

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE
LABORATOIRE DE PROTECTION, VALORISATION DES RESSOURCES
MARINE ET LITTORAL ET SYSTEMATIQUE MOLECULAIRE



THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en science
Filière : Biologie
Spécialité : Ecologie marine

Présenté par : M. BELBACHIR Nor Eddine

THEME

***Rôle des Holothuries aspidochirotés dans le fonctionnement
du réseau trophique de l'écosystème à Posidonia oceanica
(L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem***

Soutenu publiquement le : 13/12/2018

Devant le jury composé de :

M^{me} Soualili Dina Lila	Prof.	Univ. Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem	Présidente
M. Abi-Ayad Sidi Mohammed El-Amine	Prof.	Univ. Oran 1 Ahmed Ben Bella	Examineur
M. Grimes Samir	MCA	Ecole Nationale Supérieur des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral	Examineur
M. Rouane-Hacene Omar	MCA	Univ. Oran 1 Ahmed Ben Bella	Examineur
M. Mezali Karim	Prof.	Univ. Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem	Directeur de thèse
M. Chadli Rabah	Prof.	Univ. Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem	Co-Directeur

Année Universitaire 2017/2018

Dédicaces

*Je dédie ce travail à tous ceux qui
m'aiment pour ce que je suis*

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu de m'avoir donné le courage, la force et la patience pour accomplir ce travail.

*Mes plus sincères remerciements vont tout particulièrement à mon directeur de thèse, **M. Karim MEZALI**, Professeur à l'Université Abdelhamid In Badis Mostaganem et Directeur du Laboratoire de Protection, Valorisation des Ressources Marine et Littoral et Systématique Moléculaire. Merci de m'avoir accompagné durant ce long chemin et de m'avoir formé au terrain et à l'analyse. Je sais qu'il me reste encore du chemin à faire, mais vous m'avez mis sur la voie, je vous en suis très reconnaissant. Votre compétence, vos remarques et votre investissement m'ont permis d'avancer à grand pas dans ma formation. J'aperçois clairement mes limites mais pourtant le chemin que vous m'avez fait parcourir m'a permis de progresser.*

*Je remercie très chaleureusement mon Co-directeur de thèse. **M. Rabah CHADLI**, Professeur à l'Université Abdelhamid In Badis Mostaganem. Tout au long de ce travail, il a su m'apporter un soutien constant, une disponibilité, une écoute, une confiance et des conseils précieux et avisés à la hauteur de ses compétences et de ses réelles qualités humaines.*

*Je tiens également à témoigner toute ma reconnaissance au Professeur **M^{me} Dina Lila SOUALILI**, doyenne de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid In Badis Mostaganem, pour les conseils judicieux qu'elle a su me donner tout au long de ce travail doctoral et pour l'honneur qu'elle me fait, en acceptant la présidence du jury. Qu'elle trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude.*

*Je voudrais exprimer mes plus profonds remerciements à **M. Sidi Mohamed El Amine ABI-AYAD**, Professeur à l'Université Ahmed BENBELLA d'Oran 1 et Directeur du Laboratoire d'Aquaculture et Bioremédiation, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude.*

*Je suis particulièrement honoré, de la présence dans ce jury, de **M. Samir GRIMES** Maitre de conférence A, à l'Ecole Nationale des Sciences de la Mer et Aménagement du Littoral. Qu'il trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude.*

*Je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à **M. Omar ROUAN-HACENE**, Maitre de conférences A à l'Université Ahmed BENBELLA d'Oran 1, pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail. Recevez, monsieur l'expression de ma plus profonde gratitude.*

Je remercie la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem), de m'avoir fourni l'aide financière nécessaire pour effectuer un stage de courte durée au niveau du Laboratoire d'Océanologie de l'Université de Liège (Belgique).

*Je remercie tout particulièrement **M. Gilles LEPOINT**, pour son accueil chaleureux au sein du Laboratoire d'Océanologie Université de Liège (Liège, BELGIQUE), pour son aide précieuse lors de la partie analyses isotopiques, pour avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires pour le bon déroulement de mon stage, pour ses encouragements et sa gentillesse.*

*Mes sincères remerciements à **M. Cédric HUBAS** du Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris, FRANCE), pour son aide précieuse lors de la partie analyses statistiques multivariées (PERMANOVA et NMDS).*

*Je tiens également à exprimer mes remerciements aux Ingénieurs du Laboratoire d'Halieutique (Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem), notamment **Amina** et **Mourad** (qui a pris sa retraite), pour leurs aides très précieuses et leurs disponibilités à tous moments (...et avec le sourire en plus).*

J'adresse l'expression de ma profonde reconnaissance à tous mes collègues du Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture, pour leurs encouragements et leurs conseils avisés.

ملخص

تشكل مروج البوزيدونيا نضاما بيئيا رئيسيا لساحل البحر المتوسط. من بين الحيوانات القاعية التي تقطن هذه المروج، هناك ما يسمى عادة "خيار البحر". هذه اللاقاريات القاعية وفيرة للغاية توفر وضائف بيئية هامة بما في ذلك رسكلة المواد العضوية. من خلال هذه الدراسة قمنا ب: (1) دراسة مروج البوزيدونيا من خلال توصيف أحد أهم جوانبها البيولوجية التي هي الإزهار و الإثمار (2) تميز سلوك التغذية عند أربعة أنواع من الأكثر وفرة لخيار البحر

[*Holothuria (Roweothuria) poli*, *Holothuria (Holothuria) tubulosa*, *Holothuria (Panningothuria) forskali*, *Holothuria (Platyperona) sanctori*]

(3) دراسة المكانة الغذائية لهذه الهلوتوريا من خلال قياس نسب النظائر للنيتروجين والكربون. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها (1) النورات من نوفمبر 2017 تحمل الزهور فقط ، في حين أن تلك من يناير من عام 2018 تحمل فواكه ومبيض مجهض. تحتوي النورات الأولى على ما بين 1 و 4 سنييلات ، بطول محور يتراوح بين 24 مم و 27 مم. معظم السنييلات المفحوصة تحتوي على 2 إلى 3 زهور ، والزهرة الرابعة موجودة فقط في السنييلة الرابعة. الزهور هي 56.2 % إلى 78.5 % خنثى و 21.4 % إلى 43.8 % من الذكور. يتراوح بين 20 مم و 33 مم. النورات من 2018/01/08 تحمل ما بين 2 و 4 من السنييلات، بطول محور تحمل السنييلات في يناير فاكهة واحدة في بعض الأحيان وبعضها لا تحمل أية فاكهة. معظم أنواع خياريات البحر التي تمت دراستها لها سلوك انتقائي للمواد العضوية مع طرد براز بمستويات عالية من المواد العضوية وهاذا ما سيجذب حيوانات أخرى لكلها. تبين نماذج خلط النظائر أهمية النباتات في النظام الغذائي لخيار البحر. المادة العضوية الناتجة عن بوسيدونيا هي مع ذلك قليلة الاستيعاب من قبل الهلوتوريا الأربعة التي تمت دراستها. لا يسمح النهج النظائري الكشف على إختلافات غذائية بين الهلوتوريا لأن لها تراكمات هامة المكانة النظائرية ؛ ومع ذلك ، تختلف الأحجام هذه المكنات بين أنواع الهلوتوريا ، مما يدل على التنوع الغذائي الفردي. لوحظت للهلوتوريا وللمصادر غذائها في كلتي الموقعين. هذا ما يدل على أن موقع ستيديا $\delta^{13}C$ و $\delta^{15}N$ قيم عالية في حيث من المقترض مروج أفضل من بوسيدونيا، يبدو أيضا أن متأثر بالنشاط البشري (الزراعة).

الكلمات المفتاحية: بوسيدونيا، الهلوتوريا، الإزهار، النظائر المستقرة، تفضيل التغذية، المكانة الغذائية،

مستغانم

Résumé

Les herbiers à *Posidonia oceanica* constituent un écosystème majeur du littoral méditerranéen. Parmi la macrofaune benthique habitant ces herbiers, on note les holothuries aspidochirotés appelés communément "concombres de mer". Ces invertébrés marins benthiques sont particulièrement abondants et assurent d'importantes fonctions écologiques, notamment le recyclage de la matière organique dans les sédiments marins. A travers cette étude nous avons: (1) étudié l'herbier de posidonies d'une partie de la côte de Mostaganem (Stidia), à travers la caractérisation de l'un de plus importants aspects de la biologie de cette phanérogame marine, qui est la floraison et la fructification ; (2) caractériser le comportement alimentaire de quatre espèces d'holothuries aspidochirotés les plus abondantes [*Holothuria (Roweothuria) poli*, *Holothuria (Holothuria) tubulosa*, *Holothuria (Panningothuria) forskali* et *Holothuria (Platyperona) sanctori*] ; (3) étudier la niche trophique de ces holothurides, à travers la mesure des rapports isotopiques de l'azote et du carbone.

Les résultats obtenus ont montré que : 1) Les inflorescences du mois de novembre 2017 portent uniquement des fleurs, alors que celles du mois de janvier 2018 portent des fruits et des ovaires avortés. Les premières inflorescences portent entre 1 et 4 épillets, avec une longueur d'axe comprise entre 24mm et 27mm. La majorité des épillets examinés portent 2 à 3 fleurs, la 4^{ème} fleur est uniquement présente sur le quatrième épillet. Les fleurs sont 56.2% à 78.6% hermaphrodite et 21.4% à 43.8% male. Les inflorescences du 08/01/2018 portent entre 2 et 4 épillets, avec une longueur d'axe comprise entre 20mm et 33mm. Les épillets du mois de janvier portent un seul fruit parfois deux et certains ne porte aucun. La longueur des fruits de posidonie est comprise entre 7mm et 15mm ; 2) la majorité des espèces d'holothuries étudiées ont un comportement sélectif pour la matière organique et expulsent des fèces à teneurs élevées en matière organique, ce qui est attrayant pour d'autres dépositores ; 3) les modèles de mélange isotopiques démontrent l'importance des épiphytes dans le régime alimentaire des holothuries. La matière organique issue de l'herbier de posidonies est néanmoins peu assimilée par les quatre holothurides étudiées. L'approche isotopique ne permet pas de mettre en évidence des différences de régime alimentaire. Les quatre holothurides présentent des recouvrements de niches isotopiques important. Cependant, les tailles de niches diffèrent entre espèces démontrant ainsi des diversités trophiques individuelles plus variables. D'autre part, des valeurs élevées du $\delta^{15}\text{N}$ et du $\delta^{13}\text{C}$ chez les quatre holothurides étudiées et leurs sources trophiques sont observées au niveau des deux sites. Ceci met en évidence que le site de Stidia où l'herbier de Posidonies est supposé mieux conservé paraît également impacté par l'activité humaine (agriculture).

Mots clés : *Posidonia oceanica*, floraison, holothuries aspidochirotés, préférence alimentaire, isotope stable, niche trophique, Mostaganem.

Abstract

Among the fauna inhabiting the *Posidonia oceanica* seagrass meadow, holothurians are particularly abundant and provide essential ecological roles, including the organic matter recycling within seagrass sediments. This work aims to (1) have an idea about the *Posidonia* meadow of the Mostaganem coast (Stidia), through the characterization of the most important aspects of the biology of this marine plant, which is the flowering and fruiting; (2) have an insight about the feeding behavior of the four most abundant holothurians species on the Mostaganem coast [*Holothuria (Roweothuria) poli*, *Holothuria (Holothuria) tubulosa*, *Holothuria (Panningothuria) forskali* and *Holothuria (Platyperona) sanctori*]; (3) investigate the trophic niche of these organisms, through the measurement of nitrogen and carbon stable isotope ratios.

Inflorescences of November 6, 2017 bear only flowers. Each inflorescence carries between 1 and 4 spikelets, with an axis length ranging between 24mm and 27mm; The majority of the examined spikelets carry 2 to 3 flowers. The latter are 56.2% to 78.6% hermaphrodite and 21.4% to 43.8% are male. The inflorescences of January 8, 2018 bear aborted fruits and ovaries. Each inflorescence carries between 2 and 4 spikelets, with an axis length ranging between 20mm and 33mm. The spikelets of the second prospecting carry a single fruit, sometimes two and some does not carry any. The fruit length is between 7mm and 15mm.

Most holothurians have a selective behavior for organic matter and eject feces with high levels of organic matter, which is attractive to other consumers. Stable isotope mixing models demonstrated the importance of epiphytic material in holothurians diets. Interestingly, the contribution of *P. oceanica* to the holothurians diet was limited. The stable isotope approach did not reveal dietary differences between species and the four species exhibited significant isotopic niche overlap. However, niche sizes differ between species showing more variable individual trophic diversity in some species. High values of $\delta^{15}\text{N}$ in holothurians and their food sources were observed at both sites. This highlights that the site of Stidia is also impacted by human activity (agriculture) despite the presence of a relatively healthy seagrass meadow.

Keywords: *Posidonia oceanica*, flowering, Aspidochirotid holothurians, food preference, stable isotope, trophic niche, Mostaganem.

Liste des figures

Figure 1 : Hypothèse possible des différents stades des phanérogames marines depuis le Crétacé jusqu'à nos jours. I : Plantes terrestres pénétrant dans l'eau ; II : Plantes adaptées au milieu marin et gardant certains caractères terrestres, III : Phanérogames marines actuelles (d'après Larkum et Den Hartog, 1989).....	6
Figure 2 : Distribution mondiale des phanérogames marines (pointillé noir) (d'après Green et Short, 2003).....	7
Figure 3 : Morphologie générale des phanérogames marines (d'après Gobert, 2002).....	8
Figure 4 : Représentation schématique des différentes espèces de phanérogames marines. Forme typique avec des feuilles allongées et aplaties (A). Différentes formes ne répondant pas au schéma habituel (B) (d'après Wangeluve, 2007 ; modifiée).....	9
Figure 5 : Répartition de <i>Posidonia oceanica</i> le long des côtes méditerranéennes (ligne rouge) (d'après Procaccini <i>et al.</i> , 2003, modifiée).....	13
Figure 6 : Herbier de posidonies sur matre retrouvé à la réserve naturelle de Scandola (Corse). (https://www.mio.univ-amu.fr/gisposidonie).....	14
Figure 7 : Fleur de <i>Posidonia oceanica</i> . Faisceau de feuilles et son inflorescence (A) ; ovaire isolé (B) ; deux fleurs de posidonie (C) ; inflorescence isolée (D). [D'après Den Hartog, (1971), modifiée].....	16
Figure 8 : Fruit de <i>Posidonia oceanica</i> . Pédoncule avec deux fruits (A), fruit isolé (B), graine (C), graine en cour de germination (D). [D'après Den Hartog, 1974 ; In : Boudouresque et Meinesz, (1982)].....	17
Figure 9 : Schématisation des différents biotopes de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> (d'après Mezali, 2008).....	19
Figure 10 : Micro-épiphytes de <i>Posidonia oceanica</i> . Diatomée du genre <i>Cocconeis</i> sur une feuille de <i>Posidonia oceanica</i> (Grossissement : x4300) (Pête, 2005) (A) ; <i>Lobatula lobatula</i> , foraminifère très fréquent des feuilles de posidonies (Grossissement : x40) (B) ; <i>Cyclocibicides vermiculatus</i> (flèche rouge), foraminifère associé à une colonie du bryozoaire <i>Electra posidoniae</i> (C) (vue au binoculaire) (Casieri <i>et al.</i> , 2008).....	20
Figure 11 : Flux des nutriments et du carbone au sein de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i> . Cercle noir : bactérie fixatrice d' N_2 ; COD : carbone organique dissout ; MOP : matière organique particulaire ; N : azote ; NID : azote inorganique dissout ; P : phosphore (d'après Boudouresque <i>et al.</i> , 2006b ; modifiée).....	22

Figure 12 : Modèle conceptuel simplifié des compartiments fonctionnels et des réseaux trophiques de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i> , avec les principaux flux (d'après Boudouresque <i>et al.</i> , 2006b. modifié).....	23
Figure 13 : Rôles et services de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i> (d'après Vassallo <i>et al.</i> , 2013. Modifiée).....	25
Figure 14 : Morphologie d'une holothurie aspidochirote (d'après Samyn <i>et al.</i> , 2006).....	28
Figure 15 : Anatomie interne d'une holothurie aspidochirote montrant les principaux organes (In, Samyn <i>et al.</i> , 2006).....	29
Figure 16 : Bioturbation des sédiments par les holothuries. <i>Bohadschia argus</i> à moitié enfouie dans les sédiments d'un lagon de récifs coralliens (île Lizard, Australie) (A). <i>Holothuria lessoni</i> partiellement enfouie dans les sédiments d'un platier (Nouvelle-Calédonie) (B). <i>Bohadschia vitiensis</i> sortant des sédiments d'une baie abritée (Nouvelle-Calédonie) (C). <i>Actinopyga spinea</i> sortant des sédiments mous sur un récif peu profond (Nouvelle-Calédonie) (D). (D'après Purcell <i>et al.</i> , 2016).....	31
Figure 17 : Recyclage des nutriments par les holothuries (d'après Purcell <i>et al.</i> , 2016).....	32
Figure 18 : Schéma montrant le transit digestif d'une holothurie aspidochirote (d'après Conand, 1994, modifiée).....	37
Figure 19 : Carte des captures mondiales d'holothuries exportées vers Hong Kong. La couleur indique l'année de départ de la pêche (D'après Anderson <i>et al.</i> , 2011).....	39
Figure 20 : Situation mondiale actuelle des pêcheries d'holothuries (nombre de pêcheries = 69) [D'après Purcell <i>et al.</i> , (2013)].....	40
Figure 21. Situations géographiques du site de prélèvements des holothuries aspidochirotés de la côte ouest algérienne (étoiles).....	50
Figure 22 : Traitement des échantillons d'holothuries pour l'analyse du taux de la matière organique. Dissection longitudinale d'une holothurie (A et B) ; collecte du tube digestif (flèche) (C) ; incision du tube digestif (D).....	53
Figure 23 : Caractéristiques morphologiques des inflorescences trouvées en épave dans la région de Stidia (Mostaganem). A : Inflorescence de <i>Posidonia oceanica</i> portant 4 épillets (Ep) observée le 6/11/2017. B : Epillet du 6/11/2017 portant 2 fleurs hermaphrodites (Fh) et une fleur male (Fm). C : Axe (Ax) portant un fruit (Fr) jeune de <i>Posidonia oceanica</i> retrouvé le 8/01/2018.....	61
Figure 24 : Taux de la matière organique (en pourcentage) du contenu du substrat du biotope (SB), premier tronçon du tube digestif (FG), deuxième tronçon du tube digestif (FG), troisième tronçon du tube digestif (HG) et des fèces (F) des holothuries aspidochirotés étudiées du site de Stidia, ainsi que du sédiment de leurs biotope (SB) ; pendant les quatre	

saisons d'étude.....	65
Figure 25 : Taux de la matière organique (en pourcentage) du contenu du substrat du biotope (SB), du premier tronçon du tube digestif (FG), deuxième tronçon du tube digestif (FG), troisième tronçon du tube digestif (HG) et des fèces (F) des holothuries aspidochirotes étudiées du site de Salamandre, ainsi que du sédiment de leurs biotope (SB) ; pendant les quatre saisons d'étude.....	68
Figure 26 : Taux d'assimilation chez les quatre espèces d'holothuries étudiées du site de Stidia, durant les quatre saisons d'étude.....	71
Figure 27 : Taux d'assimilation chez les quatre espèces d'holothuries étudiées du site de Salamandre, durant les quatre saisons d'étude.....	72
Figure 30 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques, dans le régime alimentaire des holothuries du site de Stidia, en période estivale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).....	74
Figure 31 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Stidia en période automnal. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).....	76
Figure 32 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Stidia en période hivernale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).....	77
Figure 33 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Stidia en période printanière. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).....	78
Figure 34 : Analyse du positionnement multidimensionnel non métrique (NMDS), basée sur les distances de Bray-Curtis mettant en évidence la relation entre les différentes espèces d'holothuries étudiées du site de Stidia, selon leurs régimes alimentaire. <i>H.t</i> : <i>Holothuria tubulosa</i> ; <i>H.p</i> : <i>Holothuria poli</i> ; <i>H.f</i> : <i>Holothuria forskali</i> et <i>H.s</i> : <i>Holothuria sanctori</i>	79
Figure 35 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Salamandre en période estivale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).....	81

Figure 36 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Salamandre en période automnal. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).....	82
Figure 37 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Salamandre en période hivernal. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).....	84
Figure 38 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Salamandre en période printanière. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).....	85
Figure 39 : Analyse du positionnement multidimensionnel non métrique (NMDS), basée sur les distances de Bray-Curtis mettant en évidence la relation entre les différentes espèces d'holothuries étudiées du site de Salamandre, selon leurs régimes alimentaire. <i>H.t</i> : <i>Holothuria tubulosa</i> ; <i>H.p</i> : <i>Holothuria poli</i> ; <i>H.f</i> : <i>Holothuria forskali</i> et <i>H.s</i> : <i>Holothuria sanctori</i>	86
Figure 40 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Stidia, en période estivale.....	87
Figure 41 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Stidia, en période automnale.....	89
Figure 42 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Stidia, en période hivernale.....	90
Figure 43 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Stidia, en période printanière.....	92
Figure 44 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Salamandre, en période estivale.....	93
Figure 45 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Salamandre, en période automnale.....	94
Figure 46 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Salamandre, en période hivernale.....	96
Figure 47 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une	

ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Salamandre, en période printanière.....	97
Figure 48 : Variation saisonnière des indices de recouvrement de Schoener, entre les niches alimentaires, des quatre espèces d'holothuries (<i>H.p</i> : <i>Holothuria poli</i> , <i>H.t</i> : <i>Holothuria tubulosa</i> , <i>H.f</i> : <i>Holothuria forskali</i> et <i>H.s</i> : <i>Holothuria sanctori</i>) du site de Stidia, présent deux à deux.....	99
Figure 49 : Variation saisonnière des indices de recouvrement de Schoener, entre les niches alimentaires, des quatre espèces d'holothuries (<i>H.p</i> : <i>Holothuria poli</i> , <i>H.t</i> : <i>Holothuria tubulosa</i> , <i>H.f</i> : <i>Holothuria forskali</i> et <i>H.s</i> : <i>Holothuria sanctori</i>) du site de Salamandre, présent deux à deux.....	101
Figure 50 : Valeurs moyennes (\pm écart type) des rapports isotopiques du carbone ($\delta^{13}\text{C}$ en ‰) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$ en ‰) des quatre holothurides ainsi que de leurs sources alimentaires [feuilles mortes de posidonie (en noir), épiphytes de posidonie (en rouge) et meiofaune (en vert)], au niveau du site de Stidia (A) et du site de Salamandre (B).....	103
Figure 51 : Boxplots des contributions des potentielles sources de nourritures [Feuilles mortes de posidonies (Pm), épiphytes de posidonies (Ep) et meiofaune (Me)] des holothuries du site de Stidia, effectué par le modèle de mélange SIAR. Gris foncé, moyen et claire des boxplots sont respectivement 50%, 75% et 95% des intervalles de crédibilité.....	105
Figure 52 : Boxplots des contributions des potentielles sources de nourritures [Feuilles mortes de posidonies (Pm), épiphytes de posidonies (Ep) et meiofaune (Me)] des holothuries du site de Salamandre, effectué par le modèle de mélange SIAR. Gris foncé, moyen et claire des boxplots sont respectivement 50%, 75% et 95% des intervalles de crédibilité.....	106
Figure 53 : Niches isotopiques des quatre holothurides des sites de Stidia (A1) et de Salamandre (B1). Les lignes représentent les ellipses standards bivariées associées à chaque espèce d'holothurie. Boxplots du model d'estimation des standard ellipses bivariées (SEA _b). Gris foncé, moyen et claire des boxplots sont respectivement 50%, 75% et 95% des intervalles de crédibilité de la probabilité des solutions du model, le point noir représente le mode de la distribution à Stidia (A2) et à Salamandre (B2).....	107

Liste des tableaux

Tableau 1 : Prédateurs de certaines espèces d'holothuries (d'après Purcell <i>et al.</i> , 2016. modifiée).....	34
Tableau 2 : Principales caractéristiques de différentes méthodes d'étude des régimes alimentaires des organismes (Trystram, 2016).....	43
Tableau 3 : Stratégie d'échantillonnage, adoptée lors de du présent travail [Substrat du Biotope (SB), Fèces (F), Pm (Posidonies mortes), Epiphytes de posidonies (Ep) et Meiofaune (Me)].....	49
Tableau 4 : Caractéristiques des inflorescences de <i>Posidonia oceanica</i> provenant du site de Stidia (Mostaganem) le 06/11/2017. L'épillet 1 est situé à la base de l'inflorescence.....	62
Tableau 5 : Pourcentage du nombre et de la nature des fleurs de posidonies récoltées le 06/11/2017. L'épillet 1 est situé à la base de l'inflorescence. Fleur male (M), fleur hermaphrodite (M+F).....	63
Tableau 6 : Composition foliaire des faisceaux portants une hampe florale récoltés le 08/01/2018 dans le site de Stidia (Mostaganem).....	64
Tableau 7 : Description des fruits de <i>Posidonia oceanica</i> récoltés le 08/01/2018 dans le site de Stidia (Mostaganem).....	64
Tableau 8 : Valeurs (moyenne \pm écart-type) du taux de la matière organique (en %), obtenues au niveau des différents tronçons du tube digestif (FG : premier tronçon, MG : deuxième tronçon et HG : troisième tronçon), du substrat du biotope (SB), ainsi qu'au niveau des fèces (F) chez les espèces d'holothuries étudiées du site de Stidia, pendant les quatre saisons.....	66
Tableau 9 : Valeurs (moyenne \pm écart-type) du taux de la matière organique (en %), obtenues au niveau des différents tronçons du tube digestif (FG : premier tronçon, MG : deuxième tronçon et HG : troisième tronçon), du substrat du biotope (SB), ainsi qu'au niveau des fèces (F) chez les espèces d'holothuries étudiées du site de Salamandre, pendant les quatre saisons.....	69
Tableau 10 : Valeurs (moyenne \pm écart-type) du taux d'assimilation (en %), obtenues chez les quatre espèces d'holothuries du site de Stidia, durant les quatre saisons d'étude.....	71
Tableau 11 : Valeurs (moyenne \pm écart-type) du taux d'assimilation (en %), obtenues chez les quatre espèces d'holothuries du site de Salamandre, durant les quatre saisons d'étude.....	72
Tableau 12 : Valeurs des indices de recouvrement de Schoener, entre les niches alimentaires des espèces d'holothuries du site de Stidia, durant les quatre saisons	

d'études.....	99
Tableau 13 : Valeurs des indices de recouvrement de Schoener, entre les niches alimentaires des espèces d'holothuries du site de Salamandre, durant les quatre saisons d'études.....	101

Liste des abréviations et des acronymes

ADN : Acide Désoxyribonucléique,

A.J : Avant Jésus,

°C : Degré Celsius,

Cm : centimètre,

E : Est,

FAO: Organisation des Nation Unies pour l'Agriculture ("Food and Agriculture Organisation of United Nation"),

gPS/m² : gramme de Poids Sec par mètre carré,

gPS/m²/an-1 : gramme de Poids Sec par mètre carré par an,

h : heure,

HCl : Chlorure d'Hydrogène,

HCO₃⁻ : Bicarbonate,

IAEA-N2: International Atomic Energy Agency, Sulfate d'Ammonium,

i.e. : C'est-à-dire ("Id est"),

kg/ind-1/an-1 : kilogramme par individus par année,

km : kilomètre,

km² : kilomètre carré,

m : mètre,

m² : mètre carré,

mm : millimètre,

N : Nord,

NMDS : Positionnement multidimensionnel non métrique ("Non-metric Multidimensional Scaling").

