

LA BIODEPOSITION DES MOULES, *MYTILUS EDULIS*, DANS
LE PERTUIS BRETON : INFLUENCE DU CYCLE DE MAREE
ET IMPACT SPATIAL



Elodie KERAMBRUN

Stage Master BOPE 1^è année, du 2 avril au 15 juin 2007

Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Littoraux Anthropisés

(CRELA UMR6217 CNRS-Ifremer-ULR

L'HOUMEAU 17137)

Maître de Stage : Alain Bodoy, chef de projet IFREMER "Approche écosystémique en aquaculture", responsable de l'équipe "écosystèmes aquacoles".

Tuteur de Stage : Frederic Ysnel, maître de conférence à l'université de Rennes 1

Annexe 1 : Présentation de la structure d'accueil

Le Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Littoraux Anthropisés (CRELA) est une Unité Mixte de Recherche (UMR6217) du CNRS, de l'IFREMER et de l'Université de La Rochelle, créée le 1^{er} janvier 2006 grâce à la fusion de deux unités existantes : le Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Marins et Aquacoles (CREMA), Unité Mixte de Recherche (UMR10) du CNRS et de l'IFREMER, créé en 1983 ; le Laboratoire de Biologie et Environnement Marins (LBEM), Formation de Recherche en Evolution (FRE2727) du CNRS et de l'Université de La Rochelle depuis 2004, dont l'origine date de 1993 lors de la création de l'université.

De par son histoire, le CRELA est ainsi implanté sur deux sites distants d'une dizaine de km : l'un à L'Houmeau au nord de La Rochelle où il constitue une entité autonome au sein de la station IFREMER, l'autre au sud de La Rochelle sur le campus universitaire dans deux bâtiments distincts (les sites universitaires se regrouperont dans le futur bâtiment de l'Institut du Littoral fin 2007).

Le CRELA a pour objectif d'étudier la structure et le fonctionnement des écosystèmes littoraux ainsi que la physiologie et l'éthologie des organismes qui s'y développent. Il s'est organisé en quatre équipes de recherche thématiques complémentaires et un atelier transversal à vocation plus méthodologique (étude des marqueurs écologiques).

Annexe 2 : Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mon maître de stage, M. Alain Bodoy, pour m'avoir permis d'effectuer ce stage et de m'avoir encadré tout au long de celui-ci que ce soit lors des sorties en bateaux ou lors de la rédaction du rapport. Je souhaite remercier également James pour nous avoir accordé du temps pour les sorties en mer, même s'il a fallu se lever parfois très tôt. Je remercie aussi vivement M. Jean-Louis Martin de m'avoir aidé à la rédaction du rapport. Je remercie Martine Breret pour m'avoir expliqué la fabuleuse technique de la fluorimétrie. J'ai appris beaucoup pendant ce stage et j'ai été notamment heureuse d'apprendre que je n'avais pas le mal de mer !

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. MATERIELS ET METHODE	2
2.1. Site d'étude.....	2
<i>Positionnement et chronologies des périodes de prélèvement</i>	3
2.2. Etude des flux - piège à particules	4
<i>Mesure des flux de matériel particulaire total, organique labile et réfractaire</i>	5
<i>Mesure des concentrations en chlorophylle et phéopigments par méthodes fluorimétriques</i>	5
2.3. Etude du seston.....	5
2.4. Calcul des hauteurs d'eau et vitesses de courant.....	5
2.5. Analyse statistique des résultats	6
3. RESULTATS	6
3.1 Caractéristiques des stations.....	6
3.2. Influence du cycle journalier de marée sur l'intensité des flux et la nature des particules	7
<i>Intensité des flux</i>	7
<i>Nature des particules</i>	8
3.3. Influence de l'intensité de la marée (coefficient) sur l'intensité des flux et la nature des particules	9
<i>Vitesses de courant</i>	9
<i>Intensité des flux</i>	9
<i>Nature des particules</i>	9
3.4. Impact spatial	9
<i>Intensité des flux et de la matière en suspension</i>	10
<i>Impact sur la nature des particules</i>	11
3.5. Résumé des tests.....	12
4. DISCUSSION	12
4.1. Influence du cycle journalier de marée sur l'intensité des flux et la nature des particules	12
<i>Intensité des flux</i>	12
<i>Nature des particules</i>	13
4.2. Influence de l'intensité de la marée (coefficient) sur l'intensité des flux et la nature des particules	13
<i>Intensité des flux</i>	13
<i>Nature des particules</i>	14
4.3. Impact spatial	14
<i>Impact sur l'intensité des flux et les concentrations en MES</i>	14
<i>Impact sur la nature des particules</i>	14
5. CONCLUSION	15
BIBLIOGRAPHIE	16

1. INTRODUCTION

Les écosystèmes marins côtiers produisent près d'un tiers de la biomasse de notre planète, c'est-à-dire autant que les écosystèmes terrestres ou que les écosystèmes marins hauturiers (Costanza *et al.*, 1997). Ce sont aussi les écosystèmes qui subissent, et sont appelés à subir, les plus fortes évolutions des pressions d'origine anthropique (Scialabba, 1998 ; GESAMP, 2001).

Les Pertuis charentais, principaux bassins conchylicoles français, constituent un très bel exemple d'écosystème exploité. Ils produisent de fortes biomasses d'espèces cultivées comme l'huître, *Crassostrea gigas*, ou la moule, *Mytilus edulis*.L. 1758. Les populations en question sont à l'origine d'une forte demande énergétique (besoins nutritifs), et d'une production conséquente de déchets dans l'écosystème. Avec une production se situant entre 7000 et 9000 tonnes de moules, le Pertuis Breton se place, derrière la baie de l'Aiguillon, au deuxième rang des bassins mytilicoles français. En outre, il fournit la plupart des jeunes moules qui sont élevées en Bretagne et en Normandie, ces régions ne produisant pas de naissain (Dardignac-Corbeil, 2004)

Dans les systèmes naturels, les bivalves jouent un rôle important qui peut influencer sur la diversité, l'abondance et la productivité des organismes à différents niveaux trophiques (Dankers & Zuidema, 1995). Les bivalves ont une incidence sur le flux d'énergie et le cycle de la matière organique au sein de l'écosystème (MPO, 2006). Dans le cas de biomasse élevée, ils peuvent modifier la dynamique et la structure des communautés benthiques et pélagiques (MPO, 2006).

