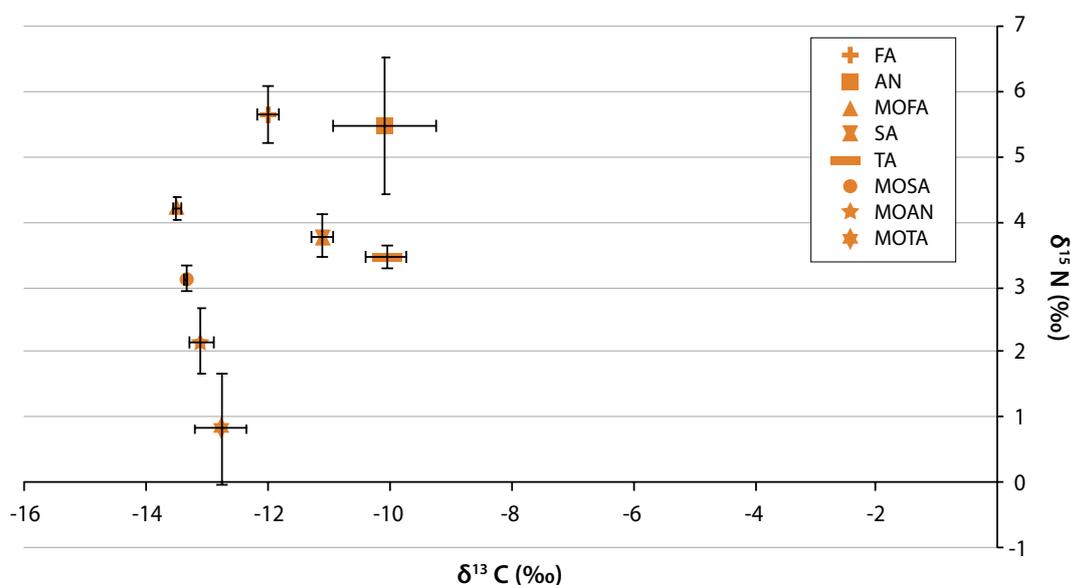


Figure 2. Valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ des holothuries et de la matière organique dans chacun des villages étudiés. TA = holothuries de Tampolove ; AN = holothuries d'Andrevo ; SA = holothuries de Sarodrano ; FA = holothuries de Fiherenamasay ; MOTA = matière organique à Tampolove ; MOAN = matière organique à Andrevo ; MOSA = matière organique à Sarodrano ; MOFA = matière organique à Fiherenamasay.