O : Ouest,

PERMANOVA : Analyse de Variance Multivariée par Permutation ("Permutational Multivariate Analysis of Variance"),

pH : potentiel Hydrogène,

psu : unité de salinité pratique ("practical salinity unit"),

SEA : Standard ellipses area

SIAR : Analyses des isotopes stables avec R ("Stable Isotope analysis in R")

SIBER : Ellipses bayésiennes des isotopes stables sous R ("Stable Isotope Bayesian Ellipses in R")

US \$ / kg : Dollars Américain par kilogramme ("United State Dollars per kilogram"),

$\delta^{13}\text{C}$: Rapport isotopique du carbone treize,

$\delta^{15}\text{N}$: Rapport isotopique de l'Azote quinze.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	01
-------------------	----

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Les phanérogames marines.....	04
I.1. Historique.....	04
I.2. Systématique.....	05
I.3. Origine.....	05
I.4. Distribution.....	06
I.5. Description des espèces actuelles.....	08
I.6. Les réseaux trophiques des herbiers de Magnoliophytes marines.....	10
I.6.1. La voie directe.....	10
I.6.2. La voie détritique.....	11
I.6.3. La voie épiphytique.....	12
I.7. Les phanérogames marines de méditerranée.....	12
II. <i>Posidonia oceanica</i> (L.) Delile 1813.....	13
II.1. Distribution.....	13
II.2. Caractéristiques biologiques.....	14
II.2.1. Morphologie.....	14
II.2.2. Reproduction.....	15
II.3. Facteurs écologiques.....	17
II.4. Structure et micro-habitats des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	18
II.5. Epiphytes et micro-épiphytes associés à <i>Posidonia oceanica</i>	19
II.6. Fonctionnement de l'écosystème à <i>Posidonia oceanica</i>	21
II.7. Importance des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	24
III. La macrofaune benthique.....	26

IV. Les holothuries : représentants majeurs de la macrofaune benthique.....	26
IV.1. Taxinomie.....	27
IV.2. Répartition.....	27
IV.3. Aspect Morphologique.....	28
IV.4. Rôle écologique des holothuries.....	30
IV.4.1. Maintien et amélioration de la santé des sédiments marins.....	30
IV.4.1.1. Bioturbation.....	30
IV.4.1.2. Nettoyage du sédiment.....	31
IV.4.2. Recyclage des nutriments.....	32
IV.4.3. Rôle dans les réseaux trophiques.....	33
IV.5. Régime et comportement alimentaire sélectif des holothuries.....	36
IV.6. Intérêt économique et exploitation des holothuries.....	38
IV.6.1. Pêche des holothuries.....	38
IV.6.2. Alimentation humaine.....	41
IV.6.3. Médecine traditionnelle et produits nutraceutiques.....	41
V. Modalité d'étude du régime alimentaire chez les organismes marins.....	42
V.1. Analyse des contenus stomacaux.....	44
V.2. Analyse des isotopes stables.....	45
V.2.1. Définition.....	45
V.2.2. Intérêt des isotopes du carbone.....	46
V.2.3. Intérêt des isotopes de l'Azote.....	46

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

I. Objectifs de l'étude.....	48
II. Présentation des sites d'étude.....	49
II.1. Description du site de Stidia.....	50

II.2. Description du site de Salamandre.....	51
III. Prélèvement et traitement des échantillons.....	52
III.1. Floraison et fructification de posidonies.....	52
III.2. Comportement alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de posidonies des sites étudiés.....	52
III.2.1. Analyse du taux de la matière organique.....	52
III.2.2. Estimation du taux d'assimilation.....	54
III.2.3. Analyses statistiques.....	54
III.2.3.1. Test de Kruskal-Wallis.....	54
III.2.3.2. Test de Dunn.....	55
III.3. Régime alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de posidonie des sites étudiés.....	55
III.3.1. Analyse des contenus digestifs des holothuries.....	55
III.3.1.1. Etude de la sélectivité dans le choix de l'aliment.....	56
III.3.1.2. Etude de recouvrement des niches alimentaires.....	57
III.3.1.3. Analyses statistiques.....	57
III.3.1.3.1. Analyses de variance multivariées par permutation (PERMANOVA).....	57
III.3.1.3.2. Positionnement multidimensionnel non métrique (NMDS).....	57
III.3.2. Analyse isotopique des holothuries et de leurs sources de nourriture.....	58
III.3.2.1. Prélèvements d'échantillons.....	58
III.3.2.2. Méthode d'étude.....	59
III.3.2.3. Analyse statistique.....	59
III.3.2.3.1. Test de Kruskal-Wallis.....	59
III.3.2.3.2. Test de Dunn.....	59
III.3.2.3.3. Modèle de mélange SIAR ("Stable Isotope Analysis in R").....	59
III.3.2.3.4. Modèle SIBER ("Stable Isotope bayesian in R").....	60

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats.....	61
I.1. Floraison et fructification de posidonie.....	61
I.2. Comportement alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de posidonies des sites étudiés.....	65
I.2.1. Analyse du taux de la matière organique.....	65
I.2.1.1. Stidia.....	65
I.2.1.2. Salamandre.....	67
I.2.2. Estimation du taux d'assimilation.....	70
I.2.2.1. Stidia.....	70
I.2.2.2. Salamandre.....	71
I.3. Régime alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de posidonies des sites étudiés.....	73
I.3.1. Analyse des contenus digestifs des holothuries.....	73
I.3.1.1. Stidia.....	73
❖ <i>Eté</i>	73
❖ <i>Automne</i>	75
❖ <i>Hiver</i>	76
❖ <i>Printemps</i>	77
I.3.1.2. Salamandre.....	79
❖ <i>Eté</i>	80
❖ <i>Automne</i>	81
❖ <i>Hiver</i>	82
❖ <i>Printemps</i>	84
I.3.1.1. Etude de la sélectivité dans le choix de l'aliment.....	87
I.3.1.1.1. Stidia.....	87
❖ <i>Eté</i>	87

❖ <i>Automne</i>	88
❖ <i>Hiver</i>	90
❖ <i>Printemps</i>	91
I.3.1.1.2. Salamandre.....	92
❖ <i>Eté</i>	92
❖ <i>Automne</i>	94
❖ <i>Hiver</i>	95
❖ <i>Printemps</i>	97
I.3.1.2. Etude du recouvrement des niches alimentaires.....	98
I.3.1.2.1. Stidia.....	98
I.3.1.2.2. Salamandre.....	100
I.3.2. Analyse isotopique des holothuries et de leurs sources de nourriture.....	102
I.3.2.1. Composition isotopique.....	102
I.3.2.2. Caractéristiques des niches isotopiques.....	106
II. Discussion.....	108
II.1. Floraison et fructification de posidonie.....	108
II.2. Comportement et régime alimentaire des holothuries aspidochiotes inféodés aux herbiers de Posidonies étudiés.....	109
II.2.1. Analyse du taux de la matière organique.....	109
II.2.2. Analyse du taux d'assimilation.....	112
III.2.3. Régime alimentaire des holothuries aspidochiotes inféodés aux herbiers de posidonies des sites étudiés.....	113
III.2.3.1. Analyse des contenus digestifs des holothuries.....	113
III.2.3.2. Analyse isotopique des holothuries et de leurs sources de nourriture.....	117
CONCLUSION	121
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	124
ANNEXES	

INTRODUCTION

Introduction

Endémique à la mer Méditerranée, la phanérogame marine *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile 1813 revêt un rôle de premier ordre sur le plan écologique et économique (Boudouresque *et al.*, 2006 ; Gobert *et al.*, 2006). L'herbier qu'elle forme est considéré comme un écosystème pivot du littoral méditerranéen et constitue un puissant intégrateur de la qualité globale des eaux marines (Richir *et al.*, 2015). La posidonie présente une production primaire importante qui n'est que partiellement consommée par les organismes herbivores (Pergent *et al.*, 1997 ; Vizzini, 2009). Le reste de la production primaire contribue à alimenter le compartiment détritique. Au sein de l'herbier, la litière formée essentiellement de feuilles mortes de posidonie, semble être une importante source de matière organique pour les communautés de détritivores (Walker *et al.*, 2001 ; Lepoint *et al.*, 2006 ; Sturaro *et al.*, 2010). Ainsi, les feuilles mortes font partie du régime alimentaire d'un plus grand nombre d'espèces, tel que les échinodermes (holothurides et échinides), isopodes, amphipodes, décapodes et les polychètes (Vizzini, 2009 ; Buia *et al.*, 2000). Contrairement à la floraison de *Posidonia oceanica* qui est assez fréquente (Balestri et Cinelli, 2003) ; la fructification est quant à elle un phénomène qui n'est que rarement signalé en méditerranée (Boudouresque et Thelin, 1985). Plusieurs travaux de recherches ont été réalisés sur la floraison et la fructification de *Posidonia oceanica* ; entre autres on peut citer ceux de Balestri et Cinelli, (2003) sur la reproduction sexuée et celui de Diaz-Almela *et al.*, (2007) sur les conséquences du réchauffement climatique sur la floraison. A ce jour, aucune étude ne mentionne la floraison ou la fructification de *Posidonia oceanica* au niveau des côtes algériennes. A travers cette étude nous avons signalé ces deux phénomènes dans la station de Stidia [First record of *Posidonia oceanica* flowering and fruiting in the southwestern Mediterranean sea (Mostaganem, Algeria) ; article sous presse dans la revue Vie et milieu (Life & Environment)].

En tant qu'espèces détritivores faisant partie de la macrofaune, les holothuries aspidochirotées sont les représentants majeurs du compartiment benthique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (Francour, 1990 ; Mezali, 2008). Ces invertébrés sont susceptibles de participer au transfert de la matière organique produite par la posidonie (Lepoint *et al.*, 2000, Remy *et al.*, 2018) ; participent au recyclage de la matière organique et sa re-minéralisation, jouant ainsi un rôle important dans l'oxygénation du substrat meuble (Uthicke et Karez 1999 ; Amaro *et al.*, 2010 ; Mactavish *et al.*, 2012). Plusieurs espèces d'holothuries fréquentent les herbiers de posidonies de la région ouest algérienne. Les plus communes sont : *Holothuria (Roweothuria) poli* (Delle Chiaje, 1824), *Holothuria (Holothuria) tubulosa* (Gmelin, 1791), *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Delle Chiaje, 1823) et *Holothuria (Panningothuria) forskali* (Delle Chiaje, 1823). Elles peuvent occuper des micro-habitats spécifiques au sein des herbiers. *Holothuria tubulosa* et *H. poli* se trouvent au

niveau des intermattes, alors que *H. sanctori* et *H. forskali* fréquentent beaucoup plus les tombants de mattes (Mezali, 2004). D'autres travaux signalent que *H. poli* fréquente les herbiers clairsemés, tandis que *H. tubulosa* fréquente les herbiers denses (Francour, 1990).

Des études sur l'alimentation des holothuries aspidochirotés ont été réalisées par plusieurs auteurs dans le monde (Sonnenholzner, 2003 ; Amaro *et al.*, 2010), en méditerranée (Coulon et Jangoux, 1993 ; İsgören-Emiroglu et Günay, 2007) et en Algérie (Mezali *et al.*, 2003 ; Mezali et Soualili, 2013 ; Belbachir *et al.*, 2014). Malgré leur grande importance écologique, les données sur le régime alimentaire des holothuries aspidochirotés restent à ce jour fragmentaires (Mezali *et al.*, 2003). Par exemple, nous ne savons pas dans quelle mesure ces différentes espèces coexistent dans l'herbier de posidonies ; partagent ou non les mêmes ressources et surtout utilisent ou non la posidonie ou ses épiphytes dans leur alimentation. Dans cette optique, on estime qu'il est important d'aborder l'aspect du régime alimentaire de ces invertébrés marins inféodés aux herbiers de posidonies, d'une partie de la côte ouest algérienne ; ceci afin de déceler leurs rôles dans le fonctionnement du réseau trophique de l'écosystème à *Posidonia oceanica*.

Plusieurs techniques permettent d'étudier les relations trophiques entre les espèces. Les méthodes traditionnelles s'appuient sur l'observation directe du comportement alimentaire (Caraveo-Patino et Soto, 2005), ou sur des méthodes plus indirectes comme l'analyse des contenus stomacaux ou fécaux (Ichii et Kato, 1991 ; Smith et Whitehead, 2000 ; Jarman *et al.*, 2002). Cependant, ces approches n'informent pas sur la nature du matériel réellement assimilé. Les marqueurs biochimiques, tels que les isotopes stables du carbone et de l'azote, offrent une méthode indirecte pour identifier les composantes du régime alimentaire des animaux. D'autre part, les compositions isotopiques de diverses espèces peuvent être comparées afin d'établir l'étendue relative des niches trophiques (Jackson *et al.*, 2010) ou dans quelle mesure elles se chevauchent. La variabilité isotopique peut également informer sur la fluctuation du régime alimentaire inter individuelle des animaux (Bearhop *et al.*, 2004). Cette approche a été appliquée récemment dans les communautés d'invertébrés colonisant la litière de posidonies exportées en dehors des herbiers (Mascart *et al.*, 2018 ; Remy *et al.*, 2018).

Les objectifs de notre travail sont : 1) de fournir une première base de données, sur la description des caractéristiques morphologiques des fleurs et des fruits de *Posidonia oceanica*, de la région de Mostaganem ; 2) d'avoir une idée sur le comportement alimentaire des holothuries aspidochirotés de deux zones contrastées d'une partie de la frange côtière de la région de Mostaganem (l'une plus ou moins saine située à Stidia et l'autre polluée située à Salamandre) ; 3) de déterminer les contributions de différentes sources de nourriture au régime alimentaire des holothuries et 4) de

caractériser les niches isotopiques des holothuries et de voir s'il y a d'éventuels recouvrements entre elles.

CHAPITRE 1 :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Les phanérogames marines

I.1. Historique

Les phanérogames (= Magnoliophytes ; Spermaphytes) marines, n'ont attiré l'attention des scientifiques que très récemment. Il est vrai qu'Aristote avait décrit les graines de *Posidonia oceanica* 300 ans avant J-C et que plus tard, Carl Von Linné, avait nommé deux espèces de phanérogames marines, notamment ; *Zostera marina* (1753) et *Posidonia (Zostera) oceanica* (1757). Toutefois, ces connaissances étaient insignifiantes, par rapport au nombre important d'études qui ont été faites sur les algues marines, et cela dès le début du 18^{ème} siècle ; P. Ascherson dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle, C.H. Ostenfeld et W.A. Setchell au début du 20^{ème} siècle, étaient sans doute les pionniers à avoir fait des études sur la biologie de ces espèces. Mais, il a fallu attendre le travail de référence de Den Hartog (1970) intitulé « *Seagrasses of the world* », pour que la taxonomie des phanérogames marines soit enfin établie, conformément aux études systématiques des autres plantes (Larkum *et al.*, 2006).

Les phanérogames marines, donne lieu à des formations denses appelées « herbiers marins », qui se rencontrent dans la quasi-totalité des milieux littoraux du globe (Short *et al.*, 2001). A son origine, le terme « herbier marin » n'était utilisé que par les pêcheurs, les agriculteurs et d'autres habitants des zones côtières de certains pays européens. Ascherson (1871), était probablement le premier à l'avoir introduit dans la littérature scientifique. Toutefois, ce terme ne constitue pas un groupe taxonomique, mais plutôt un groupe écologique, qui caractérise l'étage infralittorale (Larkum *et al.*, 2006).

L'avènement de la plongée sous-marine, a de son côté permis de réaliser d'énormes progrès dans l'étude des composants benthiques de l'environnement marin littoral, notamment ; celui des « herbiers marins ».

Le résultat majeur de tous ces événements, a été une réalisation soudaine de l'importance de ces herbiers et du rôle qu'ils constituent dans les écosystèmes côtiers marins. Cette prise de conscience, a conduit à des initiatives de financement majeur, tel que le lancement du journal « *Aquatic botany* » en 1975, ainsi que le lancement d'une série de workshops, dont le premier est celui qui a eu lieu à Leyde (Pays-Bas) en 1973. Ensuite, une série d'ouvrages ont vues le jour, dont ceux de Hemminga et Duarte, (2000), Short et Coles, (2001) et Green et Short, (2003) ; qui ont fournis aux chercheurs d'importants outils, afin de mieux comprendre le fonctionnement des herbiers à phanérogames marines.

I.2. Systématique

Les phanérogames marines sont des angiospermes monocotylédones, réparties en 4 familles (*Posidoniaceae*, *Zosteraceae*, *Cymodoceaceae* et *Hydrocharitaceae*) et 13 genres (*Amphibolis*, *Cymodocea*, *Enhalus*, *Halodule*, *Halophila*, *Heterozostera*, *Nanozostera*, *Phyllospadix*, *Posidonia*, *Syringodium*, *Thalassia*, *Thalassodendron* et *Zostera*) (Kuo et Den Hartog, 2001). Elles regroupent l'ensemble des plantes vivant complètement submergées en eau salée, ancrées sur le substrat et capables, dans ces conditions, de croître et de se reproduire (Den Hartog, 1970). Deux espèces supplémentaires (*Ruppia tuberosa* et *Lepilaena marina*), appartenant respectivement à la famille des *Ruppiaceae* et à la famille des *Zannichelliaceae*, colonisent les substrats marins et sont classées parmi les phanérogames marines, mais, n'étant pas exclusivement marines, elles ne sont pas universellement acceptées comme telles (Green et Short, 2003).

Il existe une soixantaine d'espèces de phanérogames marines décrites de par le monde (Green et Short, 2003), 65 selon les derniers travaux (Den Hartog et Kuo, 2006 ; Guiry et Guiry, 2016). Cette variation provient de l'utilisation de critères différents en systématique pour déterminer et différencier les espèces (Hemminga et Duarte, 2000). Par exemple, Den Hartog, (1970) et Phillips et Meñez, (1988) utilisent la disposition des veines sur les feuilles alors que Les *et al.*, (1997) emploient des méthodes qui sont purement génétiques.

I.3. Origine

Différentes variantes sur l'origine et la taxonomie des phanérogames marines ont été décrites (Den Hartog, 1970 ; Larkum et Den Hartog, 1989 ; Hemminga et Duarte, 2000). Les ancêtres possibles des phanérogames marines sont de deux types : des plantes aquatiques d'une part et des plantes terrestres côtières d'autre part. Elles auraient l'une ou l'autre conquis le milieu marin. L'hypothèse de plantes aquatiques comme ancêtre des phanérogames marines, proposé par Arber, (1920), est défendue par le fait que ces plantes aquatiques ont les mêmes caractéristiques que les phanérogames marines (méristème basal, système lacunaire) (Hemminga et Duarte, 2000). Alors que l'hypothèse de plantes côtières comme ancêtre des phanérogames marines, proposé par Den Hartog (1970), est soutenue par deux arguments. Contrairement aux tiges herbacées des hydrophytes, les plantes côtières et les phanérogames marines ont des feuilles lignifiées. De plus, deux genres de phanérogames marines (*Amphibolis* et *Thalassodendron*) sont vivipares comme c'est le cas de certains taxa des mangroves (Larkum et Den Hartog, 1989).

La seconde hypothèse est la plus plausible, On estime même qu'il y a 100 à 120 millions d'années (au crétacé) que ces phanérogames marines sont retournées dans le milieu marin, après l'avoir

quitté pour le milieu continentale, il y a environ 475 millions d'années à l'Ordovicien dans l'ère primaire (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Wellman *et al.*, 2003).

L'étude de l'évolution, de l'expansion et de la distribution des phanérogames marines est basée sur l'analyse de plantes fossilisées et de la faune et la flore associées. Malheureusement, les données sont peu nombreuses. Selon l'hypothèse présentée par Larkum et Den Hartog, (1989) (Fig. 1), les plus anciens fossiles de phanérogames marines qui remontent au Crétacé sont de deux genres ; *Archeozostera* et *Thalassocharis*. Les empreintes d'*Archeozostera* ont été trouvées au Japon et seraient à l'origine des genres *Zostera* et *Phyllospadix* actuels. Les fossiles de *Thalassocharis* ont été retrouvés en Hollande et en Grande Bretagne et présentent beaucoup d'affinités avec les genres *Amphibolis* et *Thalassodendronm*, ancêtres des genres actuels *Halodule*, *Cymodocea* et *Syringodium*.

L'espèce *Enhalus acoroides*, seule phanérogame marine ayant une pollinisation non sous-marine, semble avoir évolué à partir d'un ancêtre aquatique du genre *Vallisneria* (Larkum et Den Hartog, 1989).

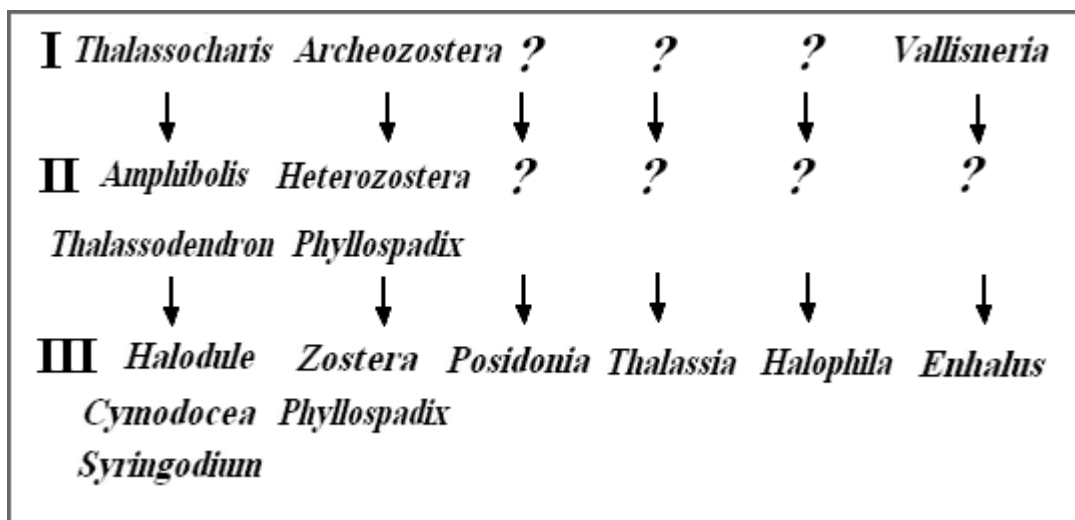


Figure 1 : Hypothèse possible des différents stades des phanérogames marines depuis le Crétacé jusqu'à nos jours. I : Plantes terrestres pénétrant dans l'eau ; II : Plantes adaptées au milieu marin et gardant certains caractères terrestres, III : Phanérogames marines actuelles (d'après Larkum et Den Hartog, 1989).

I.4. Distribution

La distribution actuelle des phanérogames marines est le résultat des contraintes biogéographiques (mouvements des plaques tectoniques, spéciation locale, extinction locale) au cours du temps à partir d'une distribution global au niveau de la Panthalassa, qui était l'unique océan qui a entouré la Pangée (unique continent qui a existé de la fin du Carbonifère au début du Jurassique) (Gobert,

2002). Malgré leur diversité spécifique relativement faible, les phanérogames marines colonisent presque toutes les zones côtières, marines et lagunaires de la biosphère, formant de vastes herbiers couvrant une surface allant jusqu'à 500 000 km² (Short *et al.*, 2001 ; Green et Short, 2003 ; Short *et al.*, 2007) (Fig. 2). Cette distribution est interrompue le long des côtes pacifiques de l'Amérique du sud probablement suite à l'absence d'endroit suffisamment abrité (seule *Heterozostera tasmanica* pousse au Nord des côtes chiliennes). Aucune espèce ne colonise les côtes ouest africaines, au sud de 10° Nord. Suite à la présence de la glace, les phanérogames marines ne prolifèrent pas sur les côtes de l'Antarctique (Phillips et Meñez, 1988).

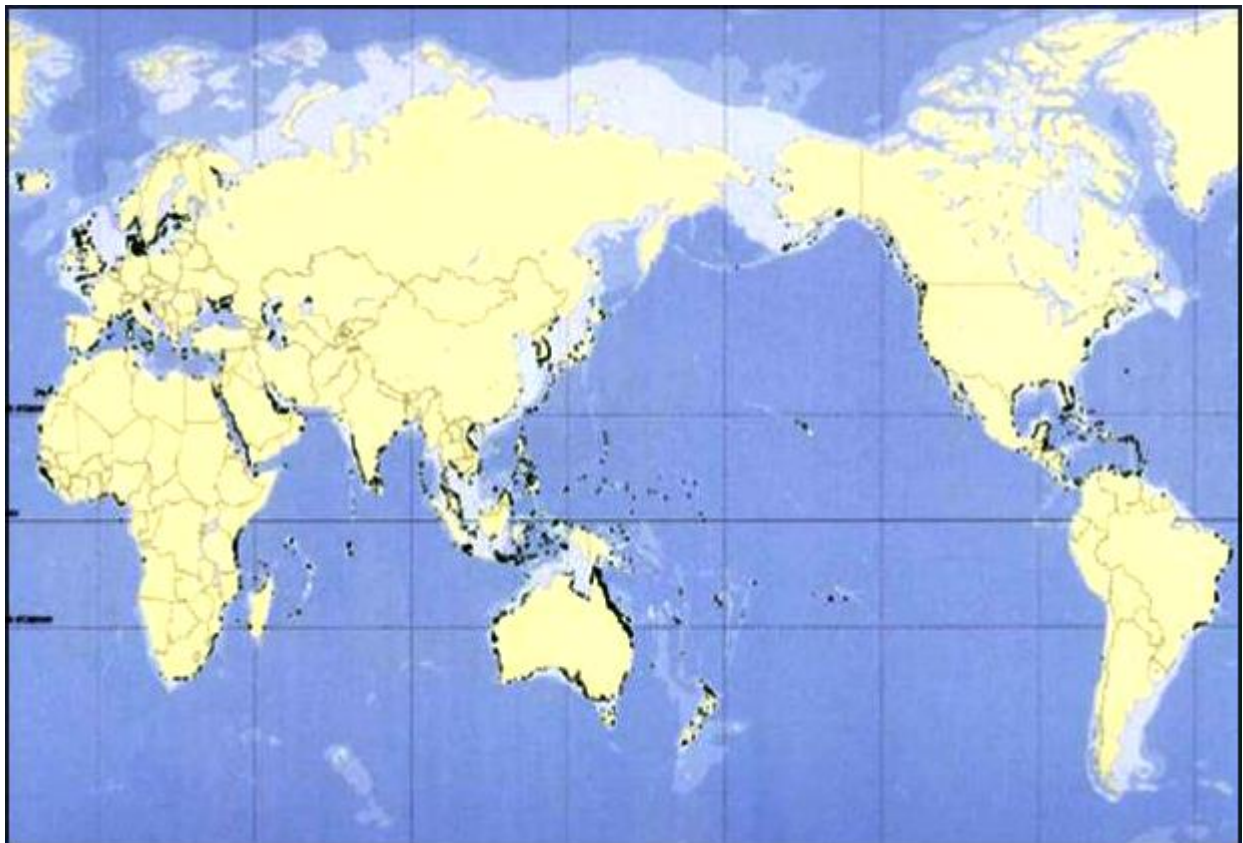


Figure 2 : Distribution mondiale des phanérogames marines (pointillé noir) (d'après Green et Short, 2003).

Les pays présentant la plus grande diversité de phanérogames marines sont l'Australie (29 espèces), les Etats-Unis (23 espèces) et le Japon (16 espèces). Ces pays ont pour particularité de posséder des côtes tant en milieu tempéré que tropical. Ensuite, viennent les pays tropicaux tels que l'Inde et les Philippines (14 espèces chacun) et la Papouasie Nouvelle-Guinée (12 espèces) (Green et Short, 2003). Généralement, on classe les phanérogames marines en espèces tempérées ou en espèces tropicales, cependant, les frontières entre les zones de répartition de ces deux groupes ne sont pas radicalement marquées ; les aires de répartition de certaines espèces peuvent déborder de l'aire qui leur est attribuée (*Cymodocea nodosa*, est présente sur les côtes tempérées

de Méditerranée, bien qu'elle soit considérée comme espèce tropicale (Larkum et Hartog, 1989 ; Hemminga et Duarte, 2000).

Certaines conditions particulières sont requises afin que les phanérogames marines puissent se développer, notamment : (1) un environnement marin, (2) un substrat apte à être colonisé par un système racinaire, (3) une immersion suffisante et (4) une irradiance suffisante (Hemminga et Duarte, 2000). Elles vont former de vastes herbiers principalement au niveau de l'étage infralittoral, généralement entre la surface et 30-40 m de profondeur (Hartog, 1970 ; Duarte, 1991), le plus souvent sur substrats meubles, parfois sur substrats rocheux (Hartog, 1970 ; Ben Alaya, 1972 ; Platini, 2000 ; Hemminga et Duarte, 2000).

I.5. Description des espèces actuelles

Les phanérogames marines présentent globalement la même morphologie (Fig. 3) : un rhizome rampant portant, au niveau des nœuds, des racines d'une part et des (ou un) axes dressés d'autre part. Les feuilles engainées à la base poussent à partir de l'axe dressé (Den Hartog, 1970 ; Phillips et Meñez, 1988 ; Kuo et McComb, 1989). Les rhizomes sont de section ronde ou latéralement aplatis, ils prolifèrent le plus souvent enfouis sous le sédiment. Mis à part pour le genre *Halophila*, les feuilles adultes présentent à leur base une gaine dépourvue de chloroplaste et donc de chlorophylle. Le méristème est basal et les jeunes feuilles poussent au centre du faisceau, au milieu des feuilles plus âgées. Entre la gaine et la feuille, la plupart des espèces présentent une excroissance tissulaire appelée ligule (Gobert, 2002).

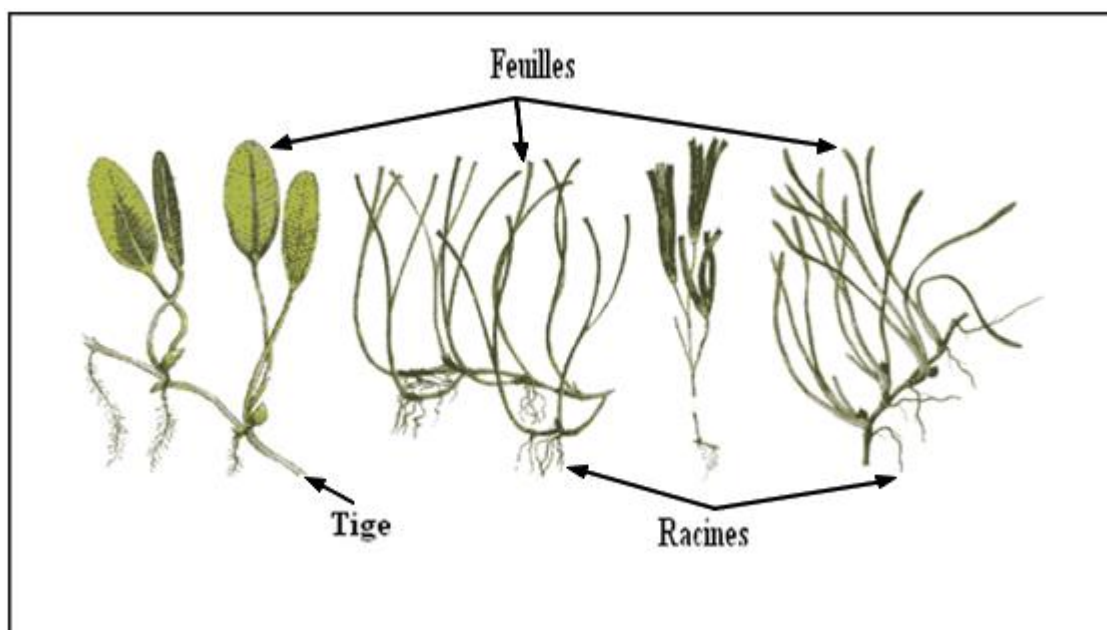


Figure 3 : Morphologie générale des phanérogames marines (d'après Gobert, 2002).

Les phanérogames marines sont capables de vivre totalement immergées, disposent d'un système racinaire efficace pour la fixation au sédiment, se sont adaptées à la vie en milieu salé et disposent toutes d'un système de pollinisation hydrophile (Den Hartog, 1970; Hemminga et Duarte, 2000). Suite à ces différentes formes d'adaptation au milieu marin, certaines caractéristiques morphologiques sont largement répandues chez les différentes espèces de phanérogames marines telles que : des feuilles aplaties (à l'exception de *Syringodium* et certains *Phyllospadix spp.*), allongées ou en forme de ruban (à l'exception des espèces du genre *Halophila*) et un système de racines et rhizomes fort développé (Short et Coles, 2001 ; Green et Short, 2003) (Fig. 4).

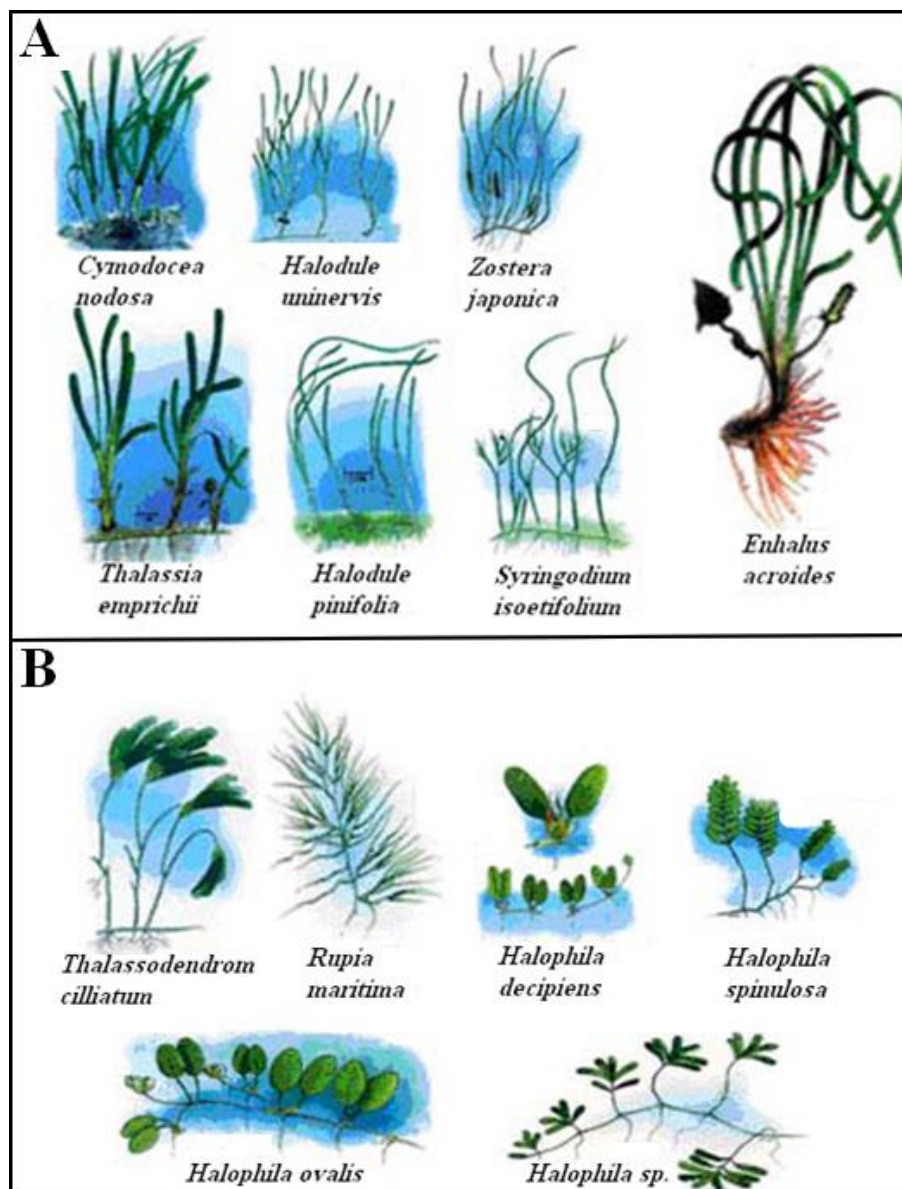


Figure 4 : Représentation schématique des différentes espèces de phanérogames marines. Forme typique avec des feuilles allongées et aplaties (A). Différentes formes ne répondant pas au schéma habituel (B) (d'après Wangeluve, 2007).