Les moules sont des organismes suspensivores, qui se nourrissent essentiellement de phytoplanctons et produisent des biodépôts sous forme de fèces et pseudofèces. L'agrégation des particules sestoniques en fèces et pseudofèces aura pour conséquence de favoriser la sédimentation de ces particules qui, non agglomérées, n'auraient pas sédimenté. La biodéposition est donc le résultat de deux processus. Tout d'abord, la formation de fèces et de pseudofèces, et ensuite, leur transfert de la phase sestonique vers le sédiment (Martin *et al.*, 1989). Les études sur l'huître ou la moule (Christensen *et al.*, 2003 ; Hartstein et Stevens, 2005 ; Tsuchiya, 1980) ont montré que la conchyliculture peut produire des volumes significatifs de biodépôts, qui peuvent s'accumuler au niveau du sédiment altérant les caractéristiques physiques et chimiques de celui-ci et la structure des communautés benthiques. Ces dépôts, riches en matière organique, peuvent enrichir le milieu (Sornin, 1986)

jusqu'à induire le développement de conditions anoxiques en fonction des conditions locales de dispersion (Hilke *et al.*, 2006 ; Tenore *et al.*, 1973) .

La formation de fèces et de pseudofèces procède essentiellement de mécanismes de nature biologique : filtration, sécrétion de mucus. L'intensité de formation des fèces et des pseudofèces, est sous la dépendance de différents facteurs de nature physiologique et environnementale (température, vitesse de filtration, charge sestonique...) (Martin *et al.*, 1989), induisant une production de matériel particulaire plus ou moins enrichi en matière organique (Tsuchiya, 1980).

L'objectif de ce travail est double (1) mesurer l'intensité de la biodéposition en fonction de paramètres tels que le cycle de marée et l'intensité de cette marée (coefficient) et (2) mettre en relation le phénomène de biodéposition et l'impact quantitatif et qualitatif de celle-ci sur l'environnement.

Stratégie d'étude.

L'intensité de la biodéposition va varier suivant plusieurs paramètres liés, entre autres, à la saison (concentration du phytoplancton) (Sornin *et al.*, 1986) et à la charge en particules sestoniques (Deslous-Paoli *et al.* ; Martin *et al.*, 1989). Elle varie également en fonction du cycle de marée (Josefesen, 1994).

Dans le temps imparti à cette étude, l'intensité de la biodéposition ainsi que l'impact ne peuvent être étudiés en fonction du cycle saisonnier. Les variations d'intensité de biodéposition seront donc étudiées sur un cycle de marée et pour des coefficients de marée variables. L'impact de la biodéposition sera envisagé sur le plan de la dispersion spatiale en effectuant les mesures à des distances environnantes des filières.

L'intensité de la biodéposition sera étudiée par la mesure de flux de particules à l'aide d'un piège à particule placé sous les filières.

L'impact sur l'environnement sera quantifié à travers l'analyse des concentrations en matière en suspension (MES). L'aspect qualitatif sera étudié par l'analyse de paramètres caractéristiques de la « qualité » de la matière organique tels que le pourcentage de phéopigments par rapport aux pigments totaux (Sornin *et al.*, 1983), ou encore la teneur en matière organique labile du seston.

2. MATERIELS ET METHODE

2.1. Site d'étude

Situé entre le littoral du sud de la Vendée et la côte nord de l'île de Ré, le Pertuis Breton couvre une superficie d'environ 300 km² (350 si on y inclut l'anse de l'Aiguillon).

Les fonds situés à l'est (appelés le Peu Breton) sont, pour la plupart, à une profondeur inférieure à 5 mètres par rapport au zéro des cartes marines ; à l'ouest ils se situent autour de 10 mètres, excepté dans la fosse orientale de Chevarache où ils sont supérieurs à 22 mètres et peuvent atteindre 58 mètres. Le Pertuis est largement ouvert au nord-ouest sur le golfe de Gascogne par une ouverture de 10 km et communique au sud avec le Pertuis d'Antioche par le Courreau de La Pallice large de 2 km (figure 1).



Figure 1 : La conchyliculture dans le pertuis breton (IFREMER, 2006)

Traditionnellement, la moule (*Mytilus edulis*) a été mise en élevage sur bouchots dans les zones de balancement des marées. Pendant les dernières années, les zones intertidales pour bouchots ont été exploitées jusqu'à la saturation du Pertuis, en rendant nécessaire l'installation de parcs à filières dans des eaux plus profondes et libres d'occupation. En 1991, un parc de 250 filières de 100 m de long, est immergée dans le Pertuis Breton afin d'accroître la production annuelle du Pertuis. Le parc occupe une surface de 400 hectares (3.5Km x 1.15Km) et il est orienté vers NO. Une filière est composée d'une aussière qui supporte des cordes immergées par des lests. L'ensemble flotte grâce à des bouées et est ancré au fond par de gros corps-morts.

Positionnement et chronologies des périodes de prélèvement.

Trois stations de prélèvements ont été choisies :

- deux sous les filières, une à coefficient de 37 et une à coefficient de 107
- une à 100 m des filières
- une à 400 m des filières

Le tableau 1 montre la position des stations, les dates de mise à l'eau et de récupération du piège ainsi que l'heure à laquelle se place le premier échantillon dans le piège à particules. De même sont rapportés dans ce tableau le coefficient de marée lors de l'étude des flux. En effet comme ceci a par ailleurs été indiqué, l'intensité de la biodéposition peut varier suivant

l'intensité du cycle de marée. Il est à noter qu'au cours de notre étude, même à très fort coefficient (107) les moules ne sont jamais émergées.

Tableau 1 : caractéristiques des prélèvements : position GPS, distance des stations par rapport aux filières, coefficient de marée, date de mise à l'eau et de récupération du piège et sa durée d'immersion.