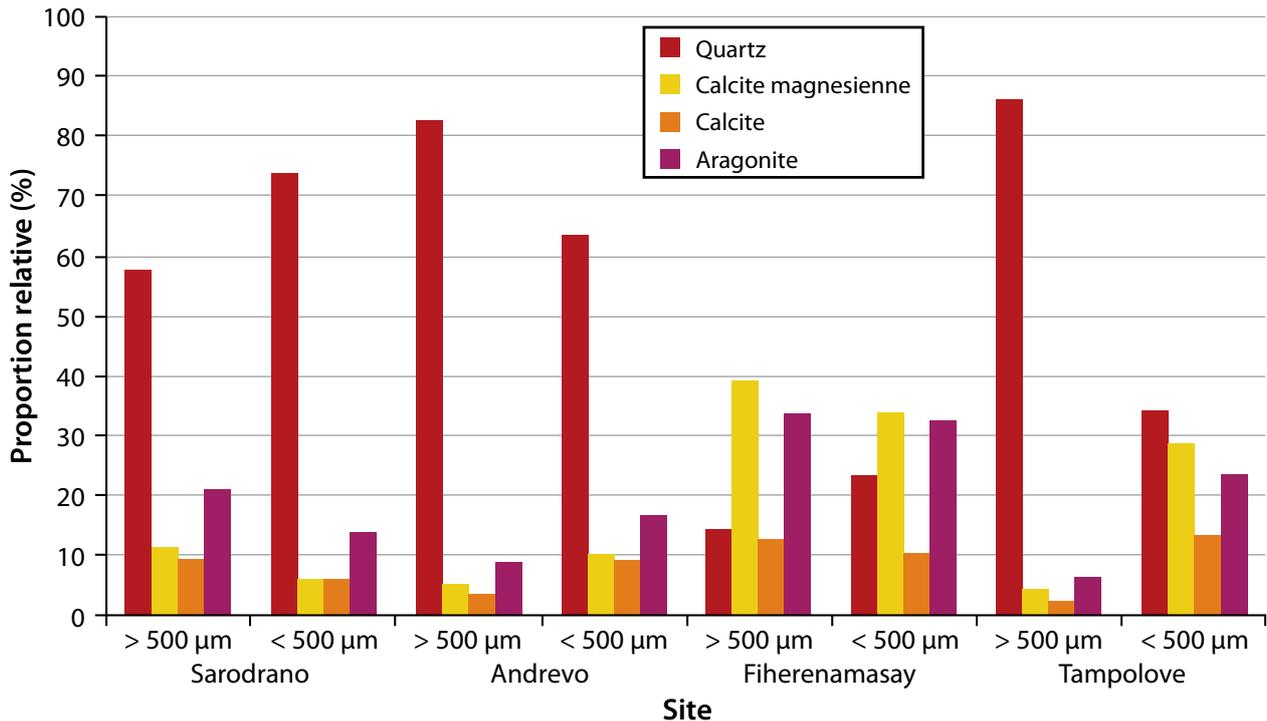


Figure 3. Abondance des principaux minéraux identifiés par diffraction des rayons X dans les deux classes granulométriques de sédiment prélevé dans les quatre villages.

parfois considérablement influencée par l'alimentation des holothuries : la proportion de la fraction granulométrique la plus fine (< 250 µm) est tombée de 14 % à 5 %, la proportion globale de carbonates a diminué de 5 % et le nombre de bactéries a chuté dans des proportions atteignant jusqu'à 50 % (Plotieau et al. 2013a).

Dans ce document, nous donnons des informations sur les valeurs de certains paramètres importants du sédiment dans la fourchette où l'on a observé chez les holothuries une croissance située entre 0,5 g jour⁻¹ et 2,1 g jour⁻¹. Les résultats obtenus dans cette étude sont résumés au tableau 1. Bien qu'aucune corrélation directe ne puisse être établie entre le taux de croissance de *H. scabra* et les caractéristiques du sédiment, la comparaison des différentes exploitations permet de déceler une tendance générale. À Tampolove, où le taux de croissance est rapide, la finesse du sable, la concentration en protéines et la numération bactérienne présentent les valeurs les plus fortes des quatre villages. Toujours à Tampolove, la proportion de COT et la valeur de δ¹⁵N sont les plus faibles. La faible valeur du COT dans ce village indique que la croissance de *H. scabra* n'est pas améliorée par une forte teneur du sédiment en matières organiques. La concentration de COT paraît particulièrement faible, avec une moyenne de 1,325 % pour l'ensemble des exploitations, le reste étant constitué par les minéraux.

La faible valeur de δ¹⁵N semble indiquer que la matière organique est essentiellement constituée de producteurs primaires, vivants et morts. Les analyses isotopiques révèlent des différences dans la nature globale de la matière organique dont se nourrissent les holothuries : la valeur de δ¹³C est semblable dans les quatre villages, tandis que celles de δ¹⁵N diffèrent. Les variations de δ¹⁵N

laissent à penser que les organismes morts présents dans la matière organique ne se situaient pas au même niveau de la chaîne trophique lorsqu'ils étaient en vie. En outre, les résultats portent à croire que la matière organique des sédiments de Tampolove comprend une forte proportion de producteurs primaires, par opposition à Fiherenamasay où la matière organique contient des fragments d'organismes provenant d'un niveau plus élevé de la chaîne trophique. Cette situation pourrait s'expliquer par la présence d'importantes populations d'ophiurides (*Ophiocoma scolopendrina*), à une densité de > 3 ind. m⁻² à Fiherenamasay (obs. pers.), mais pas dans les trois autres villages. Une fois morts, ces organismes pourraient grandement contribuer à la formation de matière organique, une hypothèse appuyée par la forte proportion de calcite magnésienne trouvée dans le sédiment, étant donné que le squelette des échinodermes est constitué de calcite magnésienne.

Les résultats obtenus ont parfois un faible degré de cohérence. La concentration en chlorophylle *a* ne correspond pas parfaitement aux résultats des analyses isotopiques. Cela pourrait être dû au fait que la concentration en chlorophylle *a* est corrélée avec les producteurs primaires vivants, tandis qu'une faible valeur de δ¹⁵N pourrait indiquer que la matière organique est composée de producteurs primaires morts ou vivants. Les concentrations en protéines sont elles aussi différentes selon que l'on examine les numérations bactériennes ou les concentrations de chlorophylle *a* des quatre exploitations. Nous supposons que cela tient au fait que la concentration en protéines prend en compte l'ensemble des micro- et des macroorganismes (tels que les nématodes) présents dans un échantillon et qu'elle peut donc être différente de la concentration d'une catégorie donnée d'organismes, dans ce cas les bactéries ou les producteurs primaires. Nous constatons

cependant que la plus forte concentration en protéines a été observée à Tampolove où l'on a également enregistré le taux de croissance le plus élevé et la concentration bactérienne la plus forte (voir Plotieau et al. 2013b au sujet de la composition bactérienne des viscères de *H. scabra*).