I.6. Les réseaux trophiques des herbiers de Magnoliophytes marines

Le réseau trophique d'un écosystème désigne les flux d'énergie et de matière existant entre les êtres vivants et leur milieu. L'étude de ces réseaux permet de mieux comprendre l'organisation des communautés biotiques (Cohen *et al.*, 1993). Les réseaux trophiques des herbiers et leur dynamique ont déjà été étudiés à travers le monde (Kharlamenko *et al.*, 2001 ; Connolly *et al.*, 2005 ; Alfaro *et al.*, 2006 ; Jaschinski *et al.*, 2008 ; 2011 ; Lebreton *et al.*, 2011 ; Dubois *et al.*, 2014). Le transfert d'énergie entre ce producteur primaire et les consommateurs, se fait principalement par la voie : directe (feuilles vivantes), détritique (feuilles mortes), ou par voie épiphytiques.

I.6.1. La voie directe

Les herbiers de Magnoliophytes marins sont très productifs et produisent ainsi une forte biomasse de matière organique sous forme de feuilles, de racines et de rhizomes. D'après une estimation de Duarte et Cebrian, (1996) réalisée sur l'ensemble des espèces de Magnoliophytes marins, seulement $19 \pm 5\%$ de la production primaire des herbiers est destinée à la consommation directe par les herbivores.

En Méditerranée, les principaux consommateurs de feuilles vivantes de posidonies *Salpa salpa* (saupe) et l'oursin *Paracentrotus lividus* (Pergent *et al.*, 1997 ; Gobert, 2002). Dans les Caraïbes, l'herbivorie directe est assurée par la tortue verte *Chelonia mydas*, les oursins *Lytechinus variegatus* (oursin vert), *Tripneustes esculentus* (oursin blanc) et *Diadema antillarum* (oursin diadème) ainsi que dans une moindre mesure, par des espèces de poissons herbivores tels que les perroquets dont *Sparisoma radians* (Lobel et Ogden, 1981 ; Orth et van Montfrans, 1984 ; Thayer *et al.*, 1984 ; Valentine et Duffy, 2006).

L'ingestion des feuilles fraîches de Magnoliophytes par les invertébrés est considérée comme plutôt rare comparée à celle des épiphytes, des détritiques ou des macro-algues en raison de leur nature moins digeste (Kitting *et al.*, 1984 ; Thayer *et al.*, 1984 ; Duffy et Hay, 2000 ; Cebrian, 2002). Les feuilles de *Thalassia testudinum* contiennent entre 35 et 59% en poids sec de cellulose, molécule difficilement assimilable par les herbivores, impliquant une résistance à la macération physique et à la digestion (Vicente *et al.*, 1980). Par ailleurs, les espèces de Magnoliophytes marins sécrètent des composés phénoliques à la fois dans les feuilles, les racines et les rhizomes qui agissent en tant que défense face à l'herbivorie (Zapata et Mcmillan, 1979 ; Mcmillan *et al.*, 1980 ; McMillan, 1984). Cependant, certains herbivores marins comme les poissons ont des adaptations physiologiques favorisant la digestion de la cellulose (faible pH stomacal, présence de

symbiontes bactériens dans le tractus digestif, présence de calcaire dans les épiphytes) (Valentine et Duffy, 2006).

I.6.2. La voie détritique

La production primaire de Magnoliophytes marins qui n'est pas consommée directement par les herbivores est destinée à être exportée vers des zones adjacentes à l'herbier d'origine (24%), stockée dans le sédiment (16%) ou être décomposée (50%) (Duarte et Cebrian, 1996). Une partie des nutriments présents dans les rhizomes de Magnoliophytes sont issus de la translocation des nutriments provenant des feuilles avant la sénescence. Pourtant, les racines et les rhizomes sont plus pauvres en azote et contiennent une plus grande quantité de matériel réfractaire que les feuilles (Kenworthy et Thayer, 1984). De plus, leur position souterraine ne les soumet pas à une action abrasive des courants et les expose à des conditions anaérobies ne permettant pas une décomposition efficace (Harrison, 1989 ; Kenworthy et Thayer, 1984). Cette matière organique est ainsi soumise à une décomposition plus lente à travers des processus diagéniques (Duarte et Cebrian, 1996) et n'atteint les niveaux trophiques supérieurs que de manière très indirecte.

Une fois détachées de leur faisceau, les feuilles mortes de Magnoliophytes marines, peuvent être exportées dans des zones extérieures à la zone de production. Cette production primaire ainsi perdue, n'atteindra pas les niveaux trophiques supérieurs de l'herbier d'origine (Cebrian et Duarte, 2001). Cependant, la moitié de la production primaire des Magnoliophytes marines est destinée à se décomposer au niveau du sédiment de l'herbier d'origine (Duarte et Cebrian, 1996) et à atteindre les niveaux trophiques supérieurs par la voie détritique (Thayer *et al.*, 1984 ; Mateo *et al.*, 2006). La décomposition des détritiques d'herbiers est limitée par la présence de lignine et de cellulose, molécule réfractaire à la digestion bactérienne (Kenworthy et Thayer, 1984) et par la présence de composés phénoliques sulfatés inhibant la dégradation par les bactéries (Mcmillan *et al.*, 1980). De plus, les composés labiles présents dans les feuilles sont lessivés dès la sénescence (Ruble et Roman, 1982).

La décomposition des détritiques d'herbiers est favorisée par la fragmentation mécanique d'origine physique et biologique (Ruble et Roman, 1982). L'action abrasive des mouvements de l'eau favorise le lessivage des feuilles (perte des composés labiles et la dissolution des molécules solubles) (Ruble et Roman, 1982). La fragmentation mécanique est principalement réalisée par les Invertébrés détritivores tels que les Amphipodes et les Isopodes (Fenchel, 1970 ; Zimmerman *et al.*, 1979 ; Lepoint *et al.*, 2006). Ils réduisent la taille des particules ce qui augmente la surface colonisable par les micro-organismes et favorisent ainsi le taux de dégradation (Fenchel, 1970 ; Zimmerman *et al.*, 1979).

La litière abrite une abondante communauté d'organismes dominée par des espèces détritiques (Gallmetzer *et al.*, 2005) et des micro-organismes tels que des bactéries, des levures, des protozoaires, et des micro-algues, ainsi que de nombreux Nématodes (Fenchel, 1970 ; Hopper et Meyers, 1967). Les micro-organismes assimilent ainsi les composés labiles présents dans les débris d'herbiers ou les épiphytes encore présents à leur surface (Lepoint *et al.*, 2006). Les détritiques tels que les Amphipodes assimilent ainsi plus efficacement la microflore associée aux débris que les débris eux-mêmes (Fenchel, 1977) mais cela dépend des espèces (Lepoint *et al.*, 2006). Les fragments de débris associés à des micro-organismes, ingérés par les Amphipodes, passent à travers l'intestin sans être digérés et sont ensuite rejetés à l'extérieur sous forme de pelotes fécales qui sont alors colonisées par les micro-organismes (Fenchel, 1970 ; Zimmerman *et al.*, 1979).

Les débris issus des feuilles de Magnoliophytes marins sont le siège d'un recyclage des nutriments et supportent une importante production primaire, de décomposeurs bactériens, et secondaire, d'Invertébrés détritiques (Zieman *et al.*, 1984 ; Cebrian, 1999 ; 2002 ; Mateo *et al.*, 2006). Cependant, certains détritiques tels que les Amphipodes et les Isopodes ont la capacité d'assimiler directement le carbone des débris d'herbiers grâce à des enzymes spécifiques digérant la cellulose (Zimmer *et al.*, 2002 ; Johnston *et al.*, 2005 ; Lepoint *et al.*, 2006). La chaîne trophique déritique est ainsi plus courte et favorise le maintien de la production primaire dans l'herbier d'origine (Lepoint *et al.*, 2006).

I.6.3. La voie épiphytique

La surface des feuilles d'herbiers constituent un substrat disponible pour la colonisation de divers organismes végétaux et animaux appelés épiphytes définis comme les «organismes se développant sur des végétaux» (Borowitzka *et al.*, 2006). Les épiphytes, très productifs et diversifiés, représentent jusqu'à 30% de la biomasse totale aérienne des herbiers (Valentine et Duffy, 2006) et constituent la principale source de nourriture des mésobrouleurs (Zimmerman *et al.*, 1979 ; Jernakoff *et al.*, 1996 ; Frankovich et Zieman, 2005). Les épiphytes sont en effet plus digestibles que les feuilles de Magnoliophytes marins (Gil *et al.*, 2006) et sont préférés à la matière déritique (Zimmerman *et al.*, 1979 ; Kitting *et al.*, 1984).

I.7. Les phanérogames marines de méditerranée

Seulement 9 espèces de phanérogames marines ont été signalées en Méditerranée, formant une ceinture quasi continue tout le long des côtes : *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813 ; *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, 1869 ; *Zostera noltei* (Hornemann), 1832 ; *Zostera* (*Zostera*) *marina* (Linnaeus), 1753 ; *Halophila stipulacea* (Forsskal) Ascherson, 1867 ; *Ruppia*

cirrrosa (Petagna) Grande, 1918 ; *Ruppia maritima* Linnaeus, 1753 ; *Halodule wrightii* Ascherson, 1868 et *Halophila decipiens* Ostenfeld, 1902 (Augier, 1985 ; Procaccini *et al.*, 2003).

Posidonia oceanica constitue l'espèce la plus répandue et la plus étudiée (Kuo et Hartog, 2001 ; Short *et al.*, 2001 ; Borum et Greve, 2004 ; Telesca *et al.*, 2015) ; de nombreuses études ont abordé les différents aspects de sa distribution (Pasqualini *et al.*, 1998 ; Piazzini *et al.*, 2000), de son écologie, de sa physiologie (Alcoverro *et al.*, 1997 ; 2001 ; Marbà *et al.*, 2002 ; Lepoint *et al.*, 2002 ; 2004 ; Invers *et al.*, 2001 ; 2004) et plus récemment, de son aspect génétique (Capiomont *et al.*, 1996 ; Micheli *et al.*, 2005).

II. *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813

II.1. Distribution

La phanérogame marine *Posidonia oceanica* est endémique à la mer Méditerranée (Boudouresque et Meinesz 1982, Gobert *et al.*, 2006). La posidonies est présente dans une grande partie du pourtour méditerranéen (Den Hartog, 1970 ; Phillips et Meñez, 1988), très exactement dans 16 pays (Giakoumi *et al.*, 2013), couvrant ainsi une surface allant jusqu'à 45 000 km² dont 12 247 km² cartographiés (Pasqualini *et al.*, 1998, Telesca *et al.*, 2015). Au niveau du détroit de Gibraltar, l'influence des eaux atlantiques froides et moins salines que celles méditerranéennes est à l'origine de l'absence de la posidonies (Pérez-Lloréns *et al.*, 2014). Cependant, l'absence de cette phanérogame marine au niveau des côtes égyptiennes, libanaises et palestiniennes serait due aux températures élevées des eaux (Celebi *et al.*, 2007). La faible disponibilité en lumière suite à la forte turbidité au niveau des embouchures des grands fleuves (Rhône, Pô), rend impossible l'installation des posidonies (Boudouresque et Meinesz, 1982) (Fig. 5).



Figure 5 : Répartition de *Posidonia oceanica* le long des côtes méditerranéennes (ligne rouge) (d'après Procaccini *et al.*, 2003).

II.2. Caractéristiques biologiques

II.2.1. Morphologie

Posidonia oceanica est constituée de tiges rampantes (ou dressées) de forme cylindrique, fixés dans le sédiment par un système racinaire ; ce sont les rhizomes (Giraud, 1979 ; Boudouresque *et al.*, 2006a). Ces derniers ont une croissance qui se fait de deux manières différentes et réversibles (Caye, 1980) :

- Une croissance orthotrope (dressés) permettant une compensation de l'enfouissement des faisceaux dans le sédiment piégé par la canopée de l'herbier de posidonies (Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983 ; Molenaar *et al.*, 2000). Ainsi les rhizomes réagissent par un allongement vertical de quelques millimètres à quelques centimètres par an (Boudouresque *et al.*, 1984). Cette disposition forme un lacis de rhizomes, racines, leur necromasse et le sédiment, appelé matte (Fig. 6) (Boudouresque et Meinesz, 1982). Cette dernière peut croître au-dessus du niveau initial d'un mètre par siècle, et son épaisseur peut dépasser 8 m (Molinier et Picard, 1952 ; Romero *et al.*, 1994).
- Une croissance plagiotropes (horizontale) qui permet une colonisation de l'espace environnant (Caye, 1989). Les rhizomes plagiotropes ont une croissance qui n'excède pas 10 cm par an, le plus souvent entre 1 et 6 cm par an (Drew et Jupp, 1976 ; Mossé, 1984 ; Marba et Duarte, 1998) ; ils ont une croissance plus rapide que les rhizomes orthotropes et présentent des faisceaux avec un plus grand nombre de feuilles (Wittmann, 1984 ; Molenaar *et al.*, 2000).

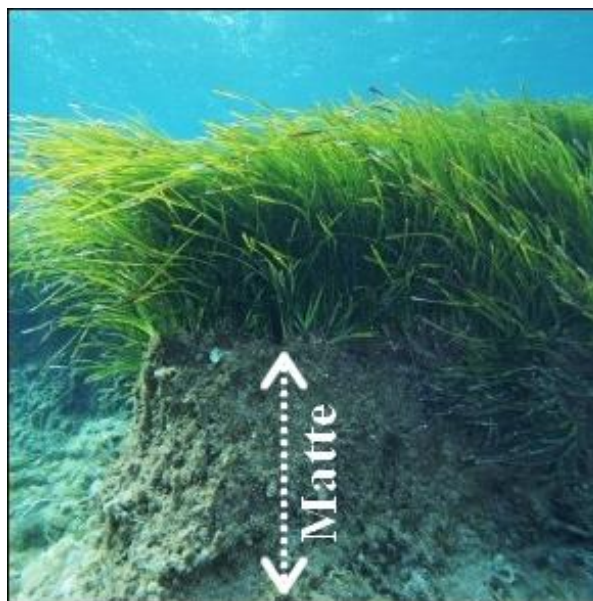


Figure 6 : Herbier de posidonies sur matte retrouvé à la réserve naturelle de Scandola (Corse). (<https://www.mio.univ-amu.fr/gisposidonie>).

II.2.2. Reproduction

Le cycle de reproduction des magnoliophytes marines se fait intégralement sous l'eau ; la dissémination du pollen vers les fleurs se produit par les courants d'eau (pollinisation hydrophile) (Van Tussenbroek *et al.* 2016). Le pollen de *Posidonia oceanica* forme des filaments visqueux qui dérivent au gré des courants, les ovaires se sont adaptées à la capture de ce pollen ; ils sont équipés de denticulations (stigmates) qui l'accrochent au passage (Boudouresque et Meinesz, 1982). Quelques décennies auparavant, la floraison de *Posidonia oceanica* été considérée comme un phénomène très rare (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque *et al.*, 1979 ; 1980 ; Thelin et Boudouresque, 1985 ; Borum et Greve, 2004), cette constatation est sans doute due à une mauvaise prospection générée par certains facteurs liées à la biologie de l'espèce. Deux facteurs font que les fleurs de posidonie (Fig. 7), sont très difficiles à apercevoir : D'abord, sa reproduction ne se fait pas tous les ans et lorsqu'elle a lieu, elle ne se fait que dans des secteurs très localisés (Giraud, 1977). D'autre part, les fleurs de posidonie sont vertes et sont souvent cachées par les longues feuilles (Boudouresque et Meinesz, 1982). Selon Balestri et Cinelli, (2003), la floraison de la posidonie est devenue un phénomène qui est fréquemment signalé. Quand elle a lieu, la floraison des posidonies se déroule en automne et intervient généralement sur des aires géographiques limitées (Caye et Meinesz, 1984 ; Mazzella *et al.*, 1984 ; Thelin et Boudouresque, 1985 ; Pergent *et al.*, 1989 ; Buia et Mazzella, 1991 ; Stopelli et Peirano, 1996 ; Marbà *et al.*, 2004). La floraison semble induite par des modifications de paramètres environnementaux, notamment l'élévation de la température estivale (Caye et Meinesz, 1984 ; Thelin et Boudouresque, 1985 ; Pergent *et al.*, 1989 ; Stopelli et Peirano, 1996 ; Borum et Greve, 2004). L'activité solaire serait l'un des facteurs pouvant potentiellement influencer la floraison (Montefalcone *et al.*, 2013).

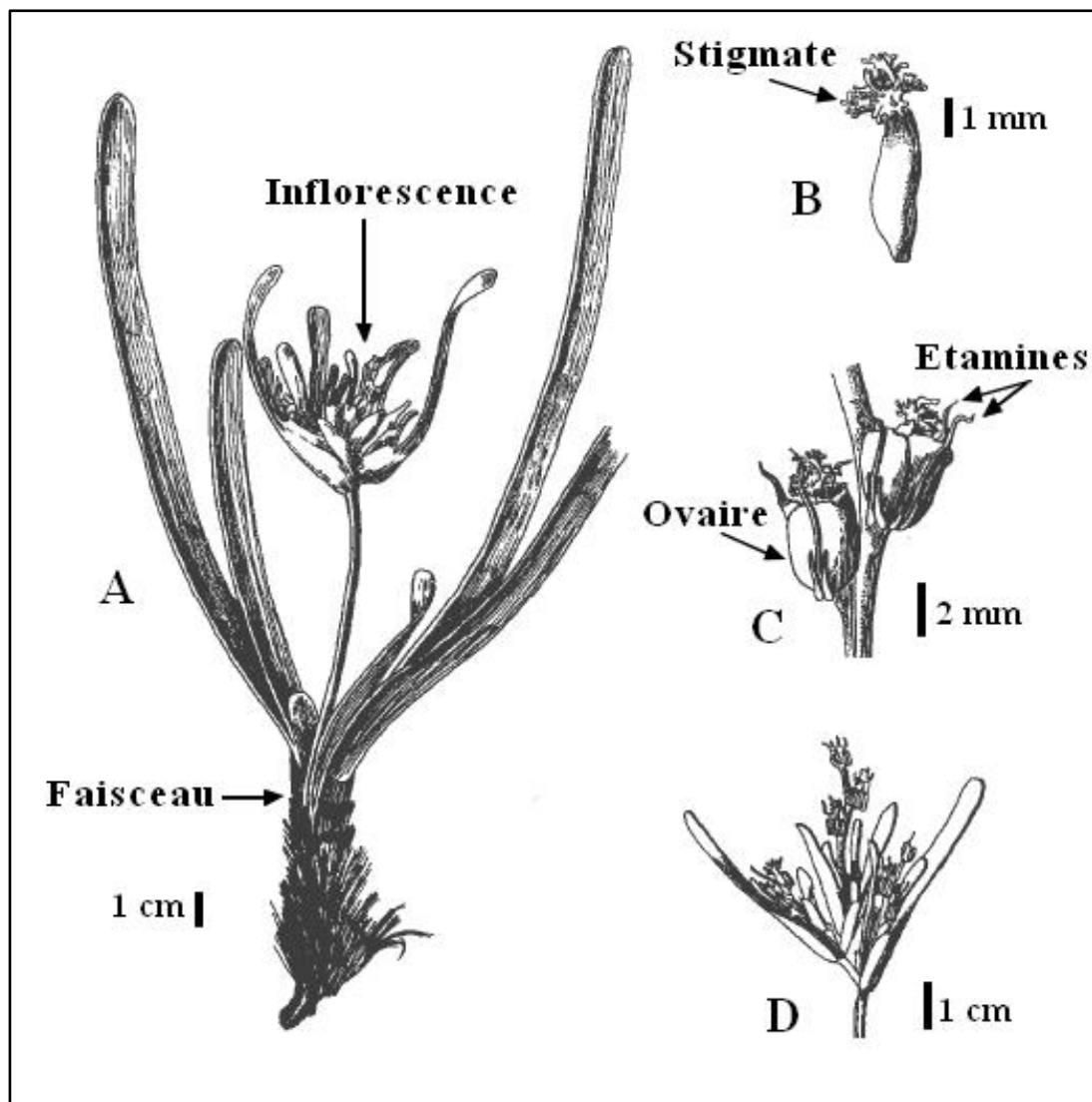


Figure 7 : Fleur de *Posidonia oceanica*. Faisceau de feuilles et son inflorescence (A) ; ovaire isolé (B) ; deux fleurs de posidonie (C) ; inflorescence isolée (D). [D'après Den Hartog, (1971)].

Contrairement à la floraison, le phénomène de fructification n'est quant à lui que rarement signalé en méditerranée (Boudouresque et Thelin, 1985). La fécondation donne naissance à des fruits (Marbà *et al.*, 2004) (Fig. 8), qui à maturité (au printemps) se détachent pour qu'en suite se disséminent au gré des courants pendant plusieurs jours, avant que la graine soit libérée et coule sur le fond pour une éventuelle germination (Caye et Meinesz, 1984 ; Cinelli *et al.*, 1995). Cependant, près de 87% de la perte du potentiel reproducteur de *Posidonia oceanica* est due à un avortement massif des fruits ; le phénomène de prédation des fruits par les herbivores constitue également un facteur réduisant encore plus le potentiel reproducteur (Balestri et Cinelli, 2003). Par ailleurs, lorsque la germination a lieu elle permet rarement l'installation de nouveaux individus, faisant de la reproduction asexuée la voie principale de multiplication de la posidonies (Molinier et Picard, 1952 ; Meinesz *et al.*, 1992 ; Procaccini et Mazzella, 1996).

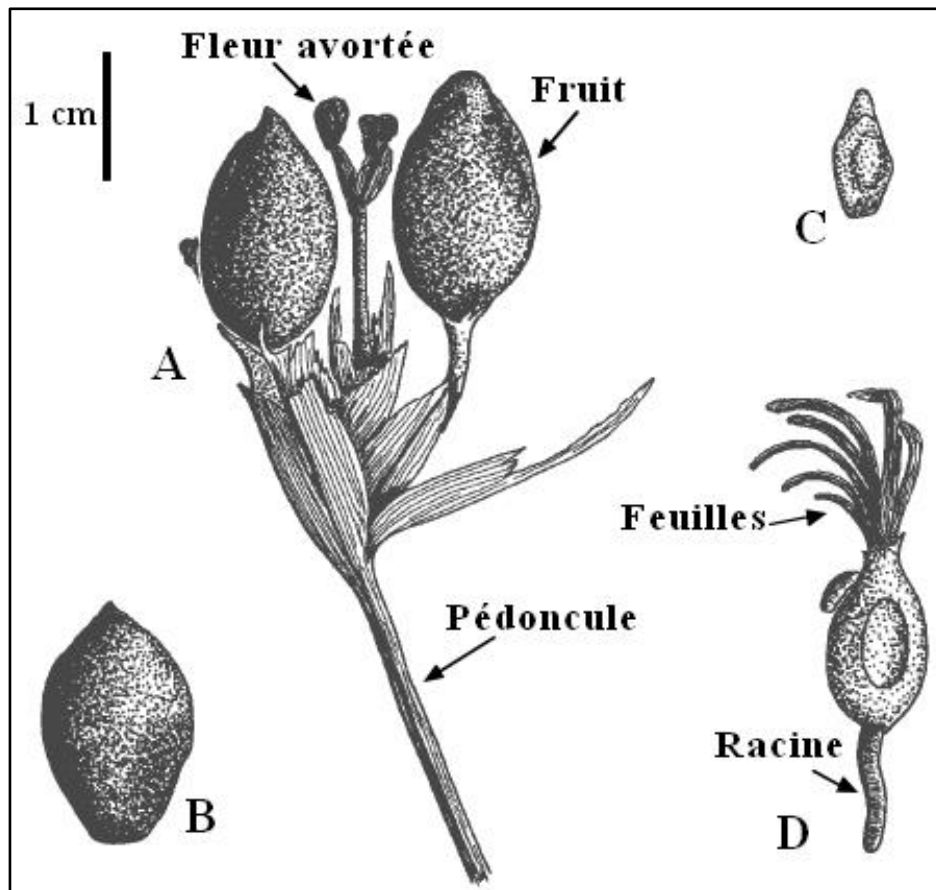


Figure 8 : Fruit de *Posidonia oceanica*. Pédoncule avec deux fruits (A), fruit isolé (B), graine (C), graine en cour de germination (D). [D'après Den Hartog, 1974 ; In : Boudouresque et Meinesz, (1982)].

Plusieurs travaux de recherches ont été réalisés sur la floraison et la fructification de *Posidonia oceanica* ; entre autres on peut citer ceux de Balestri et Cinelli (2003) sur la reproduction sexuée de *Posidonia oceanica*, Diaz-Almela *et al.*, (2007) sur les conséquences du réchauffement climatique sur la floraison, et celui de Remizowa *et al.*, (2012) sur l'anatomie et le développement des fleurs de posidonies. A ce jour aucune étude ne mentionne la floraison ou la fructification de *Posidonia oceanica* au niveau des côtes algérienne.

II.3. Facteurs écologiques

La lumière constitue l'un des plus importants facteurs pour la survie des herbiers à *Posidonia oceanica* (Ballesta *et al.*, 2000 ; Elkalay *et al.*, 2003) ; cette dernière nécessite 10 à 16 % de l'irradiance de surface pour sa survie (Alcoverro *et al.*, 2001 ; Ruiz et Romero, 2001). Une salinité optimale comprise entre 38.4 et 39.1 psu, ainsi qu'une température optimale comprise entre 17 et 20°C sont requise pour une meilleur croissance des posidonies (Den Hartog, 1970 ; Ben Alaya, 1972 ; Augier *et al.*, 1980 ; Fernández-Torquemada et Sánchez-Lizaso, 2005 ; Gacia *et al.*, 2007 ; Ruiz *et al.*, 2009). Un important hydrodynamisme favorise l'arrachage des faisceaux et l'érosion des mattes, entravant ainsi le développement de cette plante marine (Boudouresque *et al.*, 2006a).

II.4. Structure et micro-habitats des herbiers à *Posidonia oceanica*

Les herbiers de posidonies forment de grandes prairies sous-marines qui peuvent parfois atteindre plusieurs km² (Michel, 2011), dont la formation nécessite un substrat préalablement préparé par d'autres végétaux. Au même titre que la forêt en milieu terrestre, l'herbier à *Posidonia oceanica* constitue le climax d'une succession de peuplements (Boudouresque et Meinesz, 1982). Cette succession peut avoir lieu, aussi bien, sur du sable que sur substrat dur (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Cinelli *et al.*, 1995). Cependant, les herbiers qui se développent sur matte, présentent une certaine différence par rapport aux herbiers se développant sur substrat rocheux (tel que les herbiers des sites d'étude du présent travail). Ces derniers ont un taux croissance (-42 %), une longueur (-23 %) et une surface de feuille (-32 %) moindre que ceux sur du sable ou sur matte (Di Maida *et al.*, 2013).

L'herbier à *Posidonia oceanica* est une structure assez complexe, constitué de plusieurs compartiments interconnectés : la canopée, les rhizomes, la matte et la litière. Ces compartiments présentent une multitude de niches écologiques et un ensemble de micro-habitats très diversifié, offrant ainsi un lieu de vie pour plusieurs espèces animale et végétale (Kikuchi, 1980). L'herbier à *Posidonia oceanica* est constitué généralement de quatre biotopes : l'herbier sur matte ; les intermattes, les tombants de mattes et la litière (Fig. 9). La matte de l'herbier constitue un édifice structural original (Molinier et Picard, 1952), qui peut être érodée par l'hydrodynamisme. En effet, lorsque les herbiers superficiels sont directement attaqués par les vagues et la houle, de nombreux rhizomes sont arrachés créant ainsi les intermattes et les chenaux (Blanc, 1958). Le tombant de matte, est l'épaisseur de la matte qui est observée au niveau de l'inter-matte et qui peut varier en fonction de l'érosion plus ou moins importante provoquée par l'hydrodynamisme. Les tombants de mattes constituent donc la pente verticale de la matte de l'herbier à *Posidonia oceanica* (In Mezali, 2008). La litière est l'ensemble du matériel végétal détaché de la plante et présent à la surface du sédiment marin entre les rhizomes de posidonies ou sur les intermattes de l'herbier. Cette litière est constituée de feuilles mortes de posidonies, des algues libres ou fixées aux feuilles mortes et de fragments de rhizomes (Francour, 1990).

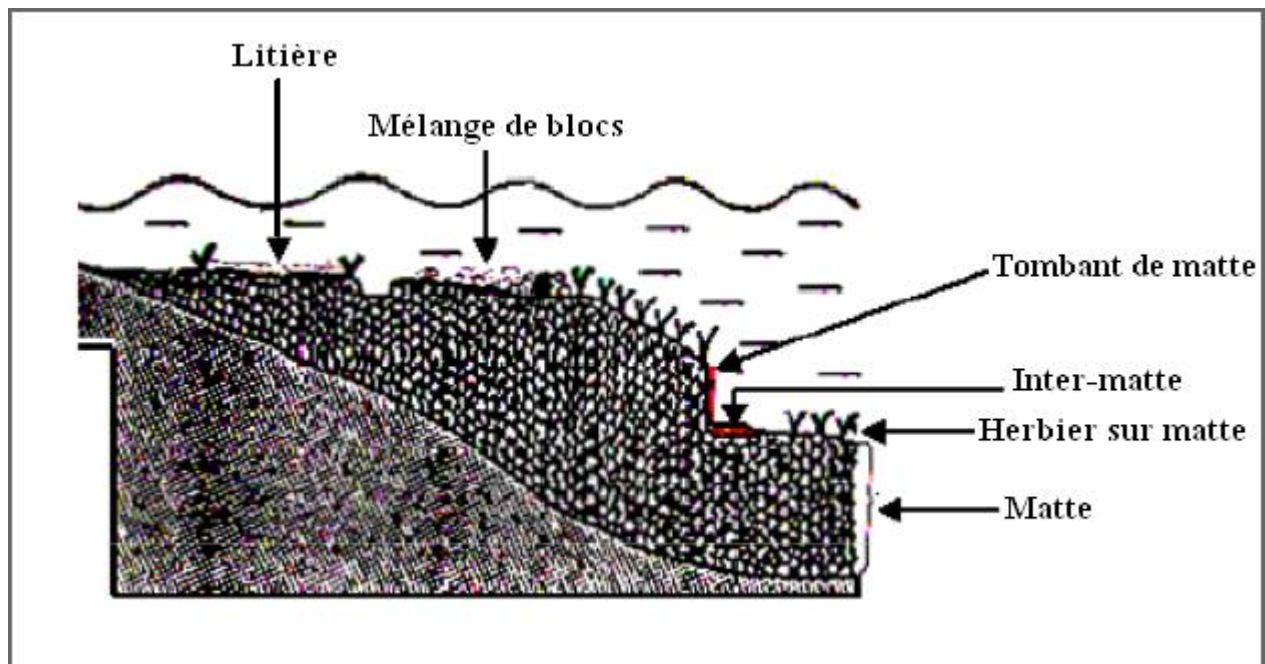


Figure 9 : Schématisation des différents biotopes de l'herbier à *Posidonia oceanica* (d'après Mezali, 2008).