GPS	lat. N	Station a1		Station a2		Station b		Station c	
	long. O								
		46°16.016'	46°15.996'	46°15.979'	46°15.883'				
		01°20.229'	01°20.224'	01°19.330'	01°19.181'				
distance des filières		sous		sous		100 m		400m	
coefficient		37		107		80		80	
date		12-avr	13-avr	19-avr	20-avr	02-mai	03-mai	03-mai	04-mai
déclenchement		10h30	-	19h	-	15h30	-	9h30	-
mise à l'eau/récupération		9h	10h45	8h15	7h30	15h05	9h30	9h30	9h15
durée d'immersion		25h45		23h15		18h25		23h45	

2.2. Etude des flux - piège à particules

Le piège PPS 4/3 de marque Technicap (figure 2) est un appareil de forme cylindro-conique de 25 cm de diamètre à l'ouverture supérieure et 1,20 m de hauteur, fabriqué en fibre de verre et résine polyester. Son ouverture (figure 2a) est recouverte par une grille en nid d'abeille qui est disposée pour empêcher, ou au moins limiter, le passage des organismes nageurs les plus gros dans le collecteur.

Sous ce cône se trouve un moteur (figure 2b) piloté par un programmeur électronique qui entraîne un plateau circulaire (figure 2c) supportant 12 flacons de 250 ml. Chacun de ces flacons se placera à tour de rôle sous le cône selon la programmation effectuée préalablement avec le logiciel PiègeUSB version 2.06.

Le piège à particules est programmé pour effectuer 12 prélèvements d'une heure chacun, pendant les 12 heures correspondant à un cycle complet de marée. Les flacons recueillant les biodépôts avaient préalablement été remplis d'eau de mer. Le piège a été immergé sous des filières de moules et à des distances de 100 et 400 mètres de l'extrémité de ces filières. Lors de sa mise à l'eau et de sa récupération, la température, l'oxygène, la salinité



Figure 2 : piège à particules – ouverture (a), moteur (b) et plateforme (c)

et la turbidité ont été mesurées. Les flacons, une fois récupérés, ont été placés dans une glacière à 4°C jusqu'à l'analyse effectuée le jour même.

Mesure des flux de matériel particulaire total, organique labile et réfractaire

Les échantillons recueillis dans le piège à particules ont été homogénéisés puis filtrés sur des filtres en fibre de verre Whatman GF/F de maille 0.7 µm, et de 25 mm de diamètre. Les filtres ont été préalablement passés au four à 450°C pendant 1 heure afin de les nettoyer de toute substance organique, puis pesés à la balance Mettler à une sensibilité de 1 µg. La filtration a été effectuée sous vide. Les filtres et les particules recueillies ont ensuite été calcinés à 250°C puis 450°C. Les pesées successives et les calculs adéquats permettent d'obtenir les flux de matériel particulaire total, organique labile et réfractaire en $\text{mg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Mesure des concentrations en chlorophylle et phéopigments par méthodes fluorimétriques

Les échantillons sont filtrés sur un filtre GF/F. Les chlorophylles recueillies sur le filtre sont extraites par l'acétone et mesurées par fluorimétrie. La détermination des phéopigments est faite après acidification avec HCl de l'extrait à l'acétone (Aminot et Kerouel, 2004).

2.3. Etude du seston

Des prélèvements d'eau ont été effectués avec une bouteille à prélèvement Niskin (figure 3) à 1 mètre du fond. Les prélèvements ont été effectués en début et en fin du cycle de marée aux 4 périodes de prélèvements.



Figure 3 : bouteille à prélèvement Niskin

Les mesures des concentrations en matière en suspension totale, organique labile et organique réfractaire ainsi que des concentrations en chlorophylle et phéopigments ont été effectuées comme précédemment décrites pour les mesures de flux.

2.4. Calcul des hauteurs d'eau et vitesses de courant

Les hauteurs d'eau du port de La Rochelle La Palice ont été calculées sur le site <http://www.shom.fr>. Les vitesses de courant ont été obtenues par le modèle hydrodynamique MARS 2D (Le Hir *et al.*, 1991).

La figure 4 synthétise l'ensemble des processus et protocoles mis en œuvre pour l'échantillonnage et les analyses des échantillons.

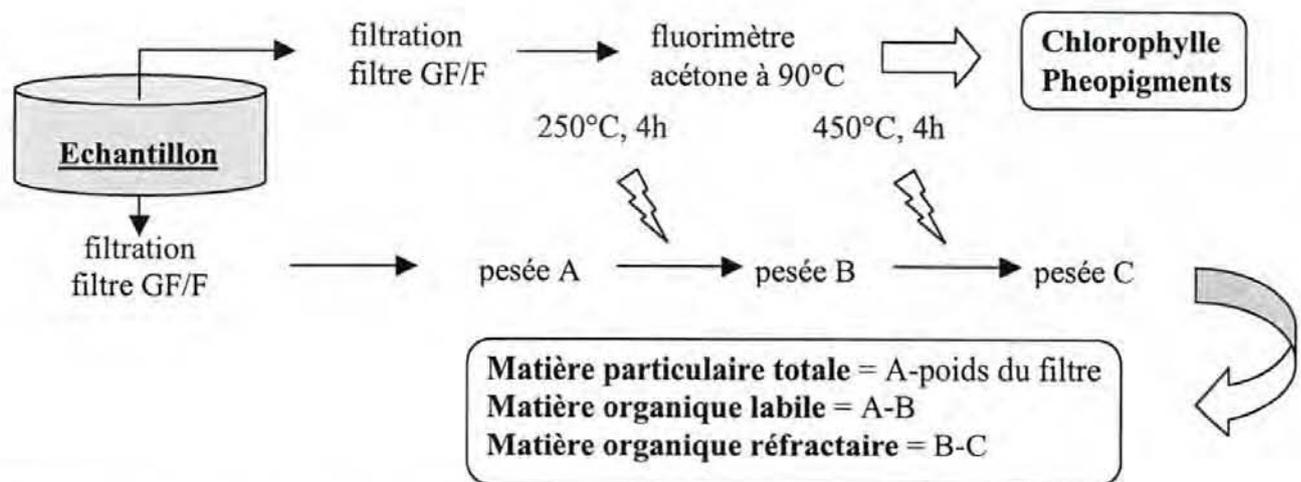


Figure 4 : synthèse des analyses effectuées

2.5. Analyse statistique des résultats

Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel R (Gentlemen & Ihaka, 1996). Les données ne sont pas distribuées normalement, des tests non paramétriques ont donc été utilisés. Les diverses corrélations ont été calculées avec le coefficient de corrélation R de Spearman. Les comparaisons deux à deux des moyennes des flux de matériel particulaire, des pourcentages de matière labile et des pourcentages de phéopigments ont été effectués par le test de Wilcoxon et celles de plus de deux moyennes par le test H de Kruskal-Wallis. Tous nos tests ont été interprétés avec un α de 0,05

3. RESULTATS

3.1 Caractéristiques des stations

Le tableau 2 montre les mesures caractéristiques des stations de prélèvements.