Les résultats concernant la fraction minérale montrent de fortes variations du profil minéral d'une exploitation à l'autre, sans que ces variations semblent avoir d'incidences significatives sur la croissance des holothuries. La proportion de quartz varie dans des proportions considérables, de 6 % à 65 %, ce qui indique que la composition minérale dépend des eaux de ruissellement des cours d'eau. Andrevo et Sarodrano reçoivent respectivement les eaux de la Manombo et de l'Onilahy, tandis qu'aucune rivière n'alimente directement Fiherenamasay et Tampolove. C'est notamment à Fiherenamasay que la composition minérale est radicalement différente de celle des autres villages, avec une très faible proportion de quartz et beaucoup plus de calcite et d'aragonite. C'est aussi la seule exploitation établie sur un récif frangeant, celles de Sarodrano et d'Andrevo étant situées dans des lagons protégés par un récif-barrière, et celle de Tampolove dans une baie. Schneider et al. (2011) ont récemment étudié le rôle que pourraient jouer les holothuries dans le maintien de l'équilibre calco-carbonique des récifs coralliens. Lorsqu'ils ingèrent des sables et gravats carbonatés, ces organismes détritiques les transforment dans leur tube digestif, provoquant la dissolution du CaCO_3 . La population d'holothuries a été jugée responsable de près de 50 % de la dissolution nocturne du CaCO_3 . Nous avons montré que la croissance de *H. scabra* demeure satisfaisante, même à de faibles concentrations de CaCO_3 , et qu'elle ne s'améliore pas lorsque les holothuries sont élevées sur des sédiments présentant une forte concentration de composés carbonatés. Comme on le sait, la présence de quartz est souvent associée à celle du feldspath dans lequel la biodisponibilité des ions K, Na et Ca est plus importante, mais il est pour l'heure impossible d'affirmer que la croissance de *H. scabra* est facilitée par la présence de quartz ou de calcite. Des expériences devraient être mises au point en laboratoire, avec des sédiments élaborés sur place, afin d'étudier l'impact réel des minéraux et des composés organiques sur la croissance des holothuries.

Remerciements

Nous souhaitons remercier la Commission universitaire pour le développement et l'Agence malgache de la pêche et de l'aquaculture qui ont financé les missions d'étude à Madagascar. Thomas Plotieau a bénéficié d'une bourse de doctorat du Fonds pour la formation à la recherche dans l'industrie et l'agriculture. Cette étude émane du Centre interuniversitaire de biologie marine et de l'Unité de recherche en polyaquaculture.

Bibliographie

- Eeckhaut I., Lavitra T., Rasolofonirina R., Rabenevanana M.W., Gildas P. et Jangoux M. 2009. 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.
- Eeckhaut I., Lavitra T., Léonet A., Jangoux M. and Rasolofonirina R. 2012. *In-vitro* fertilisation: A simple, efficient method for obtaining sea cucumber larvae year round. p. 40–49. In: Hair C.A., Pickering T.D. and Mills D.J. (eds). Asia-Pacific tropical sea cucumber aquaculture. Proceedings of an international symposium held in Noumea, New Caledonia. ACIAR Proceedings no. 136. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research. 209 p.
- Hamel J.-F., Conand C., Pawson D.L. and Mercier A. 2001. The sea cucumber *Holothuria scabra* (Holothuroidea: Echinodermata): Its biology and exploitation as beche-de-mer. *Advances in Marine Biology* 41:129–231.
- Hammond L.S. 1981. An analysis of grain size modification in biogenic carbonate sediments by deposit-feeding holothurians and echinoids (Echinodermata). *Limnology and Oceanography* 26:898–906.
- Lavitra T., Fohy N., Gestin P., Rasolofonirina R. et Eeckhaut I. 2010. Effet de la température de l'eau sur la survie et la croissance des juvéniles endobenthiques de *Holothuria scabra* (Echinodermata : Holothuroidea) élevés dans des bassins extérieurs. La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 30:25–28.
- Plotieau T., Baele J.M., Vaucher R., Hasler C.A., Koudad D. and Eeckhaut I. 2013a. Analysis of the impact of *Holothuria scabra* intensive farming on sediment. *Cahiers de Biologie Marine* 54:703–711.
- Plotieau T., Lavitra T., Gillan D. and Eeckhaut I. 2013b. Bacterial diversity in the digestive tube of *Holothuria scabra* (Holothuroidea: Echinodermata). *Marine Biology* 160(12):3087–3101.
- Schneider K., Silverman J., Woolsey E., Eriksson H., Byrne M. and Caldeira K. 2011. Potential influence of sea cucumbers on coral reef CaCO_3 budget: A case study at One Tree Reef. *Journal of Geophysical Research* 116 [doi:10.1029/2011JG001755].
- Tsiresy G., Pascal B. et Plotieau T. 2011. Analyse du grossissement d'*Holothuria scabra* exploitée en micro fermes marines (région Sud-Ouest de Madagascar). La Bêche-de-mer, Bulletin d'information de la CPS 31:17–22.