II.5. Epiphytes et micro-épiphytes associés à *Posidonia oceanica*

Un total de 660 espèces d'épiphytes de posidonies ont été recensés à ce jour, avec 430 espèces d'entre eux constituant les épiphytes des feuilles et 437 espèces formant les épiphytes du rhizome (Piazzini *et al.*, 2016). L'importante biomasse des épiphytes, varie selon la période de l'année, l'âge de la feuille de posidonies (il existe plus d'épiphytes sur les feuilles les plus âgées), la partie de la feuille considérée, la face de la feuille (nombre plus important sur la face interne) et la profondeur (Lepoint *et al.*, 2000).

Les macroalgues épiphytes des feuilles de posidonies sont généralement des espèces photophiles qui se retrouvent exclusivement au sein des herbiers, ou parfois en épiphytes d'autres macroalgues des fonds rocheux sublittoral (Van der Ben, 1971). Les algues encrustantes sont les plus représentées parmi les épiphytes des feuilles de posidonies avec une biomasse de 60% de l'ensemble des épiphytes, les algues dressées représentent 20% de la biomasse totale, les bryozoaires 15%, alors que les hydrozoaires sont les moins abondants (Cebrian *et al.*, 1999 ; Lepoint *et al.*, 2007). Les invertébrés sessiles des feuilles de posidonies sont principalement représentés par les Bryozoaires, bien que plusieurs espèces d'Annélides, Cnidaires et Tuniciers sont également typique de cet habitat (Kerneis, 1960 ; Merano et Vaccarella, 1970). Les Bryozoaires et les Porifères sont les groupes dominants des invertébrés sessiles épiphytes des rhizomes de posidonies (Benito, 1987 ; Bianchi *et al.*, 1989).

Les micro-épiphytes (Fig. 10) représentent également une composantes importante des assemblages de feuilles de posidonies, spécialement dans les premier stades de colonisation ; les principaux taxons sont les Cyanophycées, Diatomées, Dinoflagellés et les Foraminifères (Piazzi *et al.*, 2016). En général, les Cyanophycées ont une faible couverture, mais ils peuvent parfois proliférer pour former une couche quasi continue sur les limbes des feuilles, spécialement en période estivale ; les espèces de Cyanophycées épiphytes les plus communes appartiennent aux genres *Anabaena*, *Calothrix*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Pseudanabaena* et *Rivularia* (Mazzella *et al.*, 1981 ; Blundo *et al.*, 1999 ; Jacquemart et Demoulin 2008 ; Mabrouk *et al.*, 2011 ; 2014 ; Ben Brahim *et al.*, 2013). Les Diatomées et les Dinoflagellés sont les plus importants micro-épiphytes de *Posidonia oceanica* (Ben Brahim *et al.*, 2006, 2013 ; Mabrouk *et al.*, 2011, 2014). Les Diatomées sont pour la plupart pennées (Mazzella *et al.*, 1981 ; Novak, 1984 ; Mazzella *et al.*, 1994 ; Mazzella, 1983), bien que les Diatomées centriques peuvent être localement abondantes, spécialement dans des eaux riches en nutriments (Ben Brahim *et al.*, 2013) ; les plus communes appartiennent aux genres : *Amphora*, *Cocconeis*, *Dactyliosolen*, *Diploneis*, *Fragilaria*, *Gomphonemopsis*, *Grammatophora*, *Licmophora*, *Mastogloia*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Plagiotropis*, *Pleurosigma*, *Synedra* et *Striatella* (Mazzella *et al.*, 1981 ; Novak 1984 ; Mazzella et Spinoccia 1992 ; Mazzella *et al.*, 1994 ; Mazzella 1983 ; Mabrouk *et al.*, 2011 ; Majewska *et al.*, 2014). Parmi les Dinoflagellés, les Peridiniales, les Procentrales et les Gymnodiniales sont les plus communes des feuilles de posidonies (Mabrouk *et al.*, 2011 ; Ben Brahim *et al.*, 2013). Les Foraminifères sont également souvent abondants sur les feuilles de posidonies (Piazzi *et al.*, 2016).

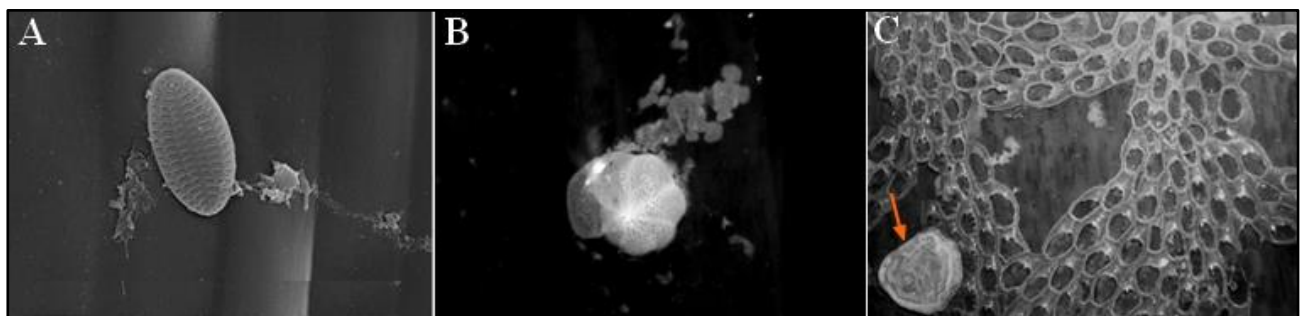


Figure 10 : Micro-épiphytes de *Posidonia oceanica*. Diatomée du genre *Cocconeis* sur une feuille de *Posidonia oceanica* (Grossissement : x4300) (Pête, 2005) (A) ; *Lobatula lobatula*, foraminifère très fréquent des feuilles de posidonies (Grossissement : x40) (B) ; *Cyclocibicides vermiculatus* (flèche rouge), foraminifère associé à une colonie du bryzoaire *Electra posidoniae* (C) (vue au binoculaire) (Casieri *et al.*, 2008).

II.6. Fonctionnement de l'écosystème à *Posidonia oceanica*

La biomasse moyenne de *Posidonia oceanica* est de 1611 gPS/m² pour la partie enfouie dans le sédiment et de 501 gPS/m² pour la partie non enfouie (Duarte et Chiscano, 1999). Les valeurs les plus élevées atteignent jusqu'à 1640 et 5500 gPS/m² respectivement pour les feuilles et les rhizomes (Boudouresque *et al.*, 2006b). En plus de la biomasse de l'herbier, les feuilles et les rhizomes de posidonies abritent des épiphytes autotrophes dont la biomasse moyenne se situe entre 160 et 420 gPS/m² (Boudouresque *et al.*, 2006b).

La production primaire de *Posidonia oceanica* se situe entre 400 et 2500 gPS/m²/an⁻¹, ces valeurs ont tendance à diminuer avec la profondeur. D'autre part, la contribution des épiphytes autotrophes à la production primaire de la posidonies peut atteindre jusqu'à 500-900 gPS/m²/an⁻¹ (Cebrián et Duarte, 2001 ; Romero, 2004 ; Boudouresque *et al.*, 2006a). La somme de production primaire de ces deux compartiments (les herbiers et ses épiphytes), atteint des valeurs allant de 2000 à 3000 gPS/m²/an⁻¹, ce qui est proches des valeurs les plus élevées de la production primaire nette observées dans les milieux terrestres (Boudouresque *et al.*, 2006a). Les différentes manières à travers lesquelles la posidonies acquière les nutriments piégés dans sa canopée et/ou dans le sédiment (Gobert *et al.*, 2002 ; Lepoint *et al.*, 2002 ; Romero *et al.*, 2006) (Fig. 11), seraient sans doute à l'origine de ce paradoxe (Boudouresque *et al.*, 2006b). En effet, (1) la posidonies utilise ses racines pour l'absorption des nutriments à partir du sédiment ; (2) cette absorption se fait également par les feuilles ; (3) l'azote inorganique, absorbée en excès par rapport aux besoins de la plante marine est stockée dans les rhizomes, en vue d'une utilisation ultérieure (Mateo *et al.*, 1997 ; Romero, 2004) ; (4) la canopée piège la matière organique particulaire, qui est par la suite minéralisée (Duarte *et al.*, 1999) ; (5) l'eau de mer au niveau de la canopée constitue un piège à éléments nutritifs issues de la minéralisation de la matière organique particulaire et des détritiques de posidonies ; l'eau de la canopée est donc un réservoir à nutriment (Gobert *et al.*, 2002) ; (6) la posidonie est capable de recycler les nutriments des feuilles sénescentes vers les feuilles plus jeunes ; (7) une éventuelle présence de bactéries fixatrices d'¹⁵N₂ sur les feuilles et/ou dans le rhizosphère (Béthoux et Copin-Montégut, 1986 ; Garcias-Bonet *et al.*, 2016).

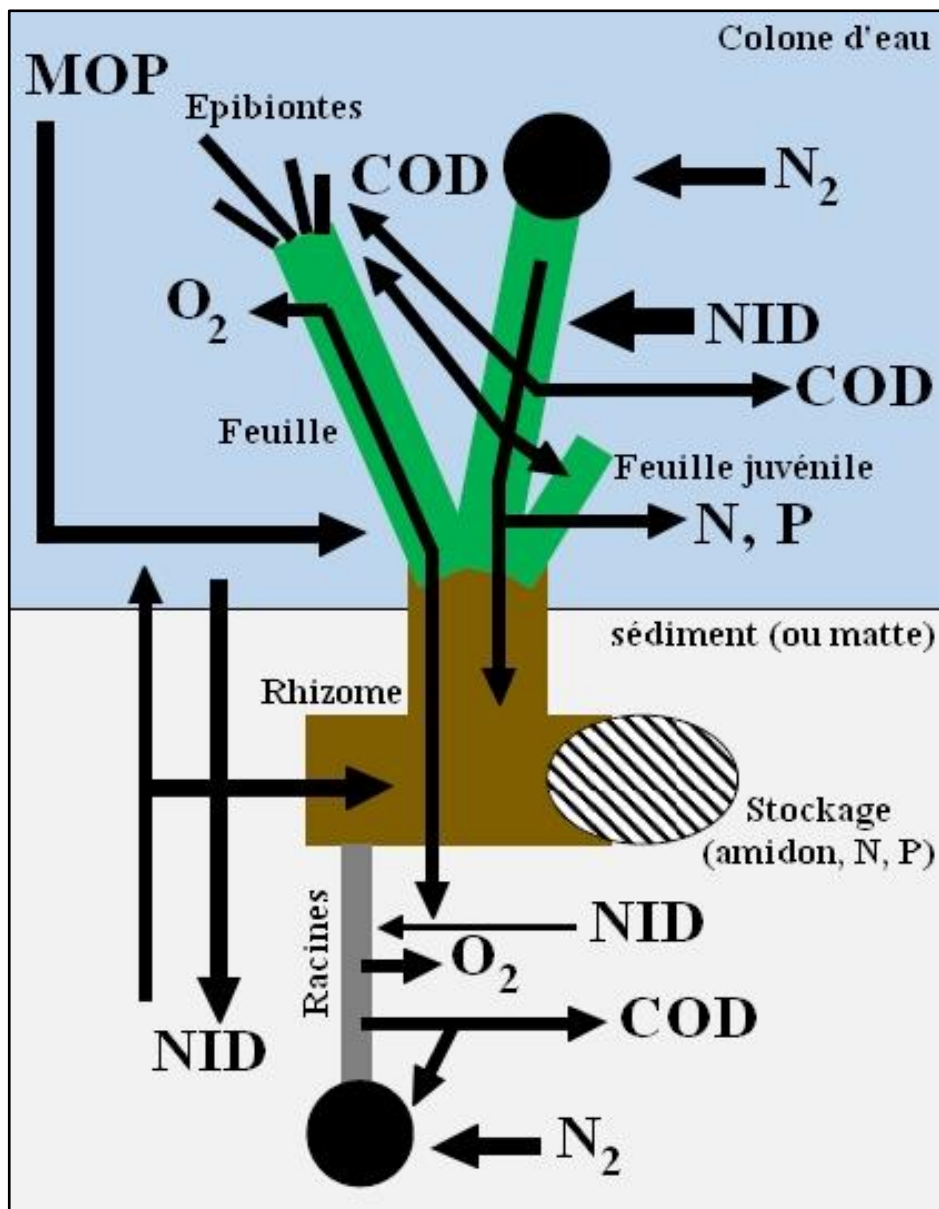


Figure 11 : Flux des nutriments et du carbone au sein de l'écosystème à *Posidonia oceanica*. Cercle noir : bactérie fixatrice d' N_2 ; COD : carbone organique dissout ; MOP : matière organique particulaire ; N : azote ; NID : azote inorganique dissout ; P : phosphore (d'après Boudouresque *et al.*, 2006b).

L'écosystème de *Posidonia oceanica* à deux principales sources de carbone organique (Fig. 12) ; (1) du plancton hétérotrophe et de la matière organique particulaire issus de l'écosystème pélagique ; (2) des téléostéens consommateurs de zooplancton de l'écosystème pélagique, s'abritant la nuit dans les herbiers.

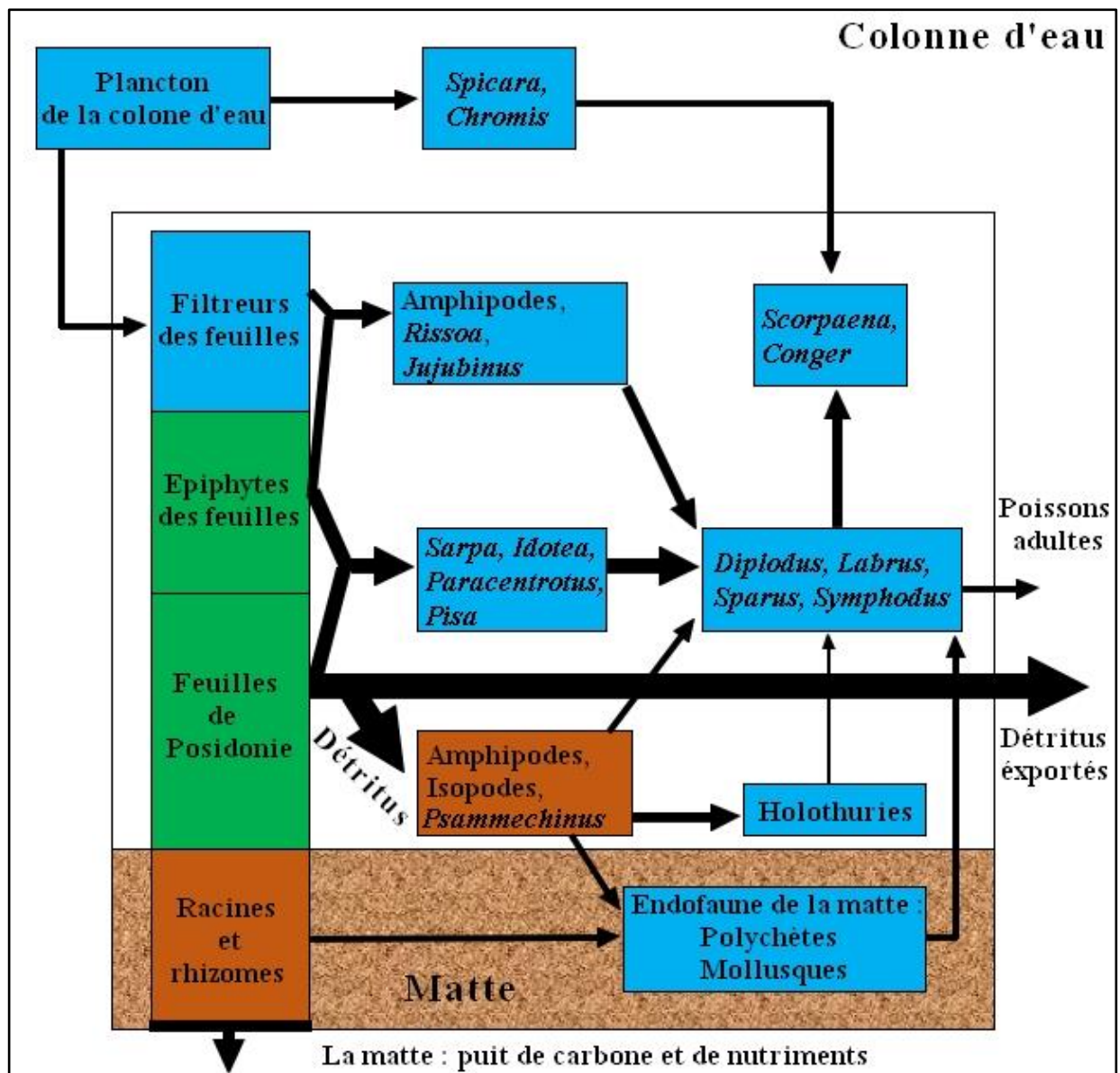


Figure 12 : Modèle conceptuel simplifié des compartiments fonctionnels et des réseaux trophiques de l'écosystème à *Posidonia oceanica*, avec les principaux flux (d'après Boudouresque *et al.*, 2006b).

Le devenir du carbone organique issue des herbiers, suit trois voies différentes : (1) une grande partie de la production primaire des feuilles de posidonies est exportée sous forme de feuilles mortes ; (2) à l'âge adultes les poissons quittent la nurserie pour d'autres écosystèmes ; (3) ou bien le carbone est séquestré au niveau de la matte pour des millénaires (Boudouresque *et al.*, 2006b). Il est généralement considéré qu'au sein de cet écosystème, la consommation directe des feuilles vivantes de posidonies par les herbivores est de très faible ampleur ; selon Cebrian et Duarte, (2001), elle serait un peu moins de 10%. Cependant, le paradigme de la faible consommation de feuilles par les herbivores pourrait bien être un artefact lié à la surpêche (Pergent *et al.*, 1993). Certains auteurs avancent que la consommation de feuilles vivantes de phanérogames marine était sous-estimée et que la faible consommation par les herbivores n'est

pas un phénomène constant sur le plan spatio-temporel (Valentine et Duffy 2006 ; Valentine et Heck, 1999 ; Heck et Valentine, 2006) ; la consommation de feuilles vivantes de phanérogames marine peut être très importantes dans certaines régions du monde (Remy, 2010). Les feuilles de posidonie qui ne sont pas consommées, sont exportées vers d'autres zones adjacentes (Lepoint *et al.*, 2006 ; Cardona *et al.*, 2007 ; Vizzini, 2009), ou s'accumulent dans la litière, dont la minéralisation nécessite des mois ou des années (Boudouresque *et al.*, 2006b). La chaîne alimentaire à base de détritus est le principal mécanisme de transfert d'énergie des feuilles vers les niveaux trophiques supérieurs (Matéo *et al.*, 2006). Contrairement aux feuilles de *Posidonia oceanica*, les épiphytes autotrophes des feuilles de posidonies sont largement consommés par les herbivores et leur minéralisation est un processus à court terme (Boudouresque *et al.*, 2006b).

II.7. Importance des herbiers à *Posidonia oceanica*

Plusieurs définitions, descriptions et classifications des services rendus par les écosystèmes ont été proposées au cours des dernières décennies (Costanza *et al.*, 1997 ; de Groot *et al.*, 2002 ; Ewel *et al.*, 1998 ; Hein *et al.*, 2006 ; Holmlund et Hammer, 1999 ; MA, 2005 ; Moberg et Folke, 1999 ; Pimentel *et al.*, 1997). Une multitude de services est fournis par les herbiers de posidonies (Fig. 13). Il a été démontré qu'à 10 m de profondeur, l'herbier peut générer 14 l d'oxygène par jour ; cette considérable production est due à la biomasse des feuilles et de ces épiphytes (Bay, 1978 ; Alcoverro *et al.*, 1998). La production primaire des herbiers de *Posidonia oceanica* est similaire ou supérieure à celle d'autres environnements hautement productifs, qu'ils soit terrestres (forêts tempérées ou tropicales) ou marins (zones d'upwelling, mangroves, récifs coralliens) (Fergusson *et al.*, 1980 ; Romero, 1989 ; Rico-Raimondino, 1995). Le rôle de nurserie est largement reconnu, une grande variété d'espèces vit dans les herbiers, protégée par les feuilles de *Posidonia oceanica*, ou vit dans les sédiments où se trouve la posidonie (Bell et Harmelin-Vivien, 1982 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Bellan-Santini *et al.*, 1986 ; 1994 ; Francour, 1990 ; Boudouresque, 2004). Les herbiers de posidonies fournissent des abris et de la nourriture pour diverses communautés de poissons, dont une forte proportion sont des espèces résidentes et des juvéniles d'espèces à forte valeur commerciale (Bell et Pollard, 1989 ; Harmelin-Vivien, 1982 ; Heck et Thoman, 1984 ; Connolly, 1994 ; Robertson, 1980 ; Francour, 1990).

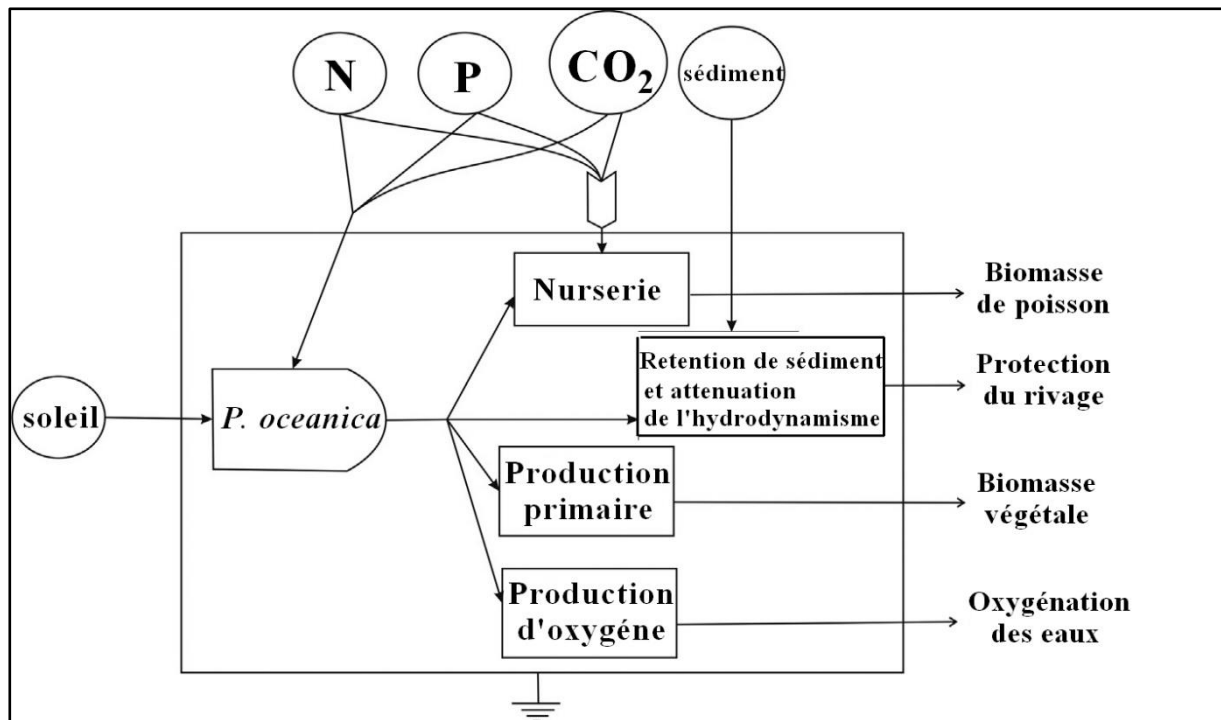


Figure 13 : Rôles et services de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (d'après Vassallo *et al.*, 2013).

Un des plus importants rôles de l'écosystème à *Posidonia oceanica* est la rétention des sédiments et l'atténuation de l'hydrodynamisme, ce qui conduit à une protection efficace contre l'érosion du littoral (Vassallo *et al.*, 2013). Plusieurs auteurs ont abordé la manière à travers laquelle les herbiers peuvent affecter les caractéristiques sédimentologiques (De Falco *et al.*, 2008 ; Gacia *et al.*, 1999) ou l'énergie des vagues (Basterretxea *et al.*, 2004 ; Infantes *et al.*, 2009 ; Vacchi *et al.*, 2010). En particulier, l'herbier amortit la houle constituant ainsi un obstacle au mouvement des sédiments sur le fond (Brunel et Sabatier, 2009) et joue un rôle actif dans l'équilibre sédimentaire des plages (Basterretxea *et al.*, 2004). Les forces hydrodynamiques sont réduites de 10 à 75% sous les feuilles (Gacia *et al.*, 1999 ; Gambi *et al.*, 1989) et de 20% à quelques centimètres au-dessus de l'herbier (Gacia et Duarte, 2001). Cette atténuation réduit l'érosion du littoral ; des exemples de régression côtière due à la perte de magnoliophytes marines ont été rapportés dans la littérature (Larkum et West, 1990 ; Pasqualini *et al.*, 1999 ; Pergent et Kempf, 1993). De plus, la présence d'une prairie de *Posidonia oceanica* dans la zone côtière produit des dépôts sur le rivage, appelés banquettes de feuilles mortes capables de réduire l'effet des vagues sur le littoral (Vassallo *et al.*, 2013).

III. La macrofaune benthique

La macrofaune benthique correspond aux organismes d'une taille supérieure à 1 mm vivant sur ou étroitement associés aux sédiments (Herman *et al.*, 1999). Elle est composée majoritairement d'Annélides, Arthropodes, Mollusques et Echinodermes (dont les holothuries) et joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes marins (Kristensen et Kostka, 2005 ; Meysman *et al.*, 2006 ; Braeckman *et al.*, 2010). Elle participe au recyclage de la matière organique via les processus de nutrition et de bioturbation (Uthicke et Karez, 1999) et constitue la base des réseaux trophiques (Darnaude *et al.*, 2004 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 2009). En effet, la macrofaune constitue un maillon essentiel des réseaux trophiques benthiques. Elle relie de manière très complexe, différentes sources de matière organiques, aux maillons trophiques supérieurs souvent exploité par l'homme et à celui des décomposeurs (Tenore et Rice, 1980 ; Alongi, 1998). Les consommateurs primaires de la macrofaune benthique sont adaptés à exploiter une source de nourriture très pauvre ce qui se traduit entre autres par des taux d'ingestion et des efficacités d'absorption particulièrement élevés (Lopez et Levinton, 1987). Cette fraction d'animaux benthique contrôle très largement de manière indirecte la remise en suspension, l'enfouissement, l'intégration au réseau trophique et la minéralisation de la matière organique particulaire sédimentée (Rhoads, 1974 ; Rosenberg, 2001 ; Meysman *et al.*, 2006).

La macrofaune constitue un indicateur pertinent du niveau de perturbation des écosystèmes marins côtiers et profonds (Bigot, 2006). La capacité de la macrofaune à traduire les modifications environnementales est liée : (1) à la faible mobilité de ces organismes qui sont souvent directement affectés par les sources de perturbation potentielles (Olsgard et Gray, 1995 ; Rosenberg, 2001 ; Shin *et al.*, 2004) ; (2) à leur durée de vie longue qui leur permet d'intégrer l'action des perturbations sur des échelles de temps significatives et (3) à l'existence d'un large spectre de sensibilité et de tolérance écologiques suivant la nature et l'adaptation des organismes considérés (Lancellotti et Stotz, 2004).

IV. Les holothuries : représentants majeurs de la macrofaune benthique

Les holothuries appelées communément "concombre de mer", constituent l'une des composantes les plus importantes et les plus abondantes des communautés benthiques (Purcell *et al.*, 2016) ; l'ordre des aspidochirotes sont parmi les plus importants représentants du compartiment benthique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (Harmelin *et al.*, 1980 ; Francour, 1990 ; Mezali, 2008). Ces organismes benthiques participent de manière considérable au recyclage de la matière organique et ont un rôle très important dans le réseau trophique détritivore de cet écosystème (Zupo et Fresi, 1984 ; Mezali *et al.*, 2006).

IV.1. Taxinomie

Les *Holothuroidea*, communément appelés holothuries (ou "concombre de mer"), sont l'une des cinq classes appartenant à l'embranchement des échinodermes. Ces derniers regroupent également les étoiles de mer (*Asteroidea*), les oursins (*Echinoidea*), les crinoïdes (*Crinoidea*) et les ophiures (*Ophiuroidea*) (Baker *et al.*, 1986). Les *Holothuroidea* constitue la deuxième classe la plus diversifiée des échinodermes ; avec plus de 1400 espèces appartenant à 160 genres (Smiley, 1994 ; Navarro, 2012) ; cette classe est subdivisée en trois sous-classes : les *Apodacea*, les *Aspidochirotea* et les *Dendrochirotea* et six ordres (*apodida*, *molpadiida*, *aspidochirotida*, *elasipodia*, *dendrochirotida*, *dactylochirotida*), qui se distinguent d'après la présence ou l'absence des pieds ambulacraires, la forme des tentacules buccaux (digités, dendritiques, pennés ou pelletés), la présence ou l'absence de muscles rétracteurs oraux, d'arbres respiratoires et de tubes de Cuvier (Hendler *et al.*, 1995). Les "concombres de mer" actuels sont le résultat de plus 460 millions d'années d'évolution ; le plus ancien fossile remonte à l'ordovicien inférieur (Gilliland, 1993 ; Reich, 1999 ; 2001).

Les holothuries se démarquent des autres échinodermes par l'existence d'un endosquelette constitué par des sclérites (= spicules) ; ce sont des pièces microscopiques à base de calcaires, éparpillées dans les couches dermiques du corps de l'holothurie (In Mezali, 2008). Chez certaines espèces d'holothuries, les sclérites peuvent être retrouvées dans pratiquement tous les organes, bien que d'autres espèces ne comportent que dans quelques parties du corps (In Ahmed, 2009). La morphologie, la taille et la distribution des sclérites dans les différents tissus constituent des caractères clefs dans la détermination et la classification des holothuries (Samyn *et al.*, 2006).

Avec l'arrivée de nouvelles techniques tel que la phylogénie moléculaire, d'anciennes classifications ont été confirmées et parfois revues et corrigées. En prenant comme exemple les holothuries aspidochirotes des côtes algériennes, Mezali, (2011) estime qu'il existe bien deux populations distinctes *H. (H.) tubulosa* et que *Holothuria (H.) stellati* est bien distincte des deux populations de *H. (H.) tubulosa*.

IV.2. Répartition

Les holothuries se trouvent au niveau de tous les habitats marins ; les *aspidochirotida* et les *dendrochirotida* ont une très large distribution qui peut aller des régions tropicales (même au niveau des zones récifales exposées) aux régions tempérées froides (jusqu'aux zones profondes à substrat meuble) (Purcell *et al.*, 2012). Elles sont pour la plupart benthiques à l'exception de quelques *Elasipodes* qui sont pélagiques ; ce sont d'ailleurs les seules échinodermes ayant des espèces holopélagiques (Miller et Pawson, 1990). Certaines espèces d'holothuries se trouvent sur les substrats durs (roches, anfractuosités, récifs coralliens), d'autres en épibioses sur des végétaux

ou des invertébrés ; mais la plupart d'entre elles sont caractéristiques des fonds meubles, pouvant vivre soit à leur surface, ou dans le sédiment. La répartition des différents groupes dans les zones littorales est marquée par la prédominance de l'ordre des Aspidochirotés (objet de notre étude) dans les zones intertropicales et celle des Dendrochirotés aux latitudes tempérées et élevées. Leur diversité atteint son maximum au niveau des zones littorales tropicales, où il a été recensé 20 espèces par hectare (Kerr *et al.*, 1993 ; Conand, 1994).