Tableau 2 : température, salinité, oxygène mesurés pendant les 4 périodes de prélèvements lors de la mise à l'eau et de la récupération du piège.

		Station a1		Station a2		Station b		Station c	
GPS	lat. N	46°16.016'		46°15.996'		46°15.979'		46°15.883'	
	long. O	01°20.229'		01°20.224'		01°19.330'		01°19.181'	
distance des filières		sous		sous		100 m		400m	
coefficient		37		107		80		80	
date		12-avr	13-avr	19-avr	20-avr	02-mai	03-mai	03-mai	04-mai
température °C		12,3	13	12,2	11,2	15,9	-	15,7	14,9
salinité %		33,1	32,8	-	-	33,7	-	33,8	33,9
oxygène mg/L		8,28	8,53	8,51	8,54	7,79	-	8,06	8,1

Lors de la période de prélèvements de la station a2, l'échantillon n°12 du piège à particules s'est avéré inexploitable.

3.2. Influence du cycle journalier de marée sur l'intensité des flux et la nature des particules

Intensité des flux

La figure 5 montre l'évolution de l'intensité des flux de matériel particulaire total et la hauteur d'eau au-dessus du piège. Il apparaît que ces flux varient de 340 à 950 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$. Une étude de corrélation entre ces 2 paramètres (figure 6) montre qu'aucune corrélation significative ($p > 0,05$) ne peut être mise en évidence (corrélation de Spearman, $S=202$, $p=0.81$)

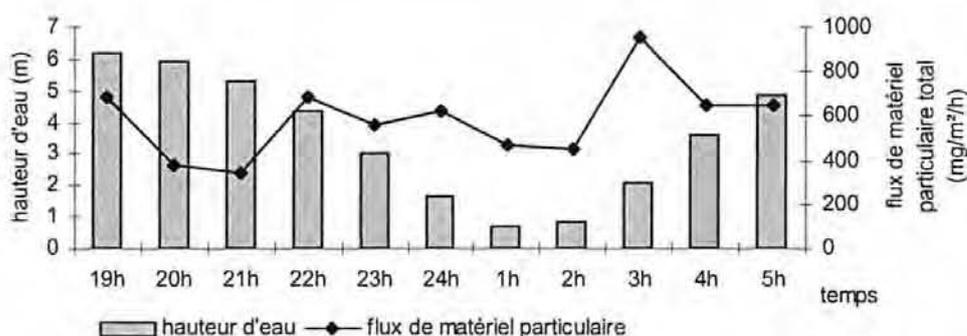


Figure 5 : Evolution des flux de matériel particulaire totale et de la hauteur d'eau à la station a2 (0 m des filières, coefficient de marée de 107).

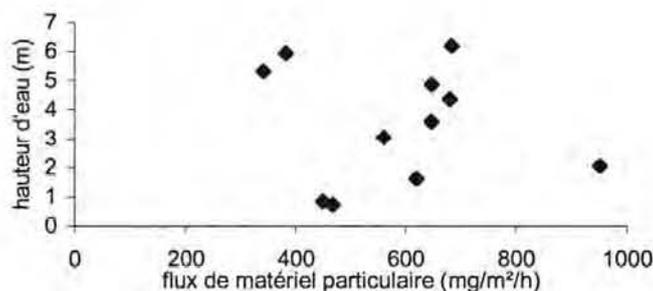


Figure 6 : flux de matériel particulaire en fonction de la hauteur d'eau à la station a2 (0 m des filières, coefficient de marée de 107), (corrélation de Spearman).

La relation entre la vitesse du courant et les flux de matière organique particulaire est montrée sur la figure 7. Il apparaît une liaison statistique ($p < 0,05$) entre ces deux paramètres (corrélation de Spearman, $S = 60$, $p=0.049$).

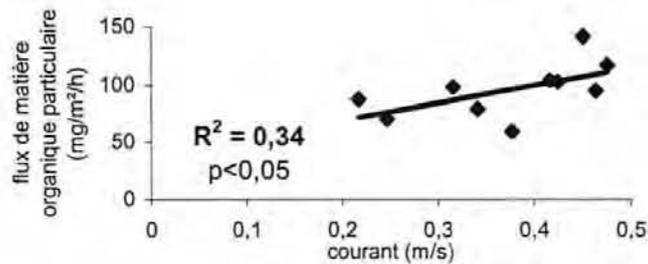


Figure 7 : relation entre les flux de matériel particulaire et la vitesse du courant à la station a2 (0 m des filières, coefficient de marée de 107), (corrélation de Spearman).

Nature des particules

La relation entre les flux de matériel organique particulaire et les pourcentages de matière organique labile dans la matière organique totale est montrée sur la figure 8. Il apparaît une corrélation négative significative ($p < 0,05$) entre ces deux paramètres (corrélation de Spearman, $S=380$, $p=0.015$).

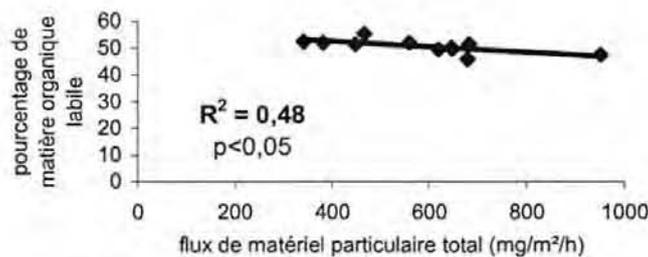


Figure 8 : relation entre les pourcentages de matière organique labile dans la matière organique totale et les flux de matériel particulaire total à la station a2 (0 m des filières, coefficient de marée de 107), (corrélation de Spearman).

La relation entre les flux de matériel organique particulaire et les pourcentages de phéopigments dans les pigments totaux est montrée sur la figure 9. Il apparaît une corrélation positive significative ($p < 0,05$) entre ces deux paramètres (corrélation de Spearman, $S=66.65$, $p=0.017$).