IV.3. Aspect Morphologique

Comme chez leurs plus proches parents, les échinoïdes, leur corps est sans de bras, leurs bouches et leurs anus sont situés aux deux pôles opposés, alors que les zones ambulacraires et interambulacraires sont disposés méridionalement autour d'un axe polaire allongé pour donner la forme allongée typique de "concombre" (Littlewood *et al.*, 1997 ; Ahmed, 2009). La forme vermiforme à cylindrique de la plupart des holothuries leur confère un aspect à symétrie bilatéral, un motif particulièrement visible chez certains membres appartenant à l'ordre des *Aspidochirotida* et des *Dendrochirotida*. Néanmoins, l'animal présente une symétrie pentaradiée comme en témoigne l'anneau calcaire, qui est habituellement composé de dix pièces calcaires (cinq pièces radiales et cinq pièces interradianales). Dans l'ensemble, la surface ventrale d'une holothurie, appelée trivium, est composée de trois zones ambulacraires et de deux zones interambulacraires ; tandis que la face ventrale, le bivium, est constituée de deux zones ambulacraires et de trois zones interambulacraires (Fig. 14) (Samyn *et al.*, 2006 ; Ahmed, 2009).

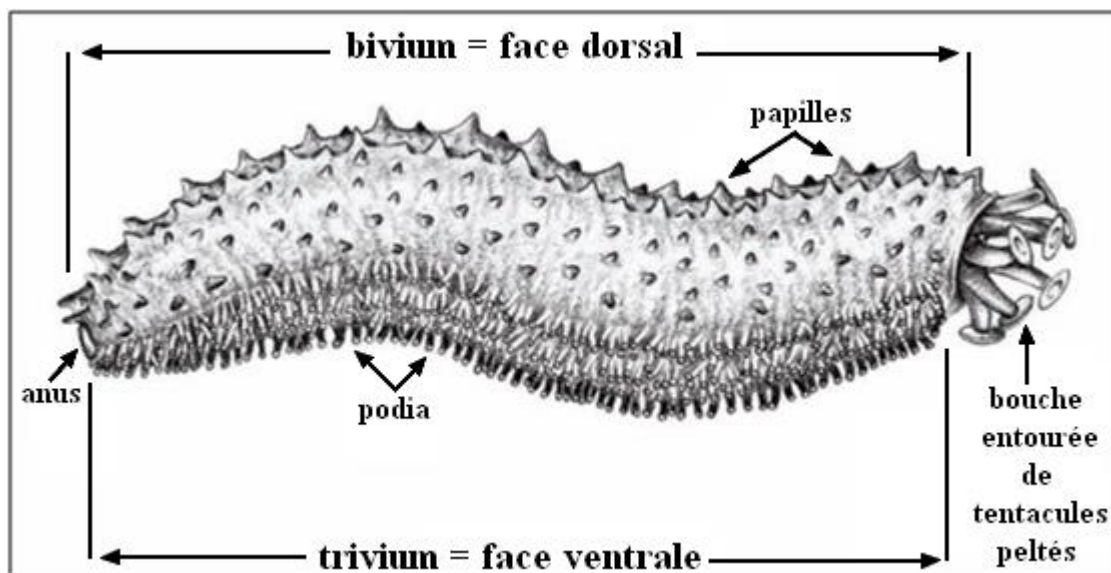


Figure 14 : Morphologie d'une holothurie aspidochirote (d'après Samyn *et al.*, 2006).

Les podia et papilles sont en rapport avec les cinq canaux radiaires qui, avec l'anneau aquifère pourvu d'une ou plusieurs vésicules de Poli et de un ou de plusieurs "canaux de sable", constituent le système aquifère, ou système ambulacraire qui sert à la fois à la respiration, à la locomotion et à la réception sensorielle (Fig. 15). Contrairement aux autres échinodermes, ce système s'ouvre la plupart du temps dans la cavité interne à hauteur de la plaque madréporique. De consistance souvent molle, les holothuries ont un squelette réduit formé par de microscopiques pièces calcaires, disséminées dans leur peau et autres tissus. La couronne calcaire est formée de pièces radiales et de pièces interradiales macroscopiques. La réduction du squelette est largement compensée par le système musculaire. Ce dernier est constitué de cinq bandes musculaires longitudinales en position radiale, qui sont antérieurement attachées aux pièces radiales de la couronne calcaire et postérieurement au cloaque via les muscles rétracteurs du cloaque. Le coelome de l'holothurie est une vaste cavité remplie d'un liquide (le liquide coelomique) proche de l'eau de mer dans lequel se trouvent le tube digestif, les poumons et les gonades (Fig. 15). Le tube digestif fait une grande boucle et occupe la majeure partie de la cavité. Il s'ouvre antérieurement au niveau de la bouche qui est entourée de tentacules buccaux (podia modifiés servant à l'ingestion des particules alimentaires) et se termine postérieurement par un anus. Peu avant l'anus, le tube digestif s'enfle en un cloaque dans lequel débouchent les poumons, organes en forme de buisson plus ou moins touffu qui pompent et rejettent l'eau de mer par l'anus (Fig. 15).

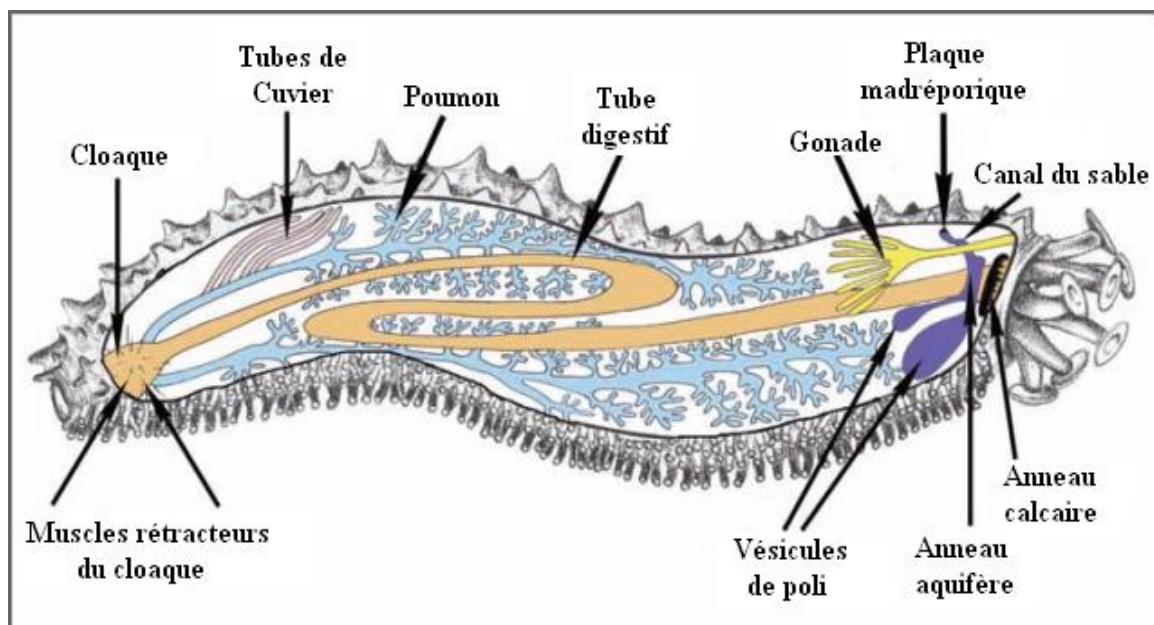


Figure 15 : Anatomie interne d'une holothurie aspidochirote montrant les principaux organes (*In : Samyn et al., 2006*).

A la base des poumons de certaines espèces d'holothuries, on peut observer des tubes souvent blanchâtres, dits tubes de Cuvier (ou organe de défense), pouvant être projetés à l'extérieur par l'anus. Sous la pression de l'eau injectée dans les tubes, ils s'allongent considérablement, formant autour de l'agresseur un réseau extraordinairement résistant et collant (Conand, 1989 ; Samyn *et al.*, 2006).

IV.4. Rôle écologique des holothuries

IV.4.1. Maintien et amélioration de la santé des sédiments marins

IV.4.1.1. Bioturbation

La bioturbation (du latin *turbatio*, qui signifie remuer) fait référence à un remaniement, brassage ou à un mélange de couches de sédiments par des organismes vivants. La bioturbation des holothuries au niveau des récifs ou des herbiers sous-marins peut avoir de nombreux effets sur : (1) la perméabilité et la teneur en eau des sédiments ; (2) le gradient chimique des eaux interstitielles ; (3) la composition granulométrique des sédiments superficiels ; (4) le taux de reminéralisation de la matière organique, ainsi que sur (5) le flux des nutriments inorganiques (Reise, 2002 ; Lohrer *et al.*, 2004). La remontée des couches sédimentaires inférieures vers la surface par le biais de la bioturbation, permet l'interaction du sédiment avec l'oxygène de la colonne d'eau ; cette oxygénation des sédiments est améliorée par la perméabilité des sédiments (Solan *et al.*, 2004). Les conséquences biologiques se résument en un accroissement de la production primaire, ainsi qu'une augmentation de la biomasse et de la diversité de l'endofaune (Solan *et al.*, 2004).

Certaines holothuries s'enfouissent partiellement ou totalement sous la surface des sédiments (Fig. 16) (Yamanouti, 1939 ; Yamanouchi, 1956 ; Clouse, 1997 ; Mercier *et al.*, 1999). L'enfouissement dans le sédiment par certaines espèces de concombre de mer, semble mélanger des sédiments de quelques dizaines de centimètres de profondeur, l'action de la bioturbation d'un individu peut déplacer au moins son propre volume corporel (Purcell, 2004 ; Purcell *et al.*, 2016). Les holothuries aspidochirotés qui restent à la surface des sédiments, remanient la couche sédimentaire supérieure par l'ingestion et la libération des fèces et par leur locomotion en surface. Cette activité de bioturbation peut jouer un rôle important dans la redistribution des sédiments de surface et influencer sur les interactions biotiques à l'interface eau-sédiment (Uthicke, 1999).

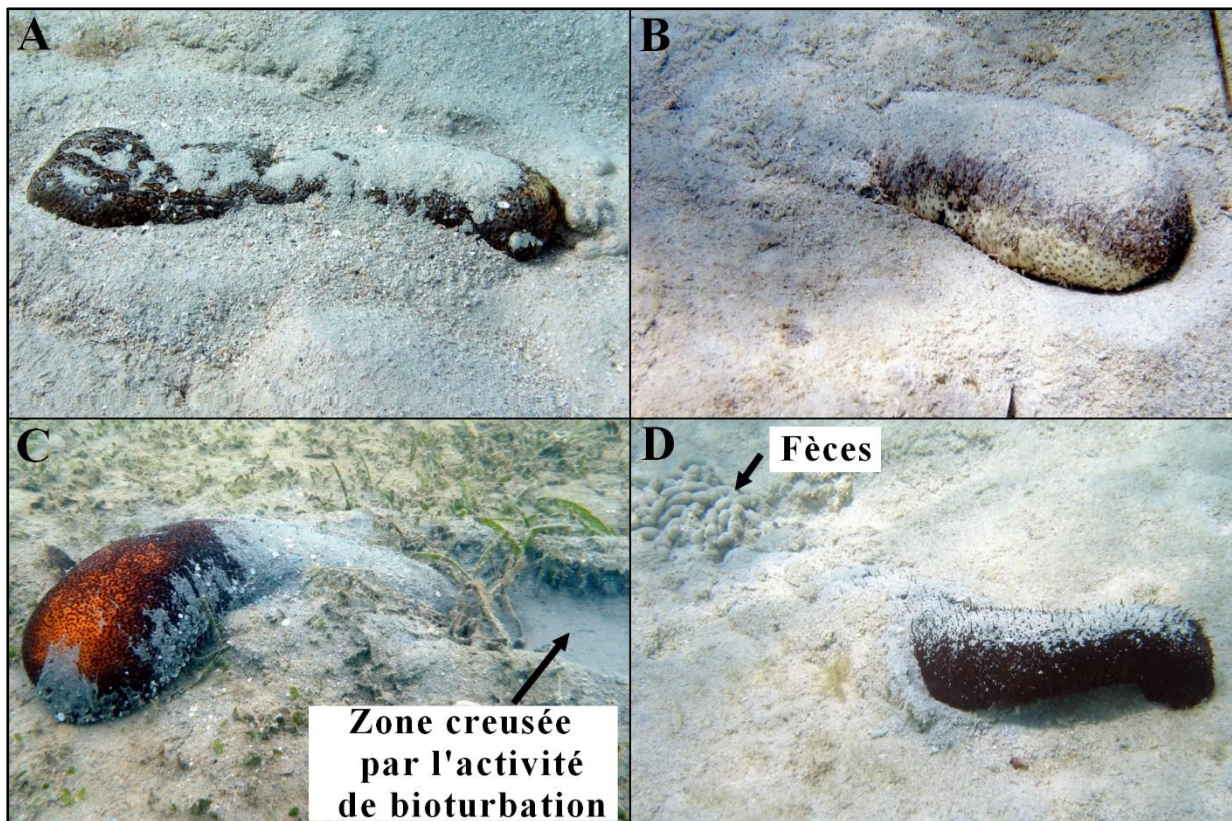


Figure 16 : Bioturbation des sédiments par les holothuries. *Bohadschia argus* à moitié enfouie dans les sédiments d'un lagon de récifs coralliens (île Lizard, Australie) (A). *Holothuria lessoni* partiellement enfouie dans les sédiments d'un platier (Nouvelle-Calédonie) (B). *Bohadschia vitiensis* sortant des sédiments d'une baie abritée (Nouvelle-Calédonie) (C). *Actinopyga spinea* sortant des sédiments mous sur un récif peu profond (Nouvelle-Calédonie) (D). (D'après Purcell *et al.*, 2016).

IV.4.1.2. Nettoyage du sédiment

Presque toutes les holothuries aspidochirotes sont des dépositivores, s'alimentant des débris organiques mélangés au sable présent dans les premiers millimètres de sédiments. Ces organismes rejettent des fèces (Fig. 16D) qui sont souvent moins riches en matières organiques par rapport aux sédiments consommés ; ce qui veut dire que les holothuries sont des nettoyeurs de sédiments (Amon et Herndl 1991 ; Mercier *et al.*, 1999 ; Uthicke, 1999 ; Michio *et al.*, 2003 ; Paltzat *et al.*, 2008 ; MacTavish *et al.*, 2012 ; Yuan *et al.*, 2015). A partir de là, on peut dire que le rôle des holothuries est similaire à celui des vers de terre. Le transit intestinal des sédiments ingérés par les holothurides aspidochirotes, semble également faciliter la décomposition de la matière organique réfractaire par les bactéries des sédiments (MacTavish *et al.*, 2012). Il est à signaler que la quantité des sédiments ingérés puis déféqués par an est assez considérable (9 à 82 kg/ind⁻¹/an⁻¹) (Yamanouti, 1939 ; Bonham et Held, 1963 ; Hammond, 1982 ; Coulon et Jangoux, 1993 ; Uthicke 1999 ; Mangion *et al.*, 2004) ; ce qui démontre l'ampleur du rôle des holothuries en tant que nettoyeur des sédiments.

IV.4.2. Recyclage des nutriments

Le recyclage de la matière organique est considéré comme l'une des principales fonctions des holothuries, en particulier dans les environnements récifal où les éléments nutritifs inorganiques sont éparés (Massin, 1982 ; Birkeland, 1988). La digestion des composés riches en azote (tel que les protéines) par des holothuries conduit à une conversion de l'azote organique en azote inorganique, qui à son tour peut être absorbé par les producteurs primaires en tant que nutriment (Fig. 17). Comme pour la plupart des invertébrés marins, les holothuries aspidochirotés excrètent l'azote inorganique sous forme d'ammonium (Webb *et al.*, 1977 ; Mukai *et al.*, 1989 ; Uthicke, 2001a) ; ainsi que de petites quantités de phosphate sont également libérées (Uthicke, 2001a).

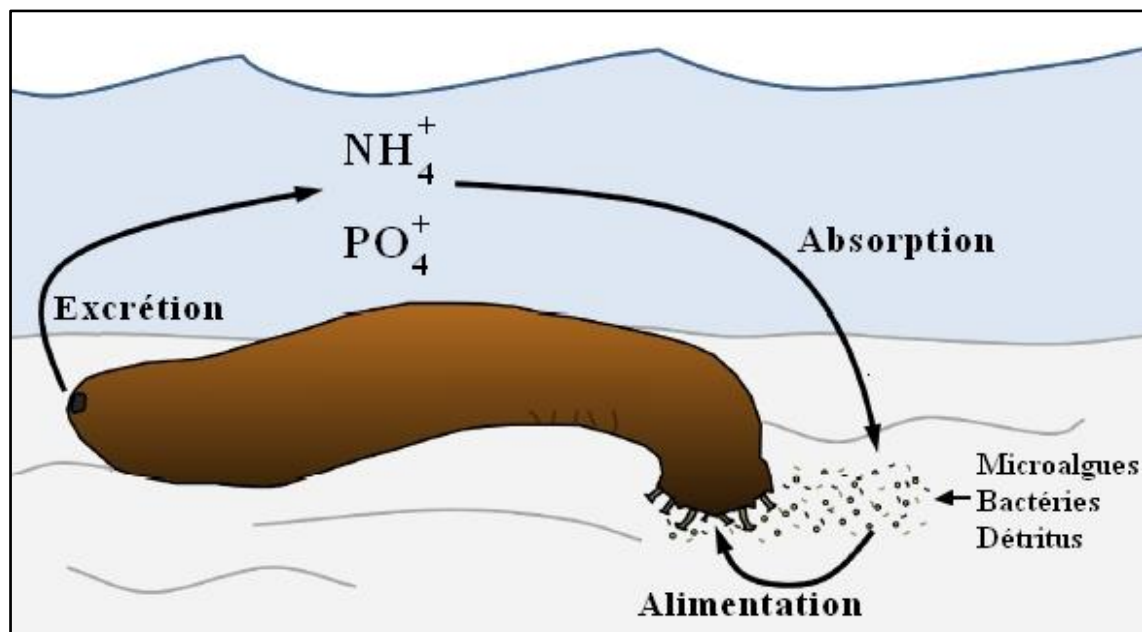


Figure 17 : Recyclage des nutriments par les holothuries (d'après Purcell *et al.*, 2016).

Il a été signalé qu'en milieu récifal, les nutriments libérés par les holothuries peuvent augmenter la productivité des producteurs primaires (Purcell *et al.*, 2016). Certaines expériences réalisées sur terrain ou en aquarium, démontrent que les communautés microphytobenthiques avaient une productivité accrue lorsqu'elles se trouvaient à proximité des holothuries (Uthicke et Klumpp, 1997 ; 1998). Il est intéressant de mentionner que les communautés microphytobenthiques constituent également une source de nourriture pour les holothuries (Purcell *et al.*, 2016). Ainsi, d'une part, les holothuries dépositives réduisent la biomasse du microphytobenthos en les consommant ; d'autre part, augmentent leur productivité en libérant les nutriments nécessaires à leurs photosynthèses (Uthicke, 2001b). Selon Purcell *et al.*, (2016), l'interaction entre les holothuries et le microphytobenthos, peut être expliquée par le concept du « Gardening » (ou « jardinage »), qui a déjà été suggéré par Hylleberg, (1975) lors d'une étude réalisée sur des vers

marins. Selon ce concept, certaines espèces d'holothuries seraient capable d'enrichir les sédiments par une stimulation de la croissance de microorganismes, qu'elles consommeront par la suite. En condition d'aquaculture multi-trophique intégrée, l'holothurie *Apostichopus japonicus* convertit l'azote particulaire des déchets produits par d'autres organismes, en azote inorganique qui est ensuite utilisé par des macroalgues (Yuan *et al.*, 2015).

Wolkenhauer *et al.*, (2010), ont mené une étude détaillée sur l'effet de la surpêche de l'espèce *Holothuria scabra* (holothurie de sable) sur la productivité et la croissance des herbiers à *Cymodocea serrulata*. Ces auteurs ont indiqué que, dans certains cas, les herbiers se sont développés plus lentement et leur biomasse avait diminué là où *Holothuria scabra* était exclu. Par conséquent, il a été supposé que comme dans le cas des microalgues, les herbiers sous-marins peuvent absorber rapidement l'ammonium et le phosphate recyclés, augmentant ainsi leur productivité.

En plus de la digestion complète et de la libération des nutriments, les holothuries dépositives peuvent également digérer partiellement la matière organique la rendant plus disponible à la dégradation par les bactéries ou d'autres organismes appartenant à d'autres niveaux trophiques (Purcell *et al.*, 2016). Selon Costa *et al.*, (2014), *Holothuria tubulosa* s'alimentant sur des débris de *Posidonia oceanica*, accélère la dégradation de ces débris et facilite leur pénétration dans les sédiments, favorisant ainsi leur recyclage et leur disponibilité pour les communautés benthiques des herbiers.

IV.4.3. Rôle dans les réseaux trophiques

Bien que les holothuries possèdent une défense chimique (saponines) et des tubes de Cuvier collants pour dissuader les prédateurs (Stonik *et al.*, 1999 ; Hamel et Mercier, 2000 ; Van Dyck *et al.*, 2009), elles sont consommées par des prédateurs appartenant au moins à sept phylums (Tab. 1) (voir également Francour, 1997). Les concombres de mer sont consommés par au moins 19 espèces d'étoiles de mer, 17 espèces de crustacées, plusieurs espèces de gastéropodes et environ 30 espèces de poissons (Francour, 1997 ; Dance *et al.*, 2003). Dans les régions tempérées, certaines espèces d'étoiles de mer sont des prédateurs majeurs des holothuries aspidochiotes et dendrochiotes (Jangoux, 1982 ; Yu *et al.*, 2015). Quelques espèces d'étoiles de mer du genre *Solaster* semblent se spécialiser dans l'alimentation des holothuries, elles peuvent induire leurs éviscérations puis consomment les organes libérés (Byrne, 1985). *Solaster endeca* est le principal prédateur du dendrochiote *Cucumaria frondosa* (So *et al.*, 2010).

Tableau 1 : Prédateurs de certaines espèces d'holothuries (d'après Purcell *et al.*, 2016).

Prédateurs	Proies	Références
Annelida: Polychaeta	<i>Cucumaria frondosa</i>	Medeiros-Bergen et Miles, (1997)
Crustacea		
Copepoda	<i>Apostichopus japonicus</i> (forme larvaire)	Yu <i>et al.</i> , (2015)
Decapoda	<i>Psolus chitonoides</i> <i>Holothuria scabra</i>	Francour, (1997) Purcell et Simutoga, (2008) ; Lavitra <i>et al.</i> , (2009) ; Robinson et Pascal, (2012),
	<i>Apostichopus japonicus</i> <i>Holothuria scabra</i>	Yu <i>et al.</i> , (2014) ; (2015) Pitt <i>et al.</i> , (2004) ; Bell <i>et al.</i> , (2007)
	<i>Stichopus tremulus</i> <i>Parastichopus californicus</i>	Francour, (1997) Francour, (1997)
Gastropoda		
Tonnidae	various species	Francour, (1997)
<i>Tonna galea</i>	<i>Holothuria poli</i>	Toscano <i>et al.</i> , 1992
<i>Tonna galea</i>	<i>Holothuria tubulosa</i>	Toscano <i>et al.</i> , 1992
<i>Tonna galea</i>	<i>Holothuria forskali</i>	Toscano <i>et al.</i> , 1992
<i>Tonna galea</i>	<i>Holothuria sanctori</i>	Toscano <i>et al.</i> , 1992
Columbellidae	<i>Psolus chitonoides</i>	Francour, (1997)
Ranellidae	<i>Apostichopus japonicus</i> <i>Bohadschia argus</i>	Conand, (1994) ; Kyoung et Jae, (2004)
Asteroidea		
	various species	Francour, (1997)
	<i>Holothuria scabra</i>	Purcell et Simutoga, (2008)
	<i>Cucumaria frondosa</i>	So <i>et al.</i> , (2010)
	<i>Apostichopus japonicus</i>	Hatanaka <i>et al.</i> , (1994) ; Yu <i>et al.</i> , (2014), Yu <i>et al.</i> , (2015)

Tableau 1 (suite) : Prédateurs de certaines espèces d'holothuries (d'après Purcell *et al.*, 2016).

Prédateurs	Proies	Références
Poisson		
Elasmobranchii	<i>Stichopus chloronotus</i>	Francour, (1997)
Actinopterygii		
Balistidae	<i>Holothuria scabra</i>	Dance <i>et al.</i> , (2003)
Labridae	<i>Holothuria scabra</i> <i>Holothuria poli</i>	Dance <i>et al.</i> , (2003) Chakroun-Marzouk et Kartas, (1987)
Lethrinidae	<i>Holothuria scabra</i>	Dance <i>et al.</i> , (2003)
Nemipteridae	<i>Holothuria scabra</i>	Dance <i>et al.</i> , (2003)
Sparidae	<i>Cucumaria sp.</i>	Francour, (1997)
Gadidae	<i>Stichopus tremulus</i> <i>Parastichopus californicus</i>	Francour, (1997)

Les holothuries des zones tempérées sont également consommées par des mammifères marins de niveaux trophiques supérieurs, tels que la loutre de mer *Enhydra lutris* (Purcell *et al.*, 2016). Les holothuries aspidochirotes *Parastichopus californicus* sont des proies faciles, de sorte que leurs populations ont diminué de façon spectaculaire quelques décennies après l'introduction des loutres de mer dans le sud-est de l'Alaska (Larson *et al.*, 2013). Par conséquent, les concombres de mer peuvent être d'importantes sources de nourriture pour des espèces appartenant à plusieurs niveaux trophiques.

Dans les régions tropicales, une vaste gamme d'invertébrés et de poissons benthiques consomment avidement les holothuries (Tab. 1). Les concombres de mer sont consommés par des gastéropodes tels que les Triton et *Tonna pernix* (Conand, 1994 ; Kyoung et Jae, 2004). La prédation par les poissons est considérée comme mineure (Francour, 1997), mais ils peuvent avaler des holothuries juvéniles entières (Dance *et al.*, 2003). Dans certains cas, les holothuries offrent leurs organes internes au prédateur, après une éviscération volontaire (Purcell *et al.*, 2016). Les espèces

appartenant au genre *Stichopus* peuvent également éliminer des parties de leur paroi corporelle dans le but de distraire le prédateur (Kropp, 1982).

La littérature montre que le transfert de l'énergie à partir des holothuries se fait vers un grand nombre d'espèces prédatrices à la fois benthiques (crabes, gastéropodes et étoiles de mer) et benthopélagiques (poissons et mammifères marins). En prélevant le phytoplancton et occasionnellement le zooplancton de la colonne d'eau, les holothuries dendrochirotes suspensivores contribuent au couplage benthopélagiques (Hamel et Mercier, 1998). Il est clair que les holothuries constituent une voie importante, par laquelle l'énergie et les nutriments provenant des détritiques et du plancton peuvent être transférés dans les réseaux trophiques benthiques et benthopélagiques (Purcell *et al.*, 2016).

IV.5. Régime et comportement alimentaire sélectif des holothuries

La plupart des holothuries sont des organismes dépositives et détritiques, qui emploient différentes techniques pour puiser leurs aliments dans la couche supérieure des sédiments. Ces diverses techniques varient en fonction de la forme des tentacules buccaux et de la morphologie des appareils digestifs de chaque espèce (Roberts *et al.*, 2001). Les holothuries collectent le sédiment avec leurs tentacules buccaux, en rampant sur le fond. Sur les substrats meubles, les tentacules peuvent pénétrer dans le sable, alors qu'elles balayent seulement les substrats durs ou les algues. Le sédiment avalé transite dans le tube digestif tubulaire, ce dernier présente trois tronçons dont chacun correspond à une fonction spécifique : le tronçon de stockage "foregut", qui est capable d'emmagasiner de grandes quantités de sable ; le tronçon digestif "midgut", à partir duquel se fait l'extraction et l'absorption de la matière organique ; enfin le tronçon d'élimination "hindgut", où se condensent les chapelets de pelotes fécales (Mezali, 2008). Après avoir transité dans le tube digestif, le sédiment passe dans le cloaque et est rejeté par l'anus sous forme de fèces (Sloan, 1979 ; Massin, 1982) (Fig. 18). A titre d'exemple, pour *Holothuria atra*, un individu de taille moyenne ingère quotidiennement entre 50 et 100 g de sédiment, avec un temps de transit intestinal de 12 à 14 heures (Yamanouchi, 1939 ; Trefz, 1958 ; Webb *et al.*, 1977).

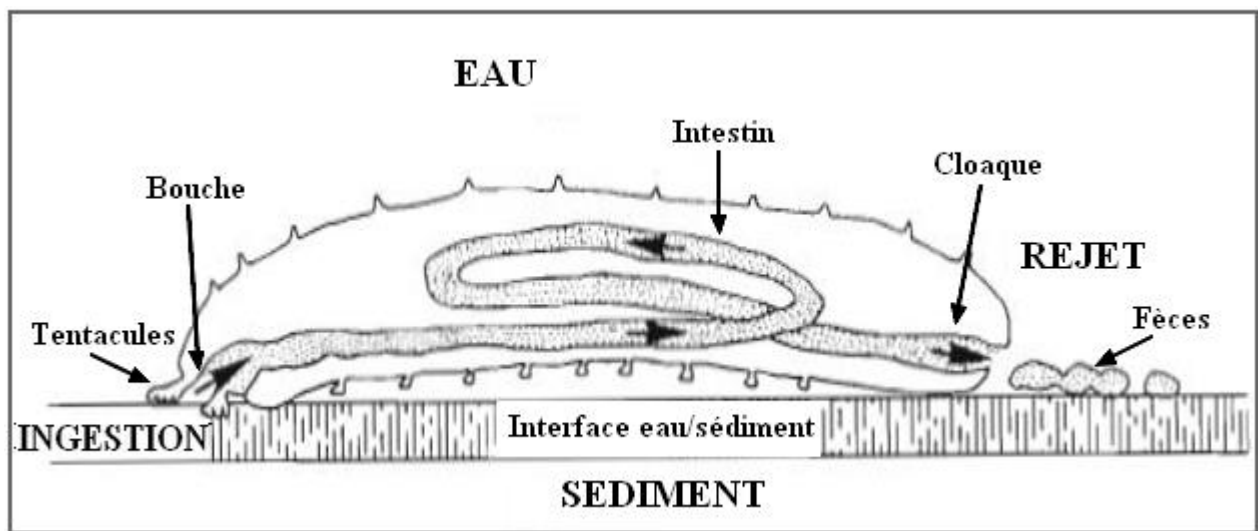


Figure 18 : Schéma montrant le transit digestif d'une holothurie aspidochirote (d'après Conand, 1994).

Les sédiments ingérés par les holothuries aspidochirotées, se composent principalement de matières inorganiques (débris de corail, restes de coquillages, corallines, tests de foraminifères, restes inorganiques du benthos), de matières détritiques organiques (phanérogames marines notamment des feuilles mortes de posidonies ou en dégradation, algues, animaux morts en décomposition), de microorganismes (bactéries, diatomées, protozoaires et cyanophycées), ou de boulettes fécales expulsées par l'holothurie elle-même ou par d'autres animaux ; la matière détritique constitue la part la plus importante du carbone organique assimilé (60 à 70%) (Massin, 1982 ; Moriarty, 1982 ; Roberts *et al.*, 2000).

La sélectivité chez les holothuries (soit physique suivant la taille des particules collectées, ou chimique suivant leur richesse en matière organique) a donné lieu à de nombreux travaux (Conand, 1994 ; 1989). En effet, des observations de sélectivité granulométrique ont été décrites par plusieurs auteurs, dont Yamanouchi, (1939), Roberts, (1979) ; Franklin, (1980) ; Mezali *et al.*, (2003) ; Mezali, (2004b ; 2008). Roberts et Bryce, (1982) ont montré l'existence de différentes stratégies comprenant une sélectivité pour des particules plus fines ou plus grandes que la moyenne du sédiment environnant. Alors que l'absence de sélectivité granulométrique, a été démontrée par Choe, (1963), Yingst, (1974 ; 1982), Levin, (1979) et Hammond, (1982). Ce dernier a réexaminé et critiqué certains résultats sur la sélectivité et conclut que les différences observées proviendraient plutôt d'une préférence pour un micro-habitat. La sélectivité chimique a fréquemment été démontrée par plusieurs auteurs. Elle a été mise en évidence pour *H. atra* (Webb *et al.*, 1977 ; Moriarty, 1982) et pour *S. chloronotus* (Moriarty, 1982), dont le contenu digestif en carbone et en azote est supérieur à celui du sédiment environnant (Conand, 1994).

Certains auteurs observent des résultats variables suivant les localités, qui pourraient résulter d'un comportement opportuniste, en présence ou non de compétition (Conand, 1994). En d'autres termes ; mis à part l'évident avantage d'obtenir des aliments avec une grande valeur nutritionnelle, la sélectivité des éléments nutritifs chez les holothuries, pourrait être un moyen de partition de la niche écologique, entre les différentes espèces qui vivent dans le même habitat (Roberts, 1979 ; Sloan et Von Bodungen, 1980 ; Massin et Doumen, 1986). Lors de sa révision de la systématique des holothuries aspidochirotés, Deichmann (1958 *In* Rowe, 1969) avait indirectement établie une corrélation entre la niche écologique des holothuries et la forme de leurs spicules ; sa révision des holothuries fait apparaître trois divisions écologiques : espèces de zones battues, retrouvées accrochées aux roches, leurs spicules sont des bâtonnets ; espèces fugitives ("fugitive species"), retrouvées habituellement cachées sous les fragments de corail ou entre les roches, leurs spicules sont des corpuscules turriformes associées à des spicules qui peuvent être des boutons, des bâtonnets, des rosettes ou des pseudoboutons (l'ensemble des deux spicules sont habituellement lisse) ; espèces fouisseuses, retrouvées plus ou moins complètement ensevelie dans le sable et comprennent des spicules en bouton et des tourelles, ou bien un type de spicules qui se transforme en ellipsoïdes fenestrés ou en corps sphériques.

Au cours du cycle vital d'une espèce, un changement alimentaire peut se produire. Ainsi, les juvéniles de *S. japonicus* ingèrent relativement plus de microalgues et de détritiques que les adultes (Choe, 1963). C'est aussi probablement le cas chez *H. juscogilva*, dont les juvéniles vivent dans les pieds de phanérogames marines ou d'*Halimeda* (Gentle, 1979). Chez les adultes par contre, l'absence de relation entre la taille individuelle et la granulométrie du sédiment ingéré a été démontrée par Levin, (1979), Hammond, (1982) et Massin et Doumen, (1986).

Le rythme de nutrition est lui aussi variable, depuis une alimentation continue de jour et de nuit chez *H. atra*, à un rythme nocturne ou en rapport avec le changement d'intensité lumineuse chez *H. scabra* (Yamanouchi, 1939 ; 1956). Des rythmes saisonniers d'arrêt d'alimentation, avec régression du tube digestif, n'ont été observés que chez des espèces tempérées (Choe, 1963 ; Yingst, 1974 ; Fankboner et Cameron, 1985).

IV.6. Intérêt économique et exploitation des holothuries

IV.6.1. Pêche des holothuries

Au niveau mondial, les pêches d'holothuries cible principalement une soixantaine d'espèces à travers 70 pays (FAO, 2012). En Chine, leurs utilisations remontent à 1368-1644 avant notre ère (Chen, 2003) mais, au cours du dernier millénaire, les régions indopacifiques ont commencé à récolter et à commercialiser les concombres de mer principalement en raison de la forte demande

chinoise (Anderson *et al.*, 2011). En 2002, la production de "concombres de mer" en Chine a atteint un volume de 6335 tonnes, dont 5865 tonnes produites par des entreprises d'aquaculture (Chen, 2003). Toutefois, en 2004, l'élevage des « concombres de mer » en Chine est entré dans une nouvelle ère, avec une production totale de plus de 100.000 tonnes (poids frais) pour la seule province de Shandong (Toral-Granda, 2006). Au cours des six dernières décennies, les pêcheries d'holothuries ont connu une croissance exponentielle avec une augmentation des captures mondiales de 2300 tonnes de poids humide en 1950 à 30500 tonnes de poids humide en 2006 (Conand et Bryne, 1993 ; Anderson *et al.*, 2011) et 100000 tonnes en 2010 (FAO, 2010). En 2000, environ 6000 tonnes d'individus traités (principalement séchés) d'une valeur supérieure à 130 millions de dollars, ont été exportés vers les marchés asiatiques (FAO, 2010). De nos jours, au moins 3 millions de pêcheurs à travers 70 pays capturent des concombres de mer (Purcell, 2013) ; la plupart des débarquements sont exportés vers Hong Kong puis réexportés principalement vers la Chine (Fig. 19) (Anderson *et al.*, 2011), des espèces comme *Apostichopus japonicus* atteignant presque 3000 US \$ / kg (Purcell *et al.*, 2012).

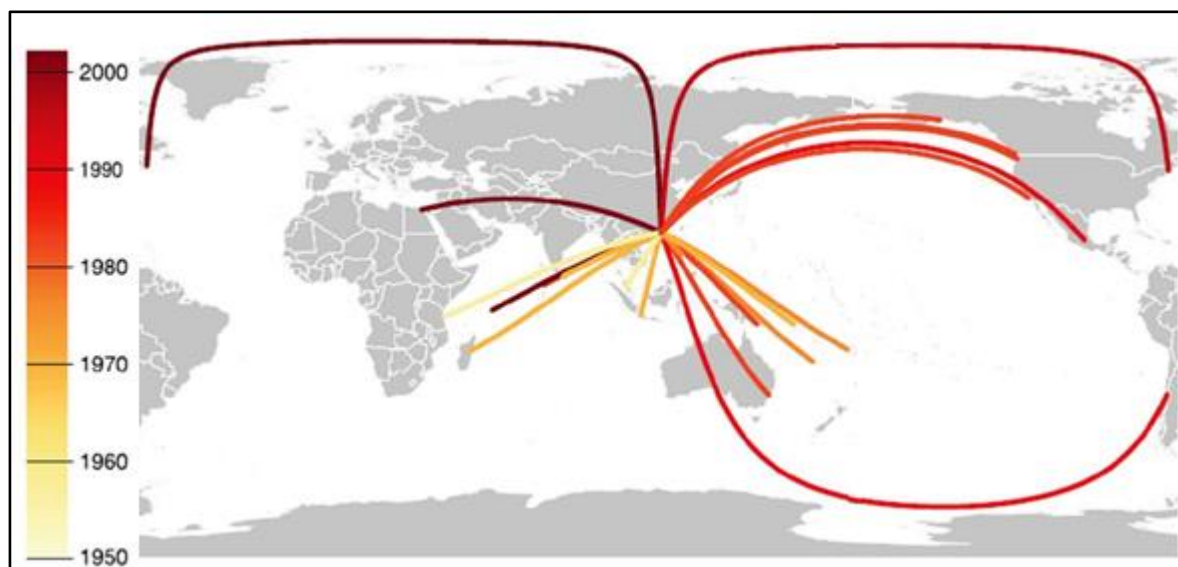


Figure 19 : Carte des captures mondiales d'holothuries exportées vers Hong Kong. La couleur indique l'année de départ de la pêche (D'après Anderson *et al.*, 2011).

Bien que 66 espèces de concombres de mer représentent des captures mondiales d'environ 100000 tonnes par an (FAO, 2010), les informations concernant la biologie de certaines espèces cibles restent manquantes (Ramón *et al.*, 2010). En général, les holothuries ont certains traits biologiques qui les rendent vulnérables à la pêche : croissance lente, maturité tardive, mortalité larvaire élevée, faible taux de recrutement, faible vitesse de déplacement et facilité de capture par les pêcheurs (Uthicke *et al.*, 2004 ; FAO, 2010 ; Anderson *et al.*, 2011 ; Purcell *et al.*, 2013). Après avoir

réalisé une analyse globale, Purcell *et al.*, (2013) constatent que 58% des pêcheries d'holothuries étaient surexploitées (à titre de comparaison 30% des stocks mondiaux de poissons sont surexploités) (FAO, 2012), 14% entièrement exploités (Fig. 20).

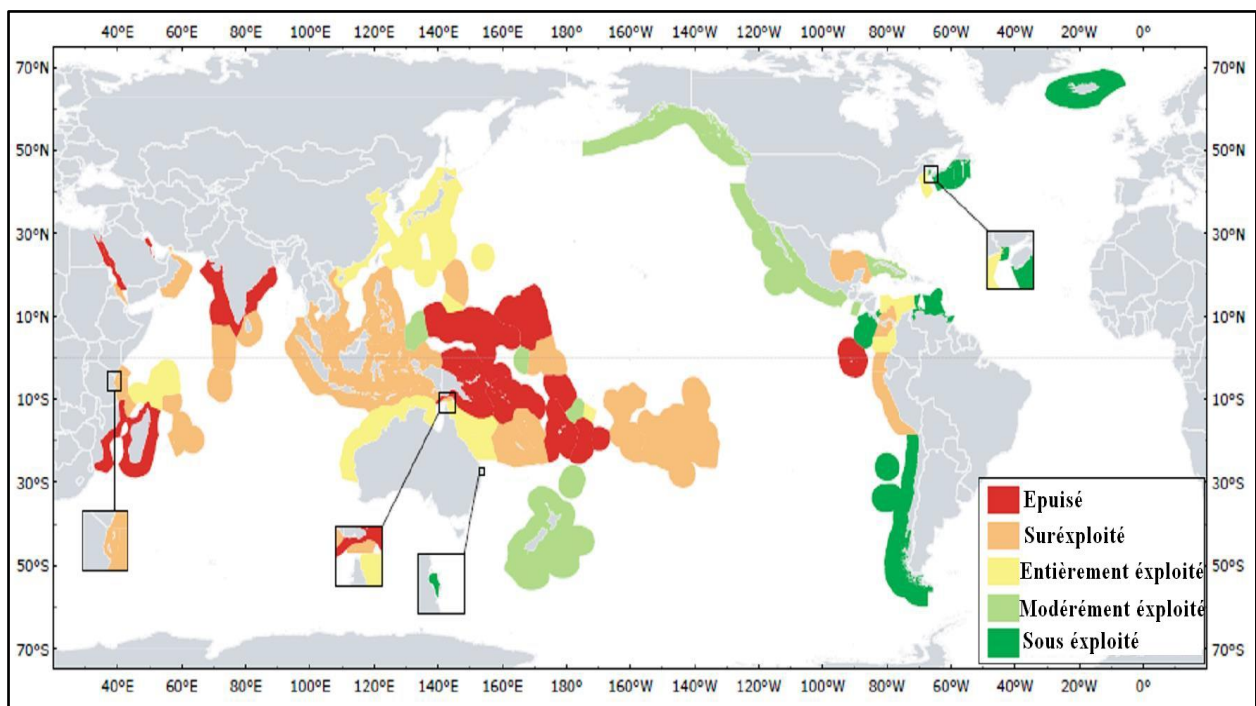


Figure 20 : Situation mondiale actuelle des pêcheries d'holothuries (nombre de pêcheries = 69) [D'après Purcell *et al.*, (2013)].

Les captures totales pour les régions de l'Asie et de l'Océanie sont de l'ordre de 20 000 à 40 000 tonnes par an ; les zones tempérées de l'hémisphère Nord prélèvent, aussi, une part considérable des prises mondiales (9 000 tonnes par an), alors que les prises d'holothuries sont relativement moins importantes en Afrique et dans l'océan Indien (2 000 à 25 000 tonnes par an), et elles sont particulièrement faibles en Amérique latine et dans la région des Caraïbes (moins de 1 000 tonnes par an) (Toral-Granda *et al.*, 2009)

Des pêcheries d'holothuries sont en cours de développement dans le nord-est de l'océan Atlantique et la mer Méditerranée (Sicuro et Levine, 2011 ; González-Wangüemert *et al.*, 2013b ; 2015) les principales espèces ciblées sont *Holothuria sanctori*, *H. mammata*, *H. tubulosa*, *H. poli*, *H. arenicola* et *Paratichopus regalis* (Abdel Razek *et al.*, 2007 ; Aydin, 2008). En Turquie, la récolte et l'exportation des holothuries vers le marché asiatique sont rapidement passées de 20 tonnes en 2002 (Aydin, 2008) à 555 tonnes en 2012 (González-Wangüemert *et al.*, 2014), provoquant la réduction de la diversité génétique, au niveau des principales zones de pêche (González-Wangüemert *et al.*, 2014 ; 2015). L'Italie a commencé la récolte et la transformation à petite

échelle, des concombres de mer destinés à l'exportation (Sicuro et Levine, 2011 ; Sicuro *et al.*, 2012). En Espagne *Parastichopus regalis* est très appréciés sur le marché catalan, atteignant 130 € /kg (Sicuro et Levine, 2011, González-Wangüemert *et al.*, 2014b ; Maggi et González-Wanguermert, 2015). Ces données montrent que les pêcheries d'holothuries en Méditerranée commencent à devenir une industrie active.

IV.6.2. Alimentation humaine

Quel que soit son appellation, "Bêche de mer", "Trévang" ou "Hai-san" ; la peau séchée des holothuries est le produit le plus commercialisé issu du concombre de mer, il est destiné à l'alimentation humaine et est considéré comme un mets luxueux et de grande qualité chez les populations asiatiques (Chen, 2003 ; Purcell, 2013). Les profils nutritionnels des holothuries ont démontré la présence d'un important taux de protéines, antioxydants et de composés bioactifs (Bordbar *et al.*, 2011 ; Roggatz, 2012). Les holothuries sont également pauvres en lipides, riches en acides aminés et en oligo-éléments ; autant de caractéristiques qui en font d'eux un aliment très prisé (Chen, 2004).

Une large majorité d'espèces sont récoltées pour le marché du trévang (*Actinopyga mauritania*, *Holothuria scabra* et *Thelenota ananas*) ; d'autres espèces sont également consommées cuites, marinées ou même crues (*Apostichopus japonicus*, *Parastichopus californicus* et *Cucumaria frondosa*) (FAO, 2012). Les organes internes, le liquide coelomique et le bulbe aquapharyngien restent considérés comme des sous-produits ou coproduits qui représentent une masse de matière première peu ou pas valorisés générant des quantités importantes de rejets pour les industries de transformation (Trioteau, 2015).

IV.6.3. Médecine traditionnelle et produits nutraceutiques

Les concombres de mer sont utilisés depuis des centaines d'années en Chine comme aliments et en médecine traditionnelle (Fredalina *et al.*, 1999). Dans certains pays, des produits cosmétiques sous forme de crème, shampoing ou dentifrice (FAO, 2008), et des produits nutraceutiques tel que l'huile de concombre de mer sont commercialisés (Baine et Choo, 1999). Cette huile issue des viscères et des membranes de *C. frondosa* a été utilisée comme adjuvant, dans des études sur l'arthrite chez le rat, afin de tester ses propriétés anti-inflammatoires (Colin, 2002). En Amérique du Nord, les coproduits de *C. frondosa* sont utilisés comme complément alimentaire sous forme de chondroïtine, en vue du traitement de l'arthrite chez l'homme et chez les animaux (Janakiram *et al.*, 2010).

V. Modalité d'étude du régime alimentaire chez les organismes marins

Pour acquérir des données sur le régime alimentaire des organismes en environnement marin, qui est par définition un milieu difficilement accessible à l'Homme, l'observation directe *In situ* de la prédation n'est pas aisée. De façon empirique, l'analyse directe par identification des restes de proies dans les tractus digestifs tels que les contenus stomacaux ou dans les fèces s'est ainsi généralisée depuis très longtemps en écologie alimentaire marine (Hyslop 1980, Pierce *et al.* 1990, Barrett *et al.* 2007). Cette méthode traditionnelle permet d'avoir une précision taxinomique des proies consommées et de leur gamme de taille. Cependant, elle requiert un temps de formation très important, peut être biaisée par une digestion différentielle des différentes proies réellement consommées, ne représente que la nourriture ingérée à un temps donné et non l'alimentation réellement assimilée à des échelles de temps plus importantes, et apparaît ainsi difficilement envisageable lorsque les relations trophiques sont étudiées à l'échelle d'un écosystème (Chouvelon, 2011). De plus, chez les petits consommateurs (petits poissons pélagiques planctonophages), la reconnaissance des proies dans les contenus stomacaux par exemple, de plus petite taille encore et/ou ne possédant pas de pièces dures résistant un minimum à la digestion, devient très vite limitée.

Pour pallier à certaines de ces limites et notamment du fait des progrès technologiques, des méthodes indirectes d'analyse du régime alimentaire des organismes marins se sont donc développées plus récemment. Ainsi certains écologistes ont plutôt misé sur des techniques basées sur l'analyse de paramètres et/ou sur des propriétés biologiques des proies consommées. Il s'agit par exemple de l'analyse ADN des restes de proies plus ou moins digérés retrouvés dans les tractus digestifs ou les fèces (Jarman *et al.* 2002, Deagle *et al.* 2005) ; ou encore, d'analyses dérivées de l'immunologie, consistant alors à comparer les protéines spécifiques de certaines proies à celles provenant des restes de proies récupérés (Boyle *et al.* 1986, Pierce *et al.* 1990). D'autres méthodes indirectes d'étude du régime alimentaire reposent sur l'analyse de paramètres (bio) chimiques dans les tissus biologiques des proies, mais aussi et surtout des tissus des consommateurs eux-mêmes. Ces paramètres incluent par exemple l'analyse des isotopes stables du carbone et de l'azote, l'analyse de lipides (profils d'acides gras), ou encore l'analyse de contaminants (métaux, polluants organiques) accumulés dans les tissus biologiques. Ces paramètres (bio) chimiques analysés chez les consommateurs et/ou leurs proies potentielles sont appelés « traceurs écologiques ».

L'importance des connaissances sur l'écologie trophique dans la compréhension des écosystèmes a motivé le développement de nombreuses techniques d'étude comportant chacune ses propres avantages et inconvénients (Tab. 2).

Tableau 2 : Principales caractéristiques de différentes méthodes d'étude des régimes alimentaires des organismes (Trystram, 2016).

Outil	Avantages	Inconvénients
Observations directes	Identification taxonomique des proies potentiellement précise et caractérisation des conditions de prédation.	Long Difficile à mettre en place sur beaucoup d'espèces
Contenus stomacaux	Identification taxonomique des proies potentiellement précise	Dernière prise alimentaire Taux de digestion variable d'une catégorie de proie à l'autre
Isotopes stables	Quantitatif Marqueur à long terme	Prérequis méthodologiques importants Faible précision taxonomique des proies
Acides gras	Quantitatif Marqueur à long terme	Prérequis méthodologiques Protocole complexe Faible précision taxonomique des proies
Eléments traces métalliques	Marqueur à long terme Liens avec les risques sanitaires	Protocole complexe Faible précision taxonomique des proies
Dissection de fèces	Identification taxonomique des proies potentiellement précise	Marqueur à court terme Très peu faisable sur les organismes marins

V.1. Analyse des contenus stomacaux

C'est la méthode la plus intuitive et simple à mettre en place pour l'étude des régimes alimentaires des animaux. C'est pourquoi cette méthode est aussi la plus couramment et anciennement utilisée. La qualité des résultats qui en sont issus dépend de la capacité des observateurs à identifier les restes de proies partiellement digérées ainsi qu'à traduire statistiquement ces observations (Trystram, 2016).

Le taux de digestion des proies constitue le principal inconvénient de cette méthode classique. De nombreuses études ont cherché à décrire les facteurs influençant le temps de résidence des proies dans le système digestif des prédateurs, produisant des résultats souvent différents d'une étude à l'autre ce qui limite les interprétations et extrapolations. Les trois principaux facteurs influençant le temps de résidence des proies dans le tractus digestif des prédateurs sont la nature des proies, l'espèce de prédateur et la température du milieu (Wetherbee *et al.*, 1990 ; Newton *et al.*, 2015 ; Klinger *et al.*, 2016). Les tissus mous comme les muscles sont digérés plus rapidement que les tissus durs comme les os. Le taux de digestion dépend donc à la fois de l'espèce consommée et du tissu considéré. Ainsi des proies appartenant aux groupes des Polychètes sont digérées beaucoup plus vite que des Crustacés ou Gastéropodes (Sheffield *et al.* 2001 ; Couturier *et al.* 2013). Autre conséquence : différents tissus d'un même organisme ne sont pas digérés à la même vitesse. Si la peau et les muscles des Téléostéens sont digérés en 6 et 9h dans l'estomac des phoques (*Halichoerus grypus*), les otolithes calcifiés mettent jusqu'à 15h de plus à se dissoudre (Bowen et Iverson, 2013). Globalement, il semblerait que la quantité d'aliments de petite taille facilement digérables, contenus dans l'estomac, décroît de manière exponentielle tandis que celle des aliments de grande taille et/ou difficilement digérables décroît linéairement en fonction du temps (Cortes et Gruber, 1990).

Contrairement aux inventaires de la biodiversité d'un milieu se basant sur des individus entiers et en bon état, les observateurs étudiant les contenus stomacaux sont confrontés à des proies partiellement digérées, souvent découpées en plusieurs morceaux, ce qui nécessite des critères d'identification particuliers (Trystram, 2016). De manière générale, les contenus stomacaux sont biaisés par l'opportunisme alimentaire de certaines espèces (Helfman *et al.*, 2009) et ne renseignent que sur les comportements alimentaires à court terme (Hyslop, 1980). La composition de l'estomac d'un prédateur de niveau trophique élevé à un instant donné n'est donc pas représentative de son régime alimentaire moyen. Il faut donc un grand nombre d'échantillons afin de limiter le risque d'interpréter des faux négatifs (proie consommée mais non retrouvée dans les estomacs). Dans le but de compenser ces problèmes, les études trophiques utilisent plusieurs

méthodes complémentaires, associant notamment des traceurs chimiques à long terme aux contenus stomacaux, tels que les isotopes stables.

V.2. Analyse des isotopes stables

Les isotopes stables du carbone et de l'azote se sont révélés être des outils appropriés pour l'identification des sources de matière des réseaux trophiques et des relations trophiques dans les écosystèmes (Fry et Sherr, 1984 ; Owens, 1987 ; Peterson et Fry, 1987). L'utilisation des isotopes stables comme traceurs trophiques repose sur le principe : « we are what we eat » ou « nous sommes ce que nous mangeons » (DeNiro et Epstein, 1977) ; ce qui veut dire que le ratio isotopique d'un organisme est directement lié à la composition isotopique de son alimentation (Fry et Arnold, 1982 ; Lacroix et Mosora, 1975 ; Tieszen *et al.*, 1983). Un consommateur présentera donc un enrichissement plus important en isotope lourd que les organismes dont il se nourrit. Selon la vitesse de régénération des tissus sur lesquels les mesures isotopiques sont effectuées, les ratios isotopiques apportent des informations à court terme (i.e. le plasma : une semaine) (Browning *et al.* 2014) ou à plus long terme (i.e. collagène des os : des années) (Mendes *et al.*, 2007 ; Kernaleguen *et al.*, 2012).

V.2.1. Définition

Les isotopes sont plusieurs formes d'un même élément chimique qui diffèrent par le nombre de neutrons dans leurs noyaux. Ils sont dits stables lorsqu'ils ne subissent pas de désintégration radioactive. A l'échelle atomique, les propriétés chimiques fondamentales permettant de distinguer les éléments chimiques les uns des autres sont conditionnées par le nombre de protons et d'électrons (appelé numéro atomique). Deux isotopes d'un même élément ne se distinguant que par leur nombre de masse, ils présentent les mêmes propriétés chimiques fondamentales et participent donc aux mêmes réactions. La plupart des éléments ne se composent que de peu d'isotopes stables, c'est le cas notamment de l'azote (N) et du carbone (C) qui se présentent sous deux formes stables : ^{14}N et ^{15}N ; ^{12}C et ^{13}C (Fry, 2006).

Les ratios isotopiques de nombreux éléments chimiques sont utilisés dans différents domaines comme la géologie, la paléontologie, l'hydrologie et l'écologie. Les principaux éléments d'intérêt pour l'étude des matrices biologiques sont ceux dont le cycle comporte une partie organique. Ainsi tous les principaux éléments composant la matière organique ont un intérêt substantiel tels que l'hydrogène (^1H , ^2H), l'oxygène (^{16}O , ^{18}O), le soufre (^{32}S , ^{34}S), le carbone (^{12}C , ^{13}C) et l'azote (^{14}N , ^{15}N).

V.2.2. Intérêt des isotopes du carbone

La photosynthèse est l'une des principales réactions qui gouvernent la circulation des isotopes du carbone dans la biosphère car elle permet le passage du carbone inorganique atmosphérique (CO_2) au carbone organique (glycéraldéhyde, oxaloacétate, etc...). Or l'affinité de l'enzyme fixatrice du carbone n'est pas la même pour les deux formes isotopiques de cet élément, ce qui induit une modification des abondances relatives de ces isotopes par rapport à celles observées dans le milieu par un processus de fractionnement. Le $\delta^{13}\text{C}$ permet donc de distinguer les différentes sources de matière organique car les différents groupes de producteurs primaires assimilent différemment les isotopes lourd et léger lors de la photosynthèse (Peterson et Fry, 1987). Le $\delta^{13}\text{C}$ d'un producteur primaire dépend non seulement de sa physiologie (nature de l'enzyme fixatrice) mais aussi de son environnement trophique. Ainsi, le phytoplancton présente généralement des gammes de valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ supérieures à celles des plantes, bien qu'utilisant le même processus de fixation (respectivement $\delta^{13}\text{C} = -22\text{‰}$ et -29‰ à titre d'illustration) (Kelly, 2000 ; Fry, 2002). Cette différence est due à l'utilisation de bicarbonate (HCO_3^- , principale source de carbone dans l'océan) qui, suite au passage du carbone atmosphérique dans l'eau, est enrichi en ^{13}C par rapport à l'air, source de carbone des plantes terrestres (Fry, 2002). Situées à l'interface entre les écosystèmes marins et terrestres, les zones côtières ont une production biologique influencée par différentes sources de matière organique. A la production phytoplanctonique de la colonne d'eau s'ajoute une production benthique (algues, herbiers et/ou microphytobenthos) ainsi que des apports terrigènes charriés par les fleuves et/ou le ruissellement des eaux de pluie (Riera et Richard, 1996). Les multiples origines de la matière organique côtière complexifient l'établissement de critères pour la caractérisation de ces milieux. De plus, le $\delta^{13}\text{C}$ ne varie pas beaucoup d'un niveau trophique à l'autre, avec un enrichissement généralement compris entre $0,2\text{‰}$ et 1‰ par niveau trophique (McCutchan *et al.*, 2003). Il s'agit donc d'un traceur des sources de matière organique au sein du réseau trophique.

V.2.3. Intérêt des isotopes de l'Azote

Le cycle de l'azote est l'un des plus importants pour la biosphère, car c'est souvent l'élément limitant proximal des réactions comme la croissance des végétaux (Fry, 2006). Ceci implique que cet élément est souvent utilisé par les producteurs primaires dès qu'il est disponible dans le milieu, sans distinction entre les formes lourde et légère, donc sans fractionnement (Fry, 2006). C'est la raison pour laquelle il est difficile de distinguer deux producteurs primaires sur ce critère : leurs ratios isotopiques à l'azote seront souvent très proches de celles de leurs milieux. Des processus de fractionnement ont tout de même lieu au court du cycle de l'azote, notamment lors de la transformation de la matière organique d'un niveau trophique au suivant. D'une part,

l'assimilation des composés azotés dans le tube digestif implique un enrichissement des fèces et un appauvrissement de la matière absorbée en ^{15}N . D'autre part, la conversion des acides aminés (dont la dégradation est une source d'énergie pour les cellules) produit un enrichissement des tissus et un appauvrissement des déchets azotés (urée, acide urique) en ^{15}N . Ces deux mécanismes ont donc des effets antagoniques dont le bilan dépend de l'intensité relative des différents processus. Le fractionnement induit par la dégradation des composés azotés étant plus important que celui induit par leur assimilation, le $\delta^{15}\text{N}$ augmente d'environ 2 à 4‰ par niveau trophique (Post, 2002 ; McCutchan *et al.*, 2003 ; Sponheimer *et al.*, 2003). Ceci permet l'utilisation du $\delta^{15}\text{N}$ comme un indicateur de niveau trophique dans de nombreuses études (Fisk *et al.*, 2002 ; Domi *et al.*, 2005 ; Bergamino *et al.*, 2011 ; Drymon *et al.*, 2011).

CHAPITRE 2 :
MATERIEL ET METHODES

I. Objectifs de l'étude

L'important rôle écologique que peuvent jouer les échinodermes dans les écosystèmes benthiques, est confirmé par plusieurs auteurs. C'est pour cette raison qu'on estime être intéressant, d'étudier de plus près l'une de leurs fonctionnalités les plus importantes, qui est l'alimentation. Trois grands axes de travail ont été abordés :

1. Les herbiers de posidonies constituent un des habitats les plus fréquentés par les holothuries aspidochirotés. Le fait d'aborder l'un des plus importants aspects de la biologie de cette plante marine, qui est la floraison et la fructification ; nous permet d'avoir d'avantage d'informations sur son état actuel. En plus cela nous permet d'avoir une première base de données sur la description des caractéristiques morphologiques, des fleurs et des fruits de *Posidonia oceanica* de la région de Mostaganem ;
2. L'autre axe de travail, porte sur l'étude du comportement alimentaire de certaines espèces d'holothuries aspidochirotés, vivant dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Il vise à déterminer la capacité sélective de ces animaux marins, dans leurs alimentations ;
3. Cette étude porte également sur le régime alimentaire de ces espèces d'holothuries. Ceci a pour but d'apprécier la contribution des différentes sources trophiques, dans le régime alimentaire de ces organismes. Cet axe vise également à connaître la place des posidonies dans le régime alimentaire des holothuries, ainsi qu'à identifier l'espèce qui participe le mieux au transfert de la matière organique produite par cette phanérogame marine. L'étude se base sur deux types d'approches : une analyse qualitative et quantitative des contenus de leurs tubes digestifs, ainsi qu'une analyse isotopique des holothuries et de leurs potentielles sources de nourritures.

Afin de mener cette étude, la stratégie d'échantillonnage évoquée dans le tableau 3, a été adoptée.

Tableau 3 : Stratégie d'échantillonnage, adoptée lors de du présent travail [Substrat du Biotope (SB), Fèces (F), Pm (Posidonies mortes), Epiphytes de posidonies (Ep) et Meiofaune (Me)].

Axe de travail	Sous axe de travail	Site	Période	Echantillon		Méthode
				Type	Replicat	
Floraison et fructification des posidonies	Floraison	Stidia + Salamandre	Novembre 2017 (Automne)	Inflorescence de posidonies	12	Description des inflorescences [Caye et Meinesz, (1984)]
	Fructification		Janvier 2018 (Hiver)	Faisceau de posidonies portants des inflorescences	3	Description des fruits [Boudouresque et Thelin, (1985)]
Comportement alimentaire	Taux de la matière organique		Aout (Été) et Octobre (Automne) 2016 ; Janvier (Hiver) et Mai (Printemps) 2017	<i>H. poli</i> <i>H. tubulosa</i> <i>H. forskali</i> <i>H. sanctori</i> SB F	10	(Massin, 1980)
	Taux d'assimilation		//	//	//	(Roberts <i>et al.</i> , 1996)
Régime alimentaire	Analyse des contenus digestif		//	<i>H.poli</i> <i>H. tubulosa</i> <i>H. forskali</i> <i>H. sanctori</i> SB	10	Méthode des contacts [Jones, (1968), modifiée par Nedelec, (1982)]
	Selectivité		//	//	//	Indice d'Ivlev (Ivlev, 1961)
	Recouvrement des niches alimentaires		//	//	//	Indice de Schoener (Schoener, 1970)
	Analyse isotopique		Octobre 2016 (Automne)	<i>H. poli</i> <i>H. tubulosa</i> <i>H. forskali</i> <i>H. sanctori</i> Pm Ep Me	10 10 10 10 5 5 5	Analyse des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$

II. Présentation des sites d'étude

Le sujet abordé au cours de ce travail a été réalisé au niveau de deux sites différents. Le premier est situé à Stidia, tandis que le deuxième est à Salamandre (Fig. 21).