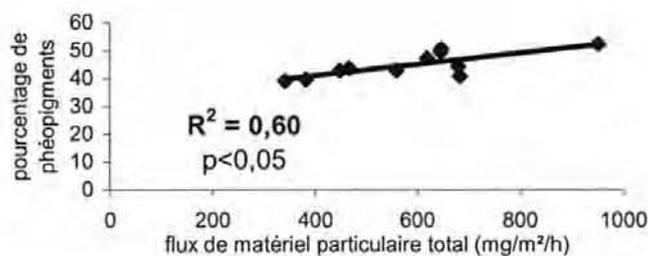


Figure 9 : relation entre le pourcentage de phéopigments dans les pigments totaux et les flux de matière particulaire total à la station a2 (0 m des filières, coefficient de marée de 107),

3.3. Influence de l'intensité de la marée (coefficient) sur l'intensité des flux et la nature des particules

Vitesses de courant

Les vitesses de courant étaient significativement plus fortes ($p < 0,01$) pour un coefficient de 107 (station *a2* : $0,17 \text{ m.s}^{-1} \pm 5,6\text{e-}3$) que pour un coefficient de 37 (station *a1* : $0,14 \text{ m.s}^{-1} \pm 5,5\text{e-}3$); (test de Wilcoxon, $W=190680$, $p < 2.2\text{e-}16$).

Intensité des flux

Les flux de matériel particulaire total étaient significativement plus forts ($p < 0,01$) pour un coefficient de 107 (station *a2* : $584,52 \text{ mg.m}^{-2}.\text{L}^{-1} \pm 101,54$) que pour un de 37 (station *a1* : $41,58 \text{ mg.m}^{-2}.\text{L}^{-1} \pm 26,65$); (test de Wilcoxon, $W=0$, $p=1.47\text{e-}06$).

Nature des particules

La figure 10 montre les pourcentages de phéopigments dans les pigments totaux et ceux de la matière organique labile dans la matière organique particulaire totale suivant le coefficient. Il n'y avait pas de différence significative ($p > 0,05$) entre le pourcentage de phéopigments dans les pigments totaux selon le coefficient (station *a1* : $38,56\% \pm 6,06$ et *a2* : $44,72\% \pm 2,56$), (test de Wilcoxon, $W=36$, $p=0.068$) (figure 10a). Les pourcentages de matière organique labile dans la matière organique totale étaient plus faibles ($p < 0,01$) pour un coefficient de 107 (station *a2* : $50,54\% \pm 1,44$) que pour un de 37 (station *a1* : $56,22\% \pm 4,62$), (test de Wilcoxon, $W=14$, $p=0.00073$) (figure 10b).

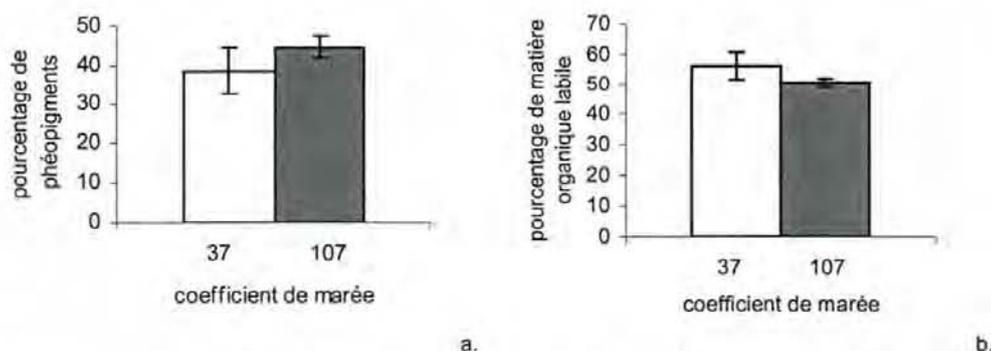


Figure 10 : comparaison de la proportion moyenne de phéopigments (a) et de matière organique labile (b) en fonction du coefficient de marée (station *a1* et *a2*), (intervalle de confiance à 95%).

3.4. Impact spatial

Intensité des flux et de la matière en suspension

La figure 11 montre les différences de flux de matériel particulaire totale en fonction de la distance par rapport aux filières de moules. Les flux de matériel particulaire étaient significativement différents ($p < 0,01$) selon la distance par rapport aux filières (test de Kruskal-Wallis, $H=12.65$, $ddl=2$, $p=0.0017$). Ils étaient significativement plus forts ($p < 0,01$) sous les filières (station a_2 : $584,52 \text{ mg.m}^{-2}.\text{L}^{-1} \pm 101,54$) qu'à 400 m (station c : $376,65 \text{ mg.m}^{-2}.\text{L}^{-1} \pm 27,35$), (test de Wilcoxon, $W=119$, $p=0.00054$). Il n'y avait pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les flux sous les filières (station a_2) et à 100 m (station b : $469,43 \text{ mg.m}^{-2}.\text{L}^{-1} \pm 61,67$), (test de Wilcoxon, $W=91$, $p=0.13$).

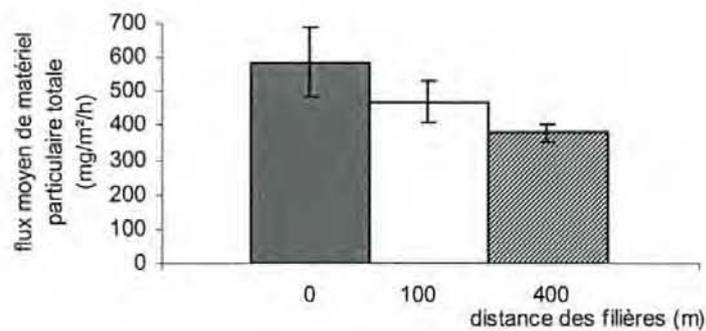


Figure 11 : comparaison des flux de matériel particulaire totale en fonction de la distance par rapport aux filières (stations a_2 , b et c), (intervalle de confiance à 95%).

La figure 12 montre les différences de concentrations en MES en fonction de la distance par rapport aux filières. Ces concentrations en MES n'étaient pas significativement différentes ($p > 0,05$) en fonction de la distance (station a_2 : $43,83 \text{ mg.l}^{-1} \pm 9,99$, station b : $41,84 \text{ mg.l}^{-1} \pm 2,69$ et station c : $35,45 \text{ mg.l}^{-1} \pm 0,36$), (test de Kruskal Wallis, $H=3.42$, $ddl=2$, $p=0.18$).