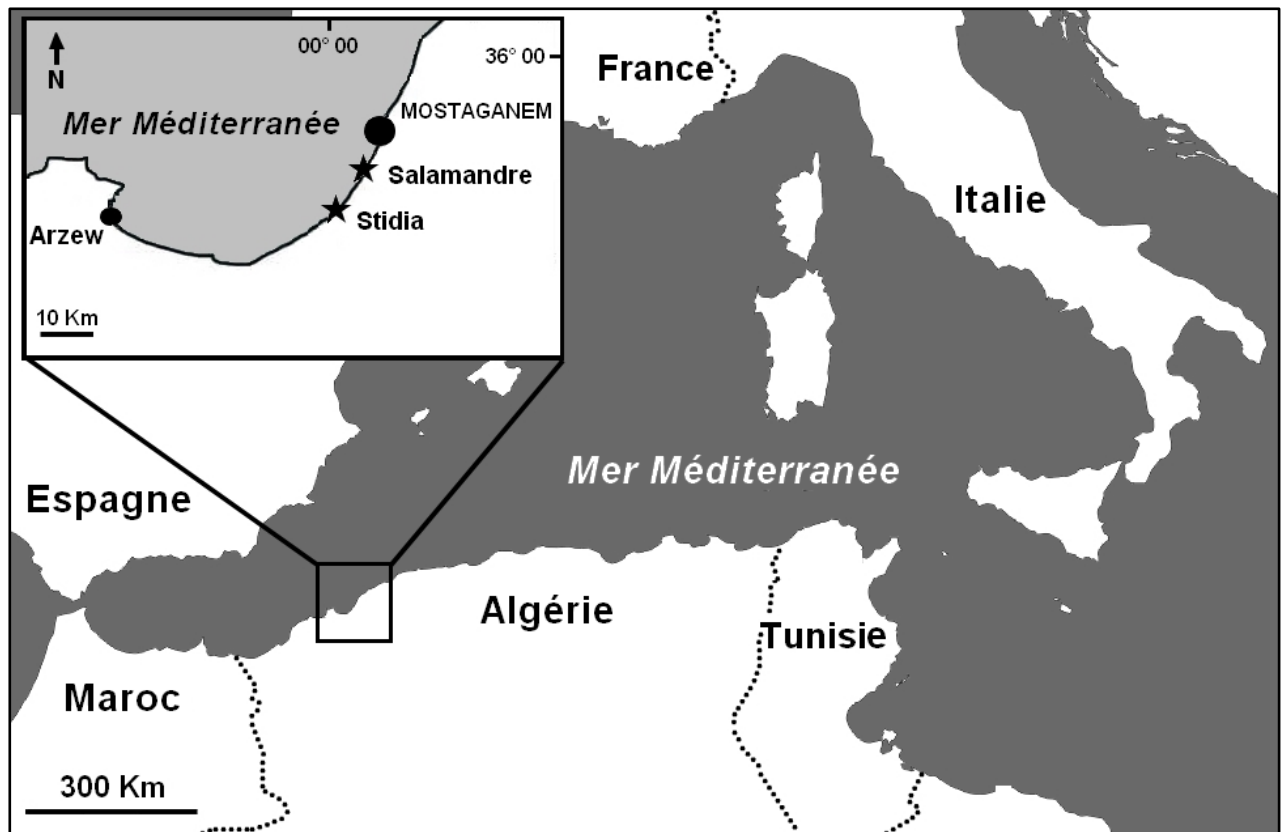


Figure 21. Situations géographiques du site de prélèvements des holothuries aspidochirotés de la côte ouest algérienne (étoiles) (carte arrangée par Belbachir, présent travail).

II.1. Description du site de Stidia

Situé à une distance d'environ 20 km au Sud-ouest de la ville de Mostaganem (Coordonnées géographiques : 35°49' N / 0°01' O), le site de Stidia (Fig. 21) présente une zone rocheuse interrompue par quelques criques, parfois sableuses, ouverte vers le nord-ouest. Les espèces *Ulva spp*, *Corallina spp*, *Caulerpa spp* et *Padina sp*, sont les macrophytes dominantes à Stidia ; alors que les espèces animales sont principalement représentées par poissons osseux (*Coris sp*, *Diplodus spp*, *Serranus spp*, et *Sarpa sp*), des échinodermes (*Holothuria spp*, *Ophioderma sp* et *Paracentrotus lividus*) et des mollusques (*Littorina spp* et *patella spp*) (Belbachir, 2012). Les "concombres de mer" dont les espèces les plus commune au niveau de ce site sont : *Holothuria (H.) tubulosa* Gmelin (1788) ; *Holothuria (H.) poli* Delle Chiaje (1823) ; *Holothuria (H.) froskali* Delle Chiaje (1823) et *Holothuria (H.) sanctori* Delle Chiaje (1823). L'herbier de Posidonies de ce site, se développe sur substrat rocheux à partir de -1,5m de profondeur. Cet herbier est de type II selon la classification de Giraud, (1977). En avant de cet herbier se développe de petites prairies de *Cymodocea nodosa* (Belbachir, 2012). L'herbier de posidonies sur substrat meuble est moins fréquent au niveau des zones superficielles de ce site, son recouvrement est quasiment insignifiant par rapport à celui sur substrat dur.

Le site de Stidia est soumis à de nombreuses activités anthropiques pouvant avoir un impact sur les herbiers à *Posidonia oceanica* : occupation humaine (rejets et apports des zones habitées), agriculture, tourisme en période estivale et pêche (ancrage, chalutage) ; c'est les raisons pour lesquelles notre choix s'est porté sur ce site, d'autant plus qu'il est aisément accessible. Ce site est situé à environ 2 km de la ville de Stidia qui compte aujourd'hui plus de 14000 habitants (source : www.citypopulation.de, 2012) ; les activités agricoles (principalement la vigne et la culture maraichères) de cette zone datent de l'ère coloniale. Le site de Stidia est localisé entre deux grands ports, notamment celui de Mostaganem et celui du terminal d'Arzew. Ce qui le laisse exposé à deux sources potentielles de pollution.

II.2. Description du site de Salamandre

Le site d'étude de la salamandre (Fig. 21), est situé à 5 km à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Mostaganem. Salamandre est une plage à caractère rocheux, qui a une orientation vers l'ouest (coordonnées géographiques : 35°55'N / 0°03'E).

Par ailleurs, la proximité de la zone industrielle de Mazagan dont les terminaux de canalisation de déchets industriels débouchent à environ 1km à l'ouest. L'impact sur l'environnement de ces effluents liquides rejetés dans la mer est très ressentie (Benhamidi, 2002). Ce site est également limitrophe au port de pêche et de commerce de Mostaganem et est caractérisé par une importante zone d'habitations, ainsi que par la présence de plusieurs usines [production de lait (orolait), pâtes alimentaires (safina) et produits cosmétique]. L'aspect sous-marin du site de Salamandre présente quelques signes de dégradation, à savoir une biodiversité réduite et un herbier de posidonie en très mauvais état. Cet herbier se développe sur substrat rocheux et se présente sous forme d'herbier clairsemé, voir des touffes de quelques mètres carrés (Belbachir 2012 ; plusieurs observations lors des plongés d'investigation). Cette situation est vraisemblablement la conséquence directe des aménagements réalisés ces dernières années ; à savoir la construction du port de pêche de Salamandre qui a modifié la circulation des eaux, affectant directement l'état de santé des herbiers de posidonie de ce site.

L'aspect sous-marin de la zone d'étude est également caractérisé par un herbier à *Posidonia oceanica* installé sur substrat rocheux, mais contrairement à celui du site de Stidia, l'herbier n'est pas en très bon état de santé. *Paracentrotus lividus* et *Arbacia lixula* sont les espèces d'échinides les plus abondantes ; les holothuries quant à elles sont représenté majoritairement que par les deux espèces *Holothuria (H.) tubulosa* Gmelin (1788) ; *Holothuria (H.) poli* Delle Chiaje (1823).

III. Prélèvement et traitement des échantillons

Mise à part la partie qui traite la floraison de posidonies, l'échantillonnage a été effectué uniquement par plongée en apnée. Les méthodes d'échantillonnage qu'on va décrire sont utilisées pour l'ensemble des sites de Stidia et de Salamandre.

III.1. Floraison et fructification de posidonies¹

Douze inflorescences de *Posidonia oceanica* portant uniquement des fleurs ont été récoltées en épave au niveau de la plage de Stidia (Mostaganem, Algérie) (Fig. 21), le 6 Novembre 2017. Deux mois après (le 08 Janvier 2018), trois rhizomes de posidonies portant des inflorescences avec fruits ont été également récoltés en épave, au niveau de la même plage. Ces inflorescences proviennent vraisemblablement de l'herbier de posidonies peut profond de cette région. Cet herbier qui est situé à -3m de profondeur est de type III (350.8 faisceaux/m²) selon la classification de Giraud, (1977) (Belbachir, 2012). Des prises de vue ont été réalisées sur les inflorescences à l'aide d'un appareil photo numérique (Fujifilm 10.2 Mega pixel).

La terminologie proposée par Caye et Meinesz, (1984), a été utilisée pour décrire les différentes parties de l'inflorescence. Pour les mensurations et les descriptions des fruits de posidonies, le protocole standardisé de Boudouresque et Thelin, (1985) a été préconisé.

III.2. Comportement alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de posidonies des sites étudiés

L'étude du taux de la matière organique et celle de l'analyse des contenus stomacaux des holothuries, ont été effectués durant les quatre saisons été/automne de l'année 2016 et hiver/printemps de l'année 2017.

III.2.1. Analyse du taux de la matière organique

Des prélèvements d'un lot de 10 individus, a été effectué pour chacune des espèces suivantes : *Holothuria (Holothuria) tubulosa* ; *Holothuria (Lessonothuria) poli* ; *Holothuria (Platyperona) sanctori* ; *Holothuria (Panningothuria) forskali*. En même temps, on a prélevé les premiers millimètres du Sédiment du Biotope (SB) au niveau duquel se trouvent ces espèces, ainsi que les fèces (F) se trouvant à proximité des individus de chaque espèce. Chaque échantillon a été mis isolement dans des sachets en plastique afin de les traités ultérieurement.

Les holothuries collectées ont été mesurées en prenant comme critère de mesure la longueur contractée (Mezali, 2001). Après dissection longitudinale des holothuries, le tube digestif de chaque individu est ouvert par une incision longitudinale et son Contenu Digestif (CD) est

¹ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Vie & Milieu.

soigneusement collecté (Fig. 22). Le taux de la matière organique dans le sédiment du contenu de chaque tronçon du tube digestif, est déterminé selon le protocole préconisé par Massin, (1980).

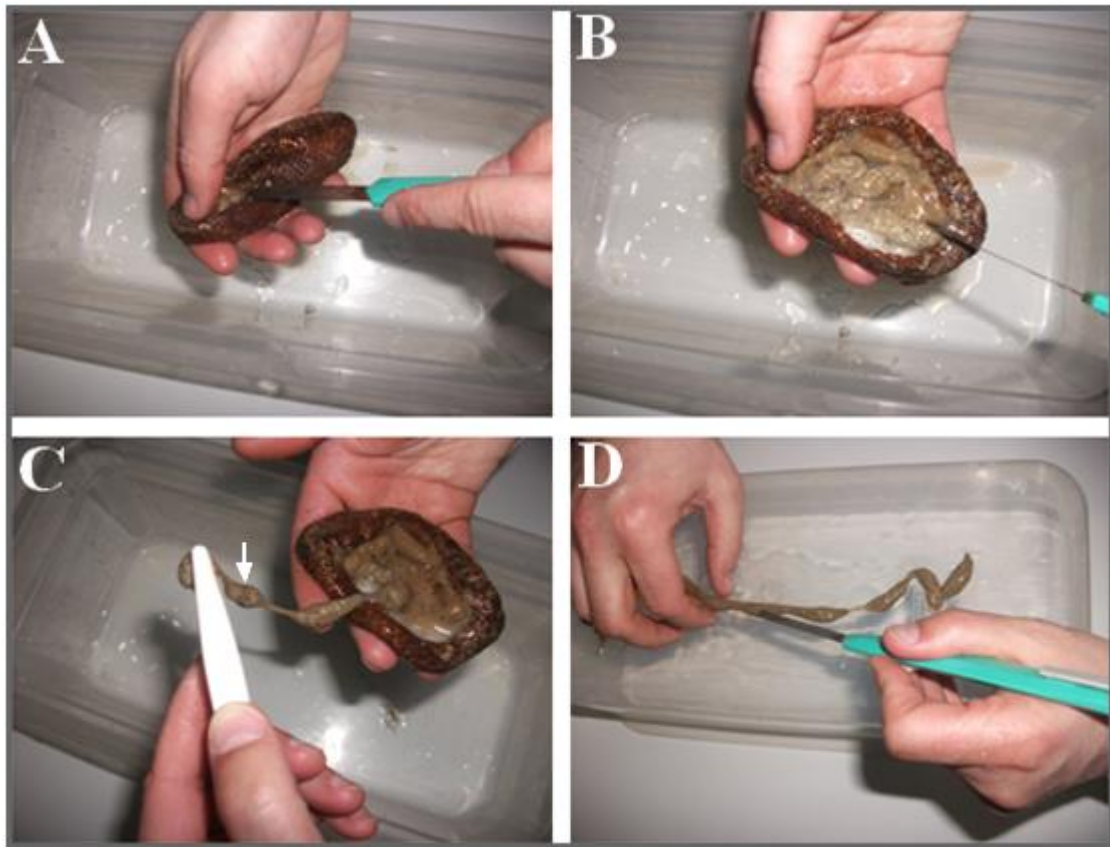


Figure 22 : Traitement des échantillons d'holothuries pour l'analyse du taux de la matière organique. Dissection longitudinale d'une holothurie (**A et B**) ; collecte du tube digestif (flèche) (**C**) ; incision du tube digestif (**D**).

Les échantillons sont séchés dans une étuve (de type HERAEUSE) à 105 °C pendant 24 heures, puis pesés sur une balance de précision (de type DENVER INSTRUMENT M-220D) pour ainsi obtenir le Poids Sec (PS). Les échantillons sont, ensuite, incinérés dans un four à moufle (de type CARBOLITE CWF 1200) à 550 °C pendant 2 heures, puis pesés une deuxième fois afin d'obtenir le Poids Brulé (PB). La formule suivante qui permet d'obtenir le pourcentage de la matière organique (Massin, 1980) a été utilisé :

$$\text{Taux de la matière organique (\%)} = (1 - \text{PB/PS}) \times 100$$

Le même protocole est utilisé pour le sédiment du biotope, où vivent les holothuries ainsi que pour les fèces émises par celles-ci.

III.2.2. Estimation du taux d'assimilation

L'assimilation correspond à l'incorporation dans les tissus de l'organisme d'un élément provenant d'une ressource trophique. L'assimilation intègre donc la composition élémentaire de cette ressource, son taux d'ingestion, sa digestion, son absorption à travers les parois digestives ainsi que son incorporation dans les tissus. On peut considérer le taux d'assimilation des nutriments comme un proxy de la performance de l'organisme sur les différentes ressources, car la quantité de nutriments assimilés par unité de temps contrôle leur allocation à la maintenance, ainsi qu'à la croissance et à la reproduction (François, 2015).

Différentes formules du taux (ou efficacité) d'assimilation ont été utilisées par différents auteurs ; notamment celles de Conover, (1966), Montgomery et Gerking, (1980). Lors de ce travail, on a considéré que le taux d'assimilation est la différence entre le taux de la matière organique du premier tronçon du tube digestif et celui du dernier tronçon (Roberts *et al.*, 1996 ; In : Ginger *et al.*, 2001).

$$\text{Taux d'assimilation (\%)} = \text{taux de la matière organique du Forgut} - \text{taux de la matière organique du Hingut}$$

III.2.3. Analyses statistiques

Des analyses univariées moyennant le logiciel R v3.4.1 (R Core Team, 2017), ont été réalisées pour vérifier la différence du taux d'assimilation et du coefficient de concentration entre les quatre holothuries étudiées.

III.2.3.1. Test de Kruskal-Wallis

Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis (Kruskal et Wallis, 1952), est l'analogue de l'analyse de variance à un critère de classification destinée aux données quantitatives normales (gaussiennes), avec l'avantage de ne pas tenir en compte de la loi de distribution de la variable étudiée ni de l'égalité des variances entre échantillons. Ce test est la généralisation de celui de Wilcoxon-Mann-Whitney et permet de déterminer si les k somme des rangs, se révèlent trop disparates pour que l'hypothèse nulle d'unicité de la population d'origine d'échantillons soit retenue (Scherrer, 1984). En d'autres termes, ce test permet de déterminer si les différents échantillons proviennent d'une même population ou si au moins un de ceux-ci provient d'une population différente. Dans cette partie de la thèse, le test de Kruskal-Wallis est utilisé afin de vérifier s'il y a une différence significative du taux d'assimilation de la matière organique et du

coefficient de concentration entre les espèces d'holothuries étudiées, ainsi qu'entre les saisons et entre les sites.

III.2.3.2. Test de Dunn

Lorsque le résultat du test de Kruskal-Wallis montre une différence, il est suivi par le test à posteriori de Dunn (Dunn, 1964), qui est un test non paramétrique de comparaisons multiples par paires pour des données quantitatives, permettant d'identifier et de classer différents groupes en fonction d'une variable. Ce test est basé sur la comparaison de moyennes des sommes des rangs. Dinno, (2015), estime que le test de Dunn est le plus approprié après un test de kruskal-wallis.

Ces deux dernières décennies, plusieurs méthodes sont utilisées pour l'ajustement de la valeur de P lors de l'application du test de Dunn ; entre autres, la méthode d'ajustement de Bonferonni est la plus largement utilisée (Dinno, 2015). Les résultats des tests statistiques ont été considérés comme significatifs, lorsque $P < 0.05$.

III.3. Régime alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de Posidonies des sites étudiés

III.3.1. Analyse des contenus digestifs des holothuries²

Au niveau des deux sites, des prélèvements d'un lot de 10 individus, a été effectué pour chacune des espèces d'holothuries suivantes : *Holothuria (Holothuria) tubulosa* ; *Holothuria (Lessonothuria) poli* ; *Holothuria (Platyperona) sanctori* ; *Holothuria (Panningothuria) forskali*. Les premiers millimètres du Sédiment du Biotope (SB) au niveau duquel se trouvent les holothuries ont été également prélevées. Chaque échantillon a été mis isolement dans des sachets en plastique contenant de l'eau de mer formolée à 10% afin de les traiter ultérieurement.

Au laboratoire, après dissection longitudinale des holothuries, le tube digestif de chaque individu est ouvert par une incision longitudinale et le contenu digestif est soigneusement collecté. Le problème de l'analyse du contenu digestif d'une espèce se pose de façons différentes selon la nature des résultats que l'on veut obtenir. Une étude qualitative par exemple, ne nécessite que l'identification des items présents, sans descripteur particulier. En revanche, pour une étude quantitative comme la nôtre, on est obligé de préciser un descripteur de l'abondance des différents items (nombre absolu, surface ou volumes occupé, masse, etc.) dans les contenus digestifs. Quand la taille des proies est suffisamment grande, on peut les quantifier directement (séparation, dénombrement, pesée, etc.). Mais souvent, et surtout quand on étudie des espèces animales de taille relativement petite, les résultats ne peuvent être qu'approximatifs. Les faibles dimensions

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

(microscopiques) des différents items du contenu digestif ne permettent pas leurs séparations, puis la mesure directe du descripteur choisi. Donc, les méthodes choisies ne peuvent donner qu'une estimation indirecte de la fréquence relative des items dans le contenu digestif (Frantzis *et al.*, 1988).

La méthode des contacts de Jones, (1968), modifiée par Nedelec, (1982) a été utilisée pour l'analyse des contenus digestifs. Cette méthode est utilisée, afin d'effectuer l'analyse sur les pelotes fécales des oursins. Pour le cas des holothuries, la méthode des contacts n'est pas appliquée sur des pelotes fécales, mais plutôt sur les sédiments ingérés. La modalité de prélèvement du sous-échantillon nécessaire, avant l'application de la méthode des contacts, est celle du protocole préconisé par Sonnenholzner (2003). Pour ce faire, un sous-échantillon d'1g du contenu digestif de chaque individu prélevé est ajouté à 10 ml d'eau de mer formolée (10 %). Ensuite 1ml de cette préparation est mis sur une lame pour son observation au microscope photonique (OPT-M100FX- Optika) au grossissement x40. La préparation placée sous l'objectif du microscope, est déplacée au hasard. A chaque position, l'espèce (végétale ou animale) se trouvant exactement au centre du champ visuel est identifiée ; il s'agit d'un contact. Dix contacts ont été réalisés pour dix lames, soit 100 contacts pour l'ensemble d'un contenu digestif. La somme des contacts pour un aliment, établit le pourcentage de sa présence dans le contenu digestif. Cette méthode a été également utilisée pour le sédiment du biotope des holothuries.

III.3.1.1. Etude de la sélectivité dans le choix de l'aliment

Plusieurs indices ont été proposés pour mesurer le degré de sélectivité d'un consommateur (Hurlbert, 1978 ; Feinsinger *et al.*, 1981 ; Smith, 1982). Tous ces indices reposent sur une comparaison, entre les proportions de ressources dans l'environnement et celles dans le contenu digestif du consommateur (François, 2015). Si les proportions des ressources dans l'environnement et celles consommées sont proches, cela veut dire que le consommateur se nourrit de manière non sélective. Cependant, s'il existe une forte inadéquation entre ces proportions (c'est-à-dire entre la disponibilité et l'utilisation des ressources), ce consommateur s'alimente de manière très sélective, soit en privilégiant des ressources relativement rares et / ou en évitant certaines ressources relativement abondantes (François, 2015).

Lors de ce travail, l'aspect de la sélectivité a été abordée à travers le calcul de l'Indice d'électivité d'Ivlev [$E' = (r_i - p_i) / (r_i + p_i)$; Avec : E' = Indice d'électivité ; r_i = pourcentage des items du contenu digestif ; p_i : pourcentage des items dans le sédiment du biotope]. Lorsque $E' = 0$, cela signifie qu'il n'existe pas de sélectivité ; lorsqu'il est compris entre $-1 < E' < 0$, ceci indique qu'il y

a un rejet ; lorsque E' est compris entre $0 < E' < 1$, indique une préférence (Ivlev, 1961 ; Whitlatch, 1974 ; Stadhuis *et al.*, 1998).

III.3.1.2. Etude de recouvrement des niches alimentaires

L'indice de recouvrement de Schoener (1970) a été utilisé pour estimer le degré de la superposition des niches trophiques en fonction des saisons, entre les quatre espèces d'holothuries étudiées. L'indice a été calculé selon la formule : $T = 1 - 0.5 [\sum | P_{xi} - P_{yi} |]$. Avec : P_{xi} = proportion de l'aliment i dans l'intestin de l'espèce x ; P_{yi} : proportion de l'aliment i dans l'intestin de l'espèce y . Si la valeur de T est comprise entre 0 et 0.6 cela signifie que les deux espèces (x et y) n'ont pas un même régime alimentaire. Par contre, si la valeur de T est supérieure à 0.6, cela signifie qu'il y a un chevauchement de la niche alimentaire (Keast, 1978).

III.3.1.3. Analyses statistiques

Des analyses multivariées moyennant le logiciel R v3.4.1 (R Core Team, 2017), ont été réalisées pour identifier les différences entre le régime alimentaire des quatre holothurides.

III.3.1.3.1. Analyse de variance multivariée par permutation (PERMANOVA)

Pour chaque groupe d'organismes, une matrice de similarité de Bray-Curtis a été calculée à partir des données transformées (Bray et Curtis, 1957). Cette transformation permet de réduire l'importance des aliments très abondantes et de donner plus d'influence aux aliments rares, tout en conservant l'ordre entre eux (Clarke et Warwick, 1994 ; Thorne *et al.*, 1999).

Une analyse de variance multivariée par permutation (PERMANOVA) (Anderson, 2001) a été utilisée pour tester la dissimilarité du régime alimentaire entre les deux facteurs (espèce ; saison). Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée pour un facteur donné, une "Pairwise PERMANOVA" est appliquée, afin de comparer les régimes alimentaires. L'analyse PERMANOVA calcule une valeur de « P » en utilisant des permutations plutôt que de se baser sur une table de valeur de « P » standard qui elle nécessite la normalité (Anderson 2005).

III.3.1.3.2. Positionnement multidimensionnel non métrique (NMDS)

La relation de dissimilarité permettant la mesure du lien entre les espèces d'holothuries en termes de régime alimentaire, a été représentée graphiquement par un positionnement multidimensionnel non métrique (NMDS) (Clark, 1993). L'utilisation du logiciel R v3.4.1 nous a permis d'introduire des ellipses de confiance basée sur la variabilité existant entre les répliques (le niveau de confiance utilisé est de 68%).

Il consiste à modéliser les proximités (similarité ou dissimilarité) entre les "individus" de façon à pouvoir les représenter le plus fidèlement possible dans un espace de faible dimension

(généralement 2 dimensions) (Frontier, 1983). L'analyse multidimensionnelle construit une carte des sites, dans laquelle plus deux échantillons se ressemblent en termes d'abondance ou de biomasse (dans notre cas, en terme de régime alimentaire), plus ils sont proches l'un de l'autre sur la carte (Clarke et Green, 1988 ; Gray *et al.*, 1988). Ce type d'analyse est répandu, car il dépend seulement des renseignements de corrélation plutôt que des valeurs quantitatives, et utilise des affirmations telles que « l'échantillon 1 ressemble davantage à l'échantillon 2 qu'à l'échantillon 3 ». La mesure dans laquelle ces rapports peuvent être adéquatement représentés sur une carte bidimensionnelle est exprimée comme statistique de coefficient de stress. En d'autres termes, la mesure du stress évalue l'adéquation entre les rangs dans la matrice de similarité et la carte obtenue (Clarke et Warwick, 2001). Le stress est un indicateur normalisé variant entre 0 et 1, la valeur nulle indiquant un ajustement parfait. Ainsi, une valeur de stress inférieure à 0.1 traduit une excellente représentation, entre 0.1 et 0.25 elle donne une image satisfaisante, entre 0.25 et 0.5 la qualité est médiocre et les valeurs supérieures à 0.5 révèlent une représentation aléatoire (Ehrhold *et al.*, 2006).

III.3.2. Analyse isotopique des holothuries et de leurs sources de nourriture³

III.3.2.1. Prélèvements d'échantillons

L'échantillonnage a été réalisé durant la saison d'Automne 2016 (début Octobre), au niveau de deux sites éloigné de 10km, peu profonds (entre 0 et -3m) de la région littorale de Mostaganem (Nord-Ouest, Algérie) (Fig. 19). Le choix de cette saison d'échantillonnage se justifie par le fait que durant cette période de l'année, la litière présente un maximum d'abondance après la chute de feuilles de posidonies après les tempêtes automnales (Gallmetzer *et al.*, 2005 ; Remy, 2016).

Dans ces deux sites, on retrouve par ordre d'abondance : *Holothuria (Roweothuria) poli* (Delle Chiaje, 1824) qui fréquente les fonds détritiques et les herbiers de posidonies (Francour, 1984 ; Mezali 2004). Cette espèce a la capacité de se camoufler avec une fine couche de sable (Mezali, 2008). *Holothuria (Holothuria) tubulosa* (Gmelin, 1791) se retrouve beaucoup plus près des fonds rocheux et au sein des herbiers de posidonie (Francour, 1990). Les deux autres espèces [*Holothuria (Panningothuria) forskali* (Delle Chiaje, 1823) et *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Delle Chiaje, 1823)] présentent un corps mous et possèdent des organes de défense (tubes de Cuviers). Ce sont des espèces cryptiques qui se retrouvent sur le substrat dur, sous les rochers et dans l'herbier de posidonies (Mezali, 2004 ; 2008).

Dans chaque site, dix individus de chaque espèce d'holothurie d'une taille moyenne de 20cm ont été prélevé (le nombre totale des individus, est égale à 40 par site). Leurs potentielles sources de

³ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

nourriture, ont été prélevés également à une profondeur moyenne de -3m dans les deux sites étudiés. Les trois sources alimentaires pris en considération sont : les feuilles mortes de posidonies (Pm) (prélevés à partir de la litière), Meiofaune (Me) à partir du sédiment du biotope ou les holothuries ont été prélevés et épiphytes des feuilles de posidonies (Ep). Ces derniers ont été obtenus après un grattage complet des feuilles de posidonie avec une lame de rasoir (Dauby et Poulicek, 1995).

III.3.2.2. Méthode d'étude

Les muscles rétracteurs des holothuries ont été soigneusement prélevés puis séchés séparément à l'étuve à 50°C pendant 48h. Par la suite, les muscles rétracteurs de chaque individu sont broyés au mortier et au pilon. Chacune des quatre sources alimentaires précitées est broyée séparément dans un broyeur à billes (Retsch Mixer Mill MM301), ceci pour obtenir une poudre très fine homogène. Afin d'éliminer les carbonates (HCO_3^{2-}) potentiellement contenus dans les muscles rétracteurs, ces derniers ont été décalcifiés à la vapeur d'acide chlorhydrique (HCl) à 37% pendant 24h. Les échantillons d'épiphytes de posidonie ont été également décalcifiés directement dans l'HCl à 37% pendant 24h. Les rapports isotopiques du C et de N ont été mesurés sur spectromètre de masse (EA-IRMS) (Isoprime 100, Isoprime, UK) couplé à un analyseur élémentaire N-C-S (Vario Microcube, Elementar, Germany), (Laboratoire d'Océanologie, Université de Liège, Belgique). Les rapports isotopiques ont été exprimés en utilisant la notation δ (‰) (COPLEN 2011). Les substances de référence utilisées sont : IAEA-N2 ($\delta^{15}\text{N} = +20.30 \pm 0.20$ ‰) ; IAEA C-6 (sucrose) ($\delta^{13}\text{C} = -10.80 \pm 0.47$ ‰) et la glycine ($\delta^{15}\text{N} = 2.25 \pm 0.3$ ‰ ; $\delta^{13}\text{C} = -47.5 \pm 0.3$ ‰). Les écart-type sur les mesures de composition répliquée sur un échantillon sont respectivement 0.5‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et 0.4‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ respectivement.

III.3.2.3. Analyse statistique

III.3.2.3.1. Test de Kruskal-Wallis

Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été effectué afin de tester une éventuelle différence des rapports isotopiques du C et de l'N entre les espèces d'holothuries étudiées, ainsi qu'entre les quatre sources de nourritures.

III.3.2.3.2. Test de Dunn

Le test de Dunn a été utilisé pour déceler quelle espèce d'holothurie diffère significativement des autres ; ainsi que pour ressortir quelle source de nourriture diffère significativement des autres.

III.3.2.3.3. Modèle de mélange SIAR ("Stable Isotope Analysis in R")

Le modèle de mélange des isotopes stables SIAR (Stable Isotope Analysis in R) sur le logiciel R (R Development Core Team 2017) ; a été utilisé pour estimer la contribution relative des

différentes sources de nourritures (feuilles mortes de posidonie, épiphytes des feuilles de posidonie et meiofaune) dans le régime alimentaire des holothuries (Parnell *et al.*, 2010). Le facteur trophique utilisé pour le carbone est (0.4 ± 1.3) (Post, 2002) ; alors que celui utilisé pour l'azote est (-0.5 ± 2.5) (Vanderklift et Ponsard, 2003).