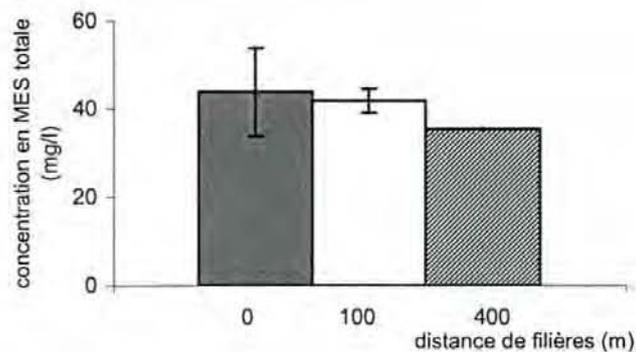


Figure 12 : comparaison des concentrations en MES total en fonction de la distance par rapport aux filières (station a_2 , b et c), (intervalle de confiance à 95%).

Impact sur la nature des particules

La figure 13 montre l'évolution des pourcentages de matière organique labile dans la matière organique totale en fonction de la distance par rapport aux filières. Les pourcentages de matière organique labile étaient significativement différents ($P < 0.05$) suivant la distance par rapport aux filières (test de Kruskal Wallis, $H=20.02$, $ddl=2$, $p=4.49e-05$). Ils sont plus faibles sous les filières (station a_2 : $50,54\% \pm 1,44$) qu'à 100 m (station b : $56,32\% \pm 2,30$), (test de Wilcoxon, $W=14$, $p=0.00073$). Ils sont également plus faibles à 100 m (station b) qu'à 400m (station c : $59,64\% \pm 1,45$, (test de Wilcoxon, $W=37$, $p=0.046$).

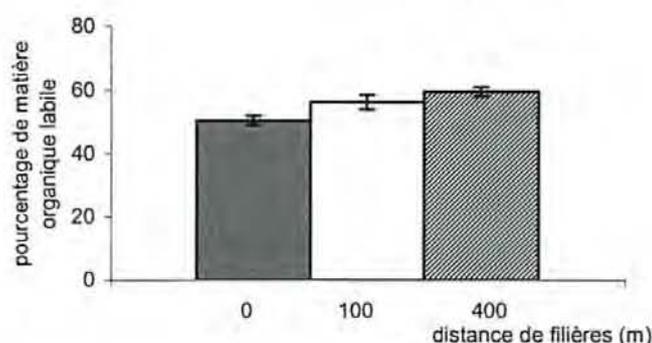


Figure 13 : comparaison des pourcentages de matière organique labile dans la matière organique selon la distance par rapport aux filières (stations a_2 , b et c), (intervalle de confiance à 95%).

La figure 14 montre l'évolution des pourcentages de phéopigments dans les pigments totaux. Les pourcentages de phéopigments étaient significativement différents selon la distance par rapport aux filières (test de Kruskal Wallis, $H=16.6781$, $ddl=2$, $p=0.00023$). Ils étaient plus forts sous les filières (station a_2 : $44,72\% \pm 2,56$) qu'à 400 m (station c : $28,02\% \pm 4,60$; test de Wilcoxon, $W=23$, $p=0.0036$) alors qu'il n'y avait pas de différence significative entre les pourcentages sous les filières (station a_2) et ceux à 100 m (station b : $40,71\% \pm 5,34$), (test de Wilcoxon, $W=90$, $p=0.15$).

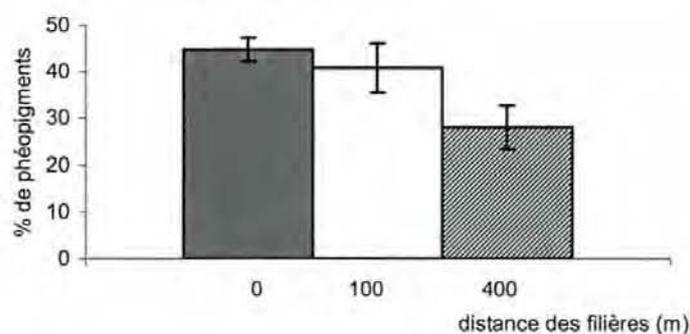


Figure 14 : comparaison des pourcentages moyens de phéopigments dans les pigments totaux en fonction de la distance par rapport aux filières (stations a_2 , b , c), (intervalle de confiance à 95%).

3.5. Résumé des tests

Tableau 4 : *significativité des résultats suivant les paramètres considérés.*

	flux de matériel particulaire	% matière organique labile	% Phéopigment
cycle de marée	oui	oui	oui
coefficient de marée	oui	oui	non
distance	oui	oui	oui

Il apparaît sur ce tableau, que les paramètres de nature quantitative (flux de matériel) ainsi que les paramètres exprimant la nature des particules sestoniques (% de matière organique labile et % de phéopigments) sont corrélés avec les trois variables étudiées : cycle de marée, coefficient de marée, distance des élevages de moule. Seul le pourcentage de phéopigments ne présente pas de corrélation avec le coefficient de marée.

4. DISCUSSION

4.1. Influence du cycle journalier de marée sur l'intensité des flux et la nature des particules

Intensité des flux

Lors des marées, on constate une variation cyclique de la hauteur d'eau. La vitesse du courant est liée à cette hauteur d'eau, le courant de marée changeant de force au fur et à mesure de l'avancement de la marée. La vitesse du courant atteint son maximum au moment du milieu du flot et du jusant et son minimum au moment de l'étale de pleine mer et de basse mer. Lors de notre étude, il existait une relation entre la vitesse du courant et les flux de matériel particulaire au cours du cycle de marée. Les fortes vitesses de courant permettent un brassage des particules autour des filières de moules, ce qui augmente les concentrations sestoniques. Cette augmentation de la charge particulaire des eaux entraîne une augmentation du taux de filtration des moules (Deslous-Paoli et al., 1987). Ce brassage permet également le renouvellement des particules, ce qui augmente la quantité de nourriture disponible pour les bivalves. Les flux de biodépôts sont donc plus forts quand les vitesses de courant sont les plus fortes dans le cycle. De plus, la vitesse du courant va jouer un rôle dans le mélange vertical de la colonne d'eau (Newell *et al.*, 1998) par accroissement de la turbulence. Lorsque les courants de marées sont plus forts, il y a une meilleure probabilité de re-suspension des particules sestoniques (Hartstein *et al.*, 2005). Cette re-suspension du matériel pourrait avoir augmenté la charge particulaire dans les échantillons lors de fortes vitesses de courant. Cette

variation de vitesse du courant au cours du cycle de marée provoque donc une variation des flux de matériel particulaire (Prou *et al.*, 1994).

Nature des particules

La matière organique labile, composée de protéines et peptides, sucres, lipides simples, correspond à la matière organique facilement biodégradable (Turnewitsch *et al.*, 2007). Sa proportion dans la matière organique totale diminuait en fonction des flux de matériel particulaire total tandis que la proportion de phéopigments dans les pigments totaux augmentait. Dans le seston, la teneur en chlorophylle *a* est un indice de la biomasse planctonique vivante (Sornin *et al.*, 1983). La teneur en phéopigments est caractéristique du phytoplancton en voie de dégradation. Il est issu de la dégradation de la chlorophylle. Le pourcentage de phéopigments sera d'autant plus important que le phytoplancton sera plus dégradé (vieillessement, action des bactéries). Nous avons vu précédemment que l'augmentation des flux de matériel particulaire était liée à l'augmentation de la force du courant. Lors de fortes vitesses de courant, il y a une remise en suspension de la matière détritique qui s'était déposé sur le sédiment (Hartstein *et al.*, 2005). Cette matière détritique est essentiellement composée de matière organique réfractaire, difficilement dégradable et de phéopigments. Sa remise en suspension dans la colonne d'eau entraîne donc une diminution de la part labile de la matière organique et une augmentation de la teneur en phéopigments.

4.2. Influence de l'intensité de la marée (coefficient) sur l'intensité des flux et la nature des particules

Intensité des flux

Les flux de matériel particulaire total étaient plus forts pendant la marée de fort coefficient. L'amplitude du courant augmente avec le coefficient de marée. Nous avons vu précédemment que l'augmentation de la vitesse du courant entraîne une augmentation des concentrations sestoniques et donc une augmentation de la production de biodépôts. Pour de forts coefficients de marées, les flux de biodépôts sont donc plus importants et inversement pour de faibles coefficients. Les marées de vives eaux entraînent donc des charges sestoniques plus fortes qu'en mortes eaux, et donc un flux vertical de biodépôts plus fort (Prou *et al.*, 1994). A ceci s'ajoute le mélange vertical de la colonne d'eau par turbulence, qui ralentit la sédimentation, et contribue ainsi à l'augmentation de la charge particulaire dans les échantillons.

Nature des particules

Le pourcentage de matière organique labile diminue lors de marées à fort coefficient. De même que pour ce qui a été observé lors du cycle journalier de marée, il est probable que l'augmentation de l'intensité du courant soit responsable de la variation de nature des dépôts. En effet, on peut supposer que la remise en suspension de matériel de nature détritique est proportionnelle à l'intensité des courants. Il est étonnant que les proportions de phéopigments ne soient pas significativement plus fortes lors de marées de vives eaux (Prou et al. 1994), mais le nombre d'échantillons était peut-être insuffisant pour mettre en évidence un phénomène souvent observé (Prou et al. 1994).

4.3. Impact spatial

Impact sur l'intensité des flux et les concentrations en MES

L'absence de différence des flux de matériel particulaire sous les filières et à 100 m de celles-ci, montre l'importance de la dispersion des biodépôts. Les courants de marée sont suffisants pour transporter les matières organiques en suspension et les disperser jusqu'à 100 m. Ainsi, l'enrichissement était le même à 100 m que sous les filières. L'apport en matière organique est donc plus étendu que l'aire occupée par les filières, ce qui suggère des conséquences sur les communautés environnantes (Mitchell, 2006). Cependant, la dispersion des biodépôts va réduire l'enrichissement organique direct sous les moules et restreindre l'influence locale des biodépôts de moules (Hartstein *et al.*, 2005).

A 400 m des filières, les flux de matériel particulaire total étaient inférieurs à ceux observés à 100 m. On peut donc suggérer une influence moindre des filières à 400m, voire nulle si l'on considère les flux mesurés comme étant le résultat de la charge sestonique naturelle.

Cette évolution des flux de matériel particulaire en fonction de la distance devrait se retrouver au niveau des concentrations en matière en suspension. Cependant, les résultats ne montraient pas de différence significative des concentrations en MES en fonction de la distance par rapport aux filières. Les concentrations en MES dans l'eau ne furent mesurées que pendant la mise à l'eau et lors de la récupération du piège. Cette absence de répétitions dans les prélèvements pourrait expliquer l'absence de significativité des résultats.

Impact sur la nature des particules

Lors de l'étude spatiale et de la mise en place des pièges à particules, les coefficients de marées étaient similaires entre eux ou proches. Le mélange vertical de la colonne d'eau

peut donc être supposé d'intensité comparable. Cependant, en s'éloignant des filières, la nature des particules récoltées change. En particulier, les proportions de matière organique labile dans la matière organique totale augmentent, et les proportions de phéopigments dans les pigments totaux diminuent. Ceci peut s'expliquer par l'hypothèse d'une proportion moindre de particules de nature détritiques remises en suspension à distance des filières par rapport à la station sous les filières. En effet, il a été montré une grande diminution de la teneur en particule fine (fraction inférieure à 63 μm) au niveau du sédiment, en relation avec l'éloignement des filières (Martin *et al.*, 1989). La variation de nature des particules récoltées dans les pièges serait donc due à une quantité moindre de particules remises en suspension en fonction de la distance des filières, faisant varier le rapport entre les particules détritiques et la quantité de particules phytoplanctoniques naturellement contenues dans l'eau.

5. CONCLUSION

Les variations de vitesses de courant, que ce soit au cours d'un cycle de marée ou en relation avec le coefficient de marée (cycle vives-eaux ou mortes eaux), apparaissent comme un élément majeur dans l'explication des variations d'intensité de la biodéposition par les filières de moules. L'impact des filières à moules du pertuis Breton sur les flux de matière particulaire est limité spatialement. Lors de cette étude, nous avons pu montrer une dispersion des biodépôts jusqu'à 100 m des cultures, et une nette diminution de l'influence des filières à 400m de celles-ci. Cette dispersion par les courants permet de diminuer spatialement l'influence directe des biodépôts sous les filières, et en particulier, d'éviter un trop fort envasement. De plus, lorsque les vitesses de courant sont plus élevées, la nature de la matière particulaire change, par suite de la remise en suspension de particules détritiques déposées sur le sédiment.

D'un point de vue environnemental, il apparaît donc plus avantageux de rechercher et de mettre en exploitation des sites côtiers présentant des courants suffisamment rapides. Ceci permet d'une part une bonne dispersion des biodépôts et une limitation des envasements trop importants, d'autre part un développement dystrophique de l'écosystème, dû à l'accumulation de biodépôts riches en matière organique. Par ailleurs, de façon contradictoire, les sites sélectionnés devront présenter une énergie limitée (courants et vagues) afin d'assurer la résistance des structures d'élevage et de permettre l'expression de la production primaire (à partir des sels nutritifs) qui constitue la base de la nourriture des mollusques. Ceci explique pourquoi les principaux sites sélectionnés pour la conchyliculture sont situés dans des baies semi-fermées.

BIBLIOGRAPHIE

Aminot A & Kerouel R, 2004. Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses. IFREMER ed., Brest, 335p.

Christensen PB, Glud RN, Dalsgaard T, Gillespie P, 2003. Impacts of longline mussel farming on oxygen and nitrogen dynamics and biological communities of coastal sediments. *Aquaculture*, 218 : 567-588.

Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naemm S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P and van den Belt M, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capita. *Nature*, 387 : 253-260.

Dankers N & Zuidema DR, 1995. The role of the mussel and mussel culture in the Dutch wadden sea. *Estuaries*, 18 1A : 71-80.

Dardignac-corbeil MJ, 2004. La mytiliculture dans le "Pertuis Breton" Synthèse des travaux réalisés de 1980 a 1992. *Annales de la Société des sciences naturelles de la Charente-Maritime*, Bull Octobre 2004 : 3-79

Deslous-Paoli JM, Sornin JM, Heral M, 1987. Biodéposition et digestibilité des aliments *in situ* pour trois mollusques estuariens. *Haliotis* 16 : 43-47

Gentlemen R, Ihaka, 1996. "R: A Language for Data Analysis and Graphics," *Journal of Computational and Graphical Statistics*. <http://www.r-project.org/>

Gesamp (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP, Joint group of experts on the scientific aspects of marine environmental protection and Advisory Committee on Protection of th Sea), 2001. A Sea of troubles. *Rep. Stud. Gesamp*, 70, 35 pp.

Hartstein ND, Stevens CL, 2005. Deposition beneath long-line mussel farms. *Aquacultural Engineering*, 33 : 192-213.

Hilke G, Conrad AP, Bell DG, 2006. Sedimentation from mussel (*Perna canaliculus*) culture in the Firth of Thames, New Zealand: Impacts on sediment oxygen and nutrient fluxes. *Aquaculture*, 261 : 125-140.

Josefsen, S.B., and Schlüter, L. 1994. The influence of an intertidal mussel bed (*Mytilus edulis* L.) on nutrient fluxes in the Kerteminde Fjord, Denmark; a flume study. In: *Changes in fluxes in estuaries: Implications from science to management*, K.R. Dyer and R.J. Orth (eds.). Olsen and Olsen, Fredensborg, pp. 249-256.

Le Hir P, Guillaud JF, Bassoullet P, L'Yavanc J, 1991. Application d'un modèle sédimentaire au devenir des contaminants particuliers. In « La mer et les rejets urbains », Bendor, IFREMER, Actes de Colloques, 11 : 205-220.

Martin JL, Sornin JM, Delmas D, El Sayed M, Berthet B. La biodéposition dans les aires conchylicoles, 1989. Son rôle dans la concentration de la matière organique et de contaminants potentiels. Son impact sur le sédiment. DRV-89.013-RA/CREMA-L'Houmeau 74p.

MPO, 2006. Évaluation des risques pour l'habitat liés à l'élevage des bivalves en milieu marin. Secrétariat canadien de consultation scientifique du Ministère Pêches Océans, Canada, Avis n° 2006/005.

Newell CR, Campbell DE, Gallagher SM, 1998. Development of the mussel aquaculture lease site model MUSMOD : a field program to calibrate model formulations. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 219 : 143-169.

Prou J, Barille L, Heral M, Ratiskol G, Soletchnik P, Bougrier S, Razet D, Geairon P, 1994. Influence du cycle semi-diurne et vives-eaux mortes eaux sur la disponibilité du matériel particulaire et son utilisation par une population de *Mytilus edulis*. *Haliotis*, 23 :139-153.

IFREMER, 2006. Résultats 2006. Suivi de la croissance sur 2 sites d'élevages de moules dans le pertuis breton. http://www.ifremer.fr/lerpc/reseaux/remoula/resul_remoula_2006.htm (page consultée le 6 juin 2007).

Scialabba N, 1998. Integrated coastal area management and agriculture, forestry and fisheries. FAO guidelines. Environment and Natural Resources Service, FAO, Rome. 256 p.

Sornin JM, Feuillet M, Héral M, Deslous-Paoli JM, 1983. Effet des biodépôts de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) sur l'accumulation de matières organiques dans les parcs du bassin de Marennes-oléron. *Journal of molluscan Studies*, suppl 12A :185-197.

Sornin JM, 1986. Influence de la biodéposition sur l'évolution biogéochimique d'un bassin aquacole : études en cours et perspectives. *Ann. Soc. Sci. Nat. Charente-Maritimes*, 7 (4) : 475-480

Tenore K.L. Goldman J. C., Clarner, J.P. 1985. The food chain dynamics of the oyster, clam and mussel in an aquaculture food chain. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 12, 157-165.

Tréguer, P., Le Corre, P. (1975). Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l'Autoanalyser II Technicon. 2nd édition. Laboratoire d'Océanographie chimique, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France.

Tsuchiya M, 1980. Biodeposit production by the mussel on rocky shores. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, 47 : 203-222.

Turnewitsch R, Domesy B, Graf G, 2007. Experimental evidence for an effect of early-diagenetic interaction between labile and refractory marine sedimentary organic matter on nitrogen dynamics. *Journal of Sea Research*, 57 : 270-280.