III.3.2.3.4. Modèle SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R)

Les différents paramètres de la niche isotopique (proxy de la niche trophique établie par les isotopes stables) ont été calculés moyennant le package SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R, Version 4.2 ; Jackson *et al.*, 2011) sur le logiciel R. Le package SIBER a été utilisé pour générer les ellipses standards bivariées qui représentent les niches isotopiques des holothuries. Le calcul de la zone de niche et du chevauchement entre les ellipses a été réalisé en utilisant l'inférence bayésienne SEAc (Jackson *et al.*, 2011). La comparaison entre les aires des ellipses associées à chaque espèce d'holothurie a également été réalisée à l'aide de la modélisation bayésienne (SEAb).

CHAPITRE 3 :
RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats

I.1. Floraison et fructification de posidonies¹

Toutes les inflorescences récoltées le 06 novembre 2017 sont de couleur verte et sont toutes détachées de leurs rhizomes (Fig. 23A). Le reste de la hampe florale qui était encore fixé à l'inflorescence est d'une longueur moyenne de 40.1mm (maximum : 130mm et minimum : 8mm). Il est à noter qu'aucune des inflorescences provenant du lot du 06 Novembre 2017 ne porte de fruits.

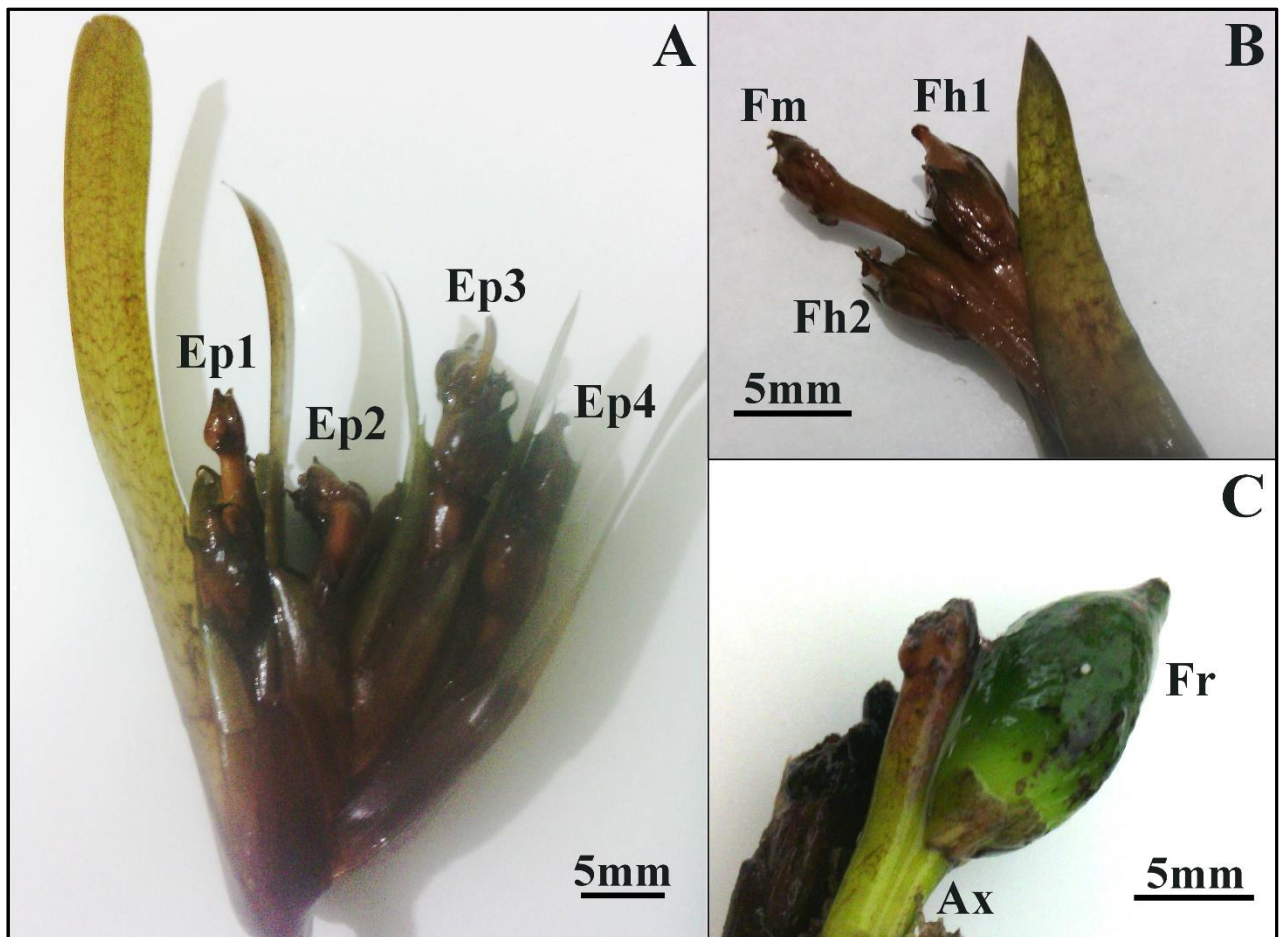


Figure 23 : Caractéristiques morphologiques des inflorescences trouvées en épave dans la région de Stidia (Mostaganem). A : Inflorescence de *Posidonia oceanica* portant 4 épillets (Ep) observée le 6/11/2017. B : Epillet du 6/11/2017 portant 2 fleurs hermaphrodites (Fh) et une fleur male (Fm). C : Axe (Ax) portant un fruit (Fr) jeune de *Posidonia oceanica* retrouvé le 8/01/2018.

Les inflorescences récoltées le 06 novembre 2017 portent entre 1 et 4 épillets, avec une moyenne de longueur d'axe qui est comprise entre 24mm et 27mm (Tab. 4). Chaque épillet porte en moyenne entre 1.4 et 2 fleurs (Fig. 23B). La longueur moyenne des deux bractées chlorophylliennes alternes qui protègent les organes sexuelles est entre 21mm (sur l'épillet 3) et

¹ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique soumis à la revue Vie & Milieu.

26mm (sur l'épillet 1) pour la première bractée et entre 17mm (sur l'épillet 2) et 23mm (sur l'épillet 1) pour la deuxième bractée (Tab. 4).

Tableau 4 : Caractéristiques des inflorescences de *Posidonia oceanica* provenant du site de Stidia (Mostaganem) le 06/11/2017. L'épillet 1 est situé à la base de l'inflorescence.

	Longueur des axes (mm)	Nombre de fleurs	Fleurs hermaphrodites			Bractée 1 (mm)	Bractée 2 (mm)
			Nombre	Gynécée (mm)	Androcée (mm)		
Epillet 1	(27 ± 8.2)	(2.0 ± 1.2)	(1.4 ± 0.7)	(6.2 ± 2.5)	(4.8 ± 1.9)	(26 ± 6.7)	(23 ± 5.3)
Epillet 2	(24 ± 4.1)	(1.4 ± 0.8)	(0.8 ± 0.8)	(3.7 ± 3.0)	(3.0 ± 2.4)	(22 ± 4.6)	(17 ± 4.7)
Epillet 3	(25 ± 6.3)	(1.7 ± 0.9)	(1.0 ± 0.7)	(5.3 ± 3.1)	(3.7 ± 2.1)	(21 ± 6.9)	(18 ± 6.1)
Epillet 4	(26 ± 5.1)	(2.3 ± 1.3)	(1.8 ± 0.9)	(5.2 ± 1.9)	(3.9 ± 1.5)	(25 ± 5.3)	(22 ± 6.2)

La moyenne de nombre de fleurs par épillet obtenus est entre 1.4mm et 2.3mm ; celle des fleurs hermaphrodites est entre 0.8mm et 1.8mm (Tab. 4). Nos résultats montrent que le 1^{er} épillet est présent dans 100% des inflorescences, le 2eme et le 3eme épillet sont présent dans 91.6% des inflorescences, alors que le 4^{eme} épillet est uniquement présent dans 50% des inflorescences (Tab. 5). La majorité des épillets que nous avons examinés portent 2 à 3 fleurs, la 4^{eme} fleur est uniquement présente sur le quatrième épillet ; ces fleurs sont 56.2% à 78.6% hermaphrodite et 21.4% à 43.8% male, mais il est à noter que certains épillets ne portent aucune fleur (Tab. 5).

¹ Cette partie à fait l'objet d'un article scientifique soumis à la revue Vie & Milieu.

Tableau 5 : Pourcentage du nombre et de la nature des fleurs de posidonies récoltées le 06/11/2017. L'épillet 1 est situé à la base de l'inflorescence. Fleur male (M), fleur hermaphrodite (M+F).

	Sans fleurs (%)	1 Fleur (%)		2 Fleurs (%)		3 Fleurs (%)		4 Fleurs (%)	
Epillet 1	16.6	16.6		16.8		50		0	
		M	M+F	M	M+F	M	M+F	M	M+F
		0	100	25	75	33.3	66.6	0	0
	Total	M : 37.5%				M+F : 62.5%			
Pourcentage des inflorescences portant le 1^{er} Epillet						100%			
	Sans fleurs (%)	1 Fleur (%)		2 Fleurs (%)		3 Fleurs (%)		4 Fleurs (%)	
Epillet 2	9.1	45.4		36.3		9.2		0	
		M	M+F	M	M+F	M	M+F	M	M+F
		60	40	37.5	62.5	33.3	66.6	0	0
	Total	M : 43.8%				M+F : 56.2%			
Pourcentage des inflorescences portant le 2^{eme} Epillet						91.6%			
	Sans fleurs (%)	1 Fleur (%)		2 Fleurs (%)		3 Fleurs (%)		4 Fleurs (%)	
Epillet 3	9.1	27.2		45.4		18.3		0	
		M	M+F	M	M+F	M	M+F	M	M+F
		66.6	33.3	40	60	33.3	66.6	0	0
	Total	M : 42.1%				M+F : 57.9%			
Pourcentage des inflorescences portant le 3^{eme} Epillet						91.6%			
	Sans fleurs (%)	1 Fleur (%)		2 Fleurs (%)		3 Fleurs (%)		4 Fleurs (%)	
Epillet 4	16.7	0		33.3		33.3		16.7	
		M	M+F	M	M+F	M	M+F	M	M+F
		0	0	0	100	33.3	66.6	25	75
	Total	M : 21.4%				M+F : 78.6%			
Pourcentage des inflorescences portant le 4^{eme} Epillet						50%			

Toutes les inflorescences récoltées le 08 Janvier 2018 sont attachées à leurs rhizomes ; elles sont de couleur brune et portent un certain nombre de fruits (Fig. 23C). La position de la hampe florale dans les faisceaux de *Posidonia oceanica* est toujours centrale, entourée par 3 feuilles intermédiaires (14.5, 13.2 et 30.9cm de longueur) et 4 feuilles adultes (35.5, 37.7, 27.9 et 28cm de longueur) (Tab. 6).

¹ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique soumis à la revue Vie & Milieu.

Tableau 6 : Composition foliaire des faisceaux portant une hampe florale récoltés le 08/01/2018 dans le site de Stidia (Mostaganem).

	Nombre	Position	Longueur (mm)
Hampe florale	1	Centre de l'apex	(201.6 ± 62.9)
Feuille intermédiaire	1	Contre la hampe florale	(145 ± 90.2)
Feuille intermédiaire	2	Contre la hampe florale	(133.3 ± 69.1)
Feuille intermédiaire	3	Vers la périphérie du faisceau	(309 ± 45.8)
Feuille adulte	I	Vers la périphérie du faisceau	(356.6 ± 98.2)
Feuille adulte	II	Vers la périphérie du faisceau	(375.3 ± 85.9)
Feuille adulte	III	Vers la périphérie du faisceau	(278.6 ± 86.5)
Feuille adulte	IV	Vers la périphérie du faisceau	(280 ± 87.8)

Les inflorescences analysées portent entre 2 et 4 épillets de couleur brune, avec une longueur d'axe qui est entre 20mm et 33mm (Tab. 7). La majorité des épillets portent un seul ovaire avorté, d'autres épillets portent 2 alors qu'un seul épillet ne porte aucun ovaire (Tab. 7). Quelques épillets ne portent pas de fruits mais lorsque celles-ci sont présent, elles sont au nombre de 1 ou 2 par épillet (Tab. 7), de couleur brune, noir ou verte. La longueur des fruits est entre 7mm et 15mm.

Tableau 7 : Description des fruits de *Posidonia oceanica* récoltés le 08/01/2018 dans le site de Stidia (Mostaganem).

	Nombre d'épillet	Longueur de l'axe de l'épillet (mm)	Nombre d'ovaire avorté	Nombre de fruit par épillet	Taille du fruit (mm)	Âge du fruit	Couleur du fruit
Inflorescence 1	2	22	1	1	15	Jeune	Vert
		23	2	0	-	-	-
Inflorescence 2	4	24	1	0	-	-	-
		20	1	1	15	Jeune	Brun
		30	2	0	-	-	-
		28		2	14	Jeune	Brun
Inflorescence 3	3		1	0	-	-	-
			1	0	-	-	-
		33		2	8	Très jeune	Noir
			0		9	Très jeune	Brun

¹ Cette partie à fait l'objet d'un article scientifique soumis à la revue Vie & Milieu.

I.2. Comportement alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de posidonies des sites étudiés

I.2.1. Analyse du taux de la matière organique

I.2.1.1. Stidia

Le taux de la matière organique du premier tronçon du tube digestif (FG), montre une différence hautement significative entre les espèces d'holothuries étudiées (Test de Kruskal-Wallis, $P < 0.001$). Le test à *posteriori* de Dunn ($P < 0.05$), montre que les valeurs de la matière organique obtenues au niveau du Forgut de l'espèce *H. poli* sont significativement différentes de celles obtenues chez les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori*. Dans l'ensemble *H. poli* présente les plus bas taux de matière organique, tandis que *H. forskali* et *H. sanctori* présentent les valeurs les plus élevées au niveau du Forgut (Fig. 24 ; Tab. 8). Le taux de la matière organique du Forgut chez l'espèce *H. tubulosa* ne présente aucune différence significative avec ceux des autres espèces d'holothuries (Test de Dunn, $P > 0.05$) (Fig. 24 ; Tab. 8). Le résultat du test de Kruskal-Wallis montre également que le taux de matière organique au niveau du Forgut diffère de manière hautement significative d'une saison à l'autre (Test de Kruskal-Wallis, $P < 0.001$).

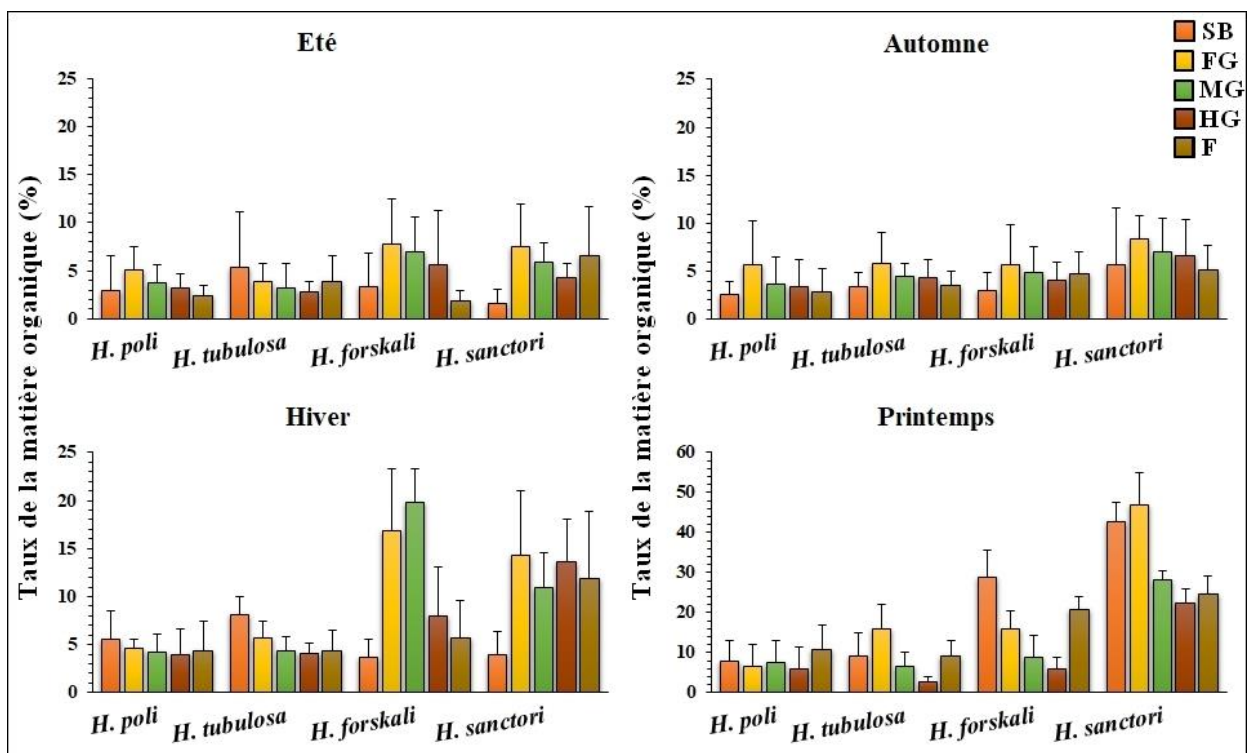


Figure 24 : Taux de la matière organique (en pourcentage) du contenu du substrat du biotope (SB), premier tronçon du tube digestif (FG), deuxième tronçon du tube digestif (FG), troisième tronçon du tube digestif (HG) et des fèces (F) des holothuries aspidochirotés étudiées du site de Stidia, ainsi que du sédiment de leurs biotope (SB) ; pendant les quatre saisons d'étude.

Tableau 8 : Valeurs (moyenne \pm écart-type) du taux de la matière organique (en %), obtenues au niveau des différents tronçons du tube digestif (FG : premier tronçon, MG : deuxième tronçon et HG : troisième tronçon), du substrat du biotope (SB), ainsi qu'au niveau des fèces (F) chez les espèces d'holothuries étudiées du site de Stidia, pendant les quatre saisons.

Saison	Espèce	SB	FG	MG	HG	F
Eté	<i>H. poli</i>	(2.91 \pm 3.69)	(5.10 \pm 2.38)	(3.75 \pm 1.83)	(3.26 \pm 1.42)	(2.47 \pm 1.01)
	<i>H. tubulosa</i>	(5.41 \pm 5.66)	(3.87 \pm 1.84)	(3.16 \pm 2.61)	(2.85 \pm 1.05)	(3.89 \pm 2.65)
	<i>H. forskali</i>	(3.39 \pm 3.49)	(7.81 \pm 3.71)	(6.99 \pm 3.63)	(5.61 \pm 4.72)	(1.93 \pm 0.98)
	<i>H. sanctori</i>	(1.60 \pm 1.42)	(7.49 \pm 4.44)	(5.93 \pm 1.93)	(4.23 \pm 1.53)	(6.50 \pm 5.18)
Automne	<i>H. poli</i>	(2.55 \pm 1.43)	(5.63 \pm 4.58)	(3.63 \pm 2.88)	(3.38 \pm 2.84)	(2.86 \pm 2.43)
	<i>H. tubulosa</i>	(3.41 \pm 1.47)	(5.80 \pm 3.29)	(4.42 \pm 1.35)	(4.40 \pm 1.75)	(3.52 \pm 1.46)
	<i>H. forskali</i>	(3.05 \pm 1.78)	(5.69 \pm 4.20)	(4.85 \pm 2.74)	(4.03 \pm 1.87)	(4.80 \pm 2.18)
	<i>H. sanctori</i>	(5.67 \pm 5.96)	(8.34 \pm 2.43)	(7.03 \pm 3.53)	(6.64 \pm 3.79)	(5.10 \pm 2.61)
Hiver	<i>H. poli</i>	(5.58 \pm 2.94)	(4.60 \pm 0.94)	(4.17 \pm 1.88)	(3.95 \pm 2.62)	(4.34 \pm 3.02)
	<i>H. tubulosa</i>	(8.08 \pm 1.93)	(5.71 \pm 1.69)	(4.35 \pm 1.45)	(4.10 \pm 1.08)	(4.38 \pm 2.16)
	<i>H. forskali</i>	(3.68 \pm 1.91)	(16.90 \pm 6.44)	(19.78 \pm 3.57)	(7.98 \pm 5.08)	(5.71 \pm 3.85)
	<i>H. sanctori</i>	(3.88 \pm 2.41)	(14.31 \pm 6.70)	(10.99 \pm 3.54)	(13.65 \pm 4.42)	(11.90 \pm 6.97)
Printemps	<i>H. poli</i>	(7.72 \pm 5.41)	(6.57 \pm 5.47)	(7.53 \pm 5.59)	(6.08 \pm 5.29)	(10.81 \pm 6.20)
	<i>H. tubulosa</i>	(9.25 \pm 5.78)	(15.82 \pm 6.23)	(6.61 \pm 3.64)	(2.68 \pm 1.26)	(9.08 \pm 3.78)
	<i>H. forskali</i>	(28.78 \pm 6.79)	(16.06 \pm 4.44)	(8.98 \pm 5.17)	(5.93 \pm 2.93)	(20.66 \pm 3.16)
	<i>H. sanctori</i>	(42.66 \pm 4.73)	(46.90 \pm 8.16)	(28.22 \pm 2.32)	(22.24 \pm 3.52)	(24.50 \pm 4.77)

La saison printanière est significativement différente des saisons estivale et automnale (Test de Dunn, $P < 0.05$), c'est d'ailleurs, au cours du printemps que le taux de la matière organique est très important [(46.90% \pm 8.16), (16.06% \pm 4.44), (15.82% \pm 6.23) et (6.57% \pm 5.47) respectivement chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. tubulosa* et *H. poli*] (Fig. 24 ; Tab. 8).

Presque trois quart (69%) des quatre holothurides échantillonnées durant les quatre saisons ; présentent un taux de matière organique du FG, qui est supérieur à celle du SB (Fig. 24 ; Tab. 8). Par ailleurs, le reste espèces (31%) présentent des valeurs qui sont parfois inférieurs ou très proches à celles de leurs biotopes (En été : *H. tubulosa* avec (3.87% \pm 1.84) au niveau du Forgut et (5.41% \pm 5.66) au niveau du substrat du biotope. En hiver : *H. poli* avec (4.60% \pm 0.94) au niveau du Forgut et (5.58% \pm 2.94) au niveau du substrat du biotope ; *H. tubulosa* avec (5.71% \pm 1.69) au niveau du Forgut et (8.08% \pm 1.93) au niveau du substrat du biotope. En printemps : *H. poli* avec (6.57% \pm 5.47) au niveau du Forgut et (7.72% \pm 5.41) au niveau du substrat du biotope ; *H. forskali* avec (16.06% \pm 4.44) au niveau du Forgut et (28.78% \pm 6.79) au niveau du substrat du biotope) (Fig. 24 ; Tab. 8).

Nos résultats montrent que pendant les quatre saisons d'étude, le pourcentage de la matière organique à tendance à diminuer, au fur et à mesure que l'on avance du premier tronçon (FG) vers le troisième tronçon (HG) du tube digestif, chez la majorité des espèces d'holothuries étudiées (Fig. 24 ; Tab. 8). Cependant, certaines espèces ne présentent pas la même évolution du taux de la matière organique. Parfois on obtient des taux plus élevés au niveau du Midgut par rapport au Forgut [(16.90% \pm 6.44) au niveau du Forgut et (19.78% \pm 3.57) au niveau du Midgut, chez *H. forskali* (en hiver) ; (6.57% \pm 5.47) au niveau du Forgut et (7.53% \pm 5.59) au niveau du Midgut, chez *H. poli* (en printemps)] (Fig. 24 ; Tab. 8) ; d'autres fois on obtient des taux élevés au niveau du Hindgut par rapport au Midgut [(10.99% \pm 3.54) au niveau du Midgut et (13.65% \pm 4.42) au niveau du Hindgut, chez *H. sanctori* (en hiver)] (Fig. 24 ; Tab. 8).

Le taux de la matière organique au niveau des Fèces (F), montre une différence entre les espèces d'holothuries étudiées (Test de Kruskal-Wallis, $P < 0.05$). Selon le test *à posteriori*, la différence du taux de la matière organique au niveau des fèces réside entre les deux espèces *H. poli* et *H. sanctori* (Test de Dunn, $P < 0.05$). Globalement, les fèces de *H. poli* présentent des pourcentages de matière organique qui sont très faibles par rapport à ceux de *H. sanctori* ; il est à signaler que les excréments cette dernière présentent les plus fortes valeurs de matière organique (Fig. 24 ; Tab. 8). D'autre part, le test de Kruskal-Wallis révèle une différence hautement significative du taux de matière organique des fèces, en fonction du facteur saison (Test de Kruskal-Wallis, $P < 0.001$). C'est la saison printanière qui est significativement différente des quatre autres saisons de l'année (Test de Dunn, $P < 0.05$) ; c'est lors de cette saison que chaque espèce d'holothurie présente le pic du taux de la matière organique, au niveau de leurs excréments [(24.50% \pm 4.77), (20.66% \pm 3.16), (10.81% \pm 6.20) et (9.08% \pm 3.78) respectivement chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. poli* et *H. tubulosa*] (Fig. 24 ; Tab. 8).

Toutes saisons confondues, on remarque que dans 56.25% des cas, la teneur en matière organique des fèces de chacune des espèces d'holothuries, est inférieure à celle des sédiments de leurs biotopes respectives ; tandis que dans 43.75% des cas, c'est plutôt l'inverse qui est observé (Fig. 24 ; Tab. 8).

I.2.1.2. Salamandre

Le résultat du test de Kruskal-Wallis montre que le taux de matière organique au niveau du Forgut, diffère de manière hautement significative d'une espèce à l'autre (Test de Kruskal-Wallis, $P < 0.001$). En se référant au test *à posteriori*, les teneurs en matière organique du Forgut de l'espèce *H. forskali*, diffère significativement de celles des deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* (Test de Dunn, $P < 0.05$) ; l'espèce *H. forskali* présente à chaque fois des valeurs supérieures

[(32.75 ± 9.28) en printemps, (20.79 ± 2.12) en été, (9.20 ± 5.13) en automne et (8.76 ± 5.19) en hiver] à celles des deux autres espèces (Fig. 25 ; Tab. 9). Le test à *posteriori* de Dunn montre que le taux de la matière organique au niveau du Forgut ne présente aucune différence entre *H. sanctori* et le reste des espèces d'holothuries, prise deux à deux. Néanmoins, il est à signaler que ce test donne une valeur de $P = 0.053$ entre *H. sanctori* et *H. forskali*, ce qui frôle la différence. Le taux de la matière organique du Forgut, ne présente aucune différence entre les saisons (Test de Kruskal-Wallis, $P > 0.05$).

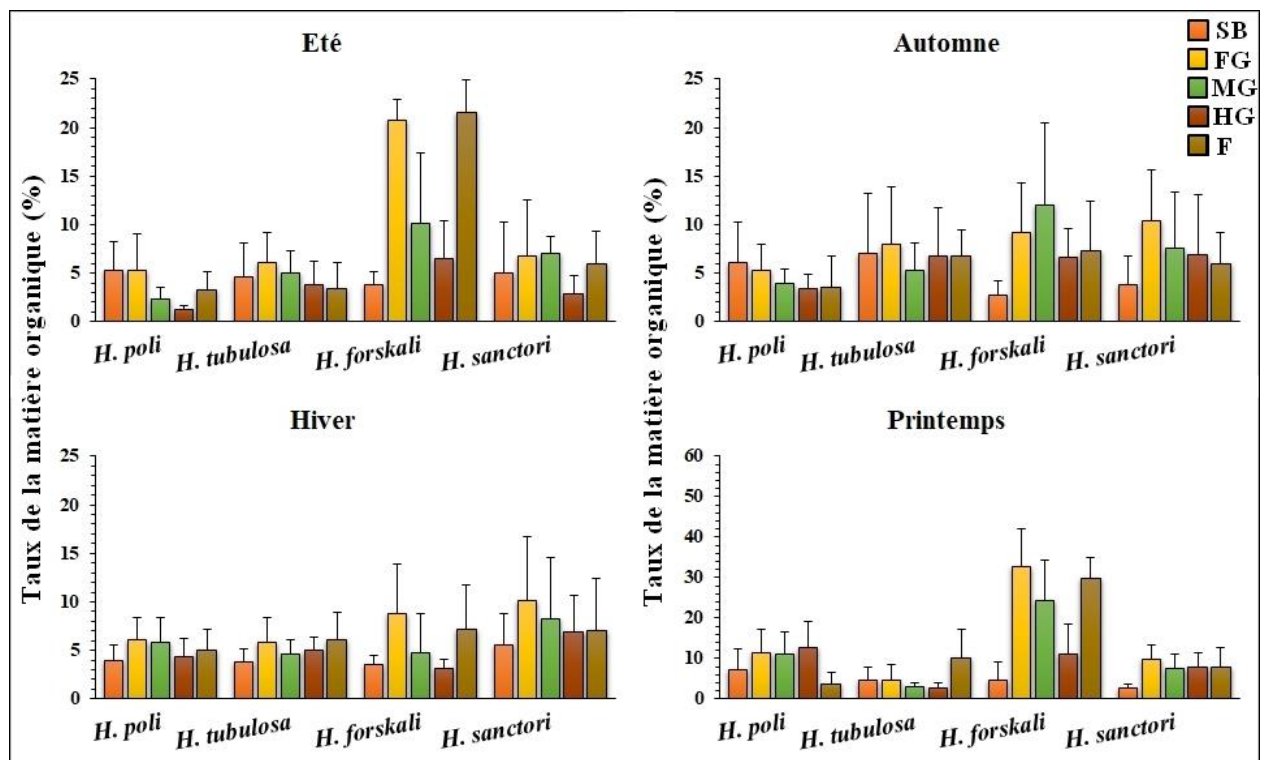


Figure 25 : Taux de la matière organique (en pourcentage) du contenu du substrat du biotope (SB), du premier tronçon du tube digestif (FG), deuxième tronçon du tube digestif (FG), troisième tronçon du tube digestif (HG) et des fèces (F) des holothuries aspidochirotées étudiées du site de Salamandre, ainsi que du sédiment de leurs biotope (SB) ; pendant les quatre saisons d'étude.

Tableau 9 : Valeurs (moyenne \pm écart-type) du taux de la matière organique (en %), obtenues au niveau des différents tronçons du tube digestif (FG : premier tronçon, MG : deuxième tronçon et HG : troisième tronçon), du substrat du biotope (SB), ainsi qu'au niveau des fèces (F) chez les espèces d'holothuries étudiées du site de Salamandre, pendant les quatre saisons.

Saison	Espèce	SB	FG	MG	HG	F
Été	<i>H. poli</i>	(5.32 \pm 2.89)	(5.25 \pm 3.84)	(2.32 \pm 1.23)	(1.27 \pm 0.38)	(3.29 \pm 1.81)
	<i>H. tubulosa</i>	(4.55 \pm 3.49)	(6.06 \pm 3.13)	(5 \pm 2.30)	(3.84 \pm 2.32)	(3.47 \pm 2.63)
	<i>H. forskali</i>	(3.79 \pm 1.32)	(20.79 \pm 2.12)	(10.15 \pm 7.75)	(6.53 \pm 3.80)	(21.49 \pm 3.36)
	<i>H. sanctori</i>	(5.20 \pm 5.29)	(6.71 \pm 5.77)	(7.06 \pm 1.76)	(2.90 \pm 1.82)	(6.01 \pm 3.32)
Automne	<i>H. poli</i>	(6.12 \pm 4.11)	(5.32 \pm 2.68)	(3.93 \pm 1.55)	(3.41 \pm 1.53)	(3.59 \pm 2.23)
	<i>H. tubulosa</i>	(7.01 \pm 6.18)	(7.99 \pm 5.84)	(5.25 \pm 2.82)	(6.82 \pm 4.86)	(6.82 \pm 2.69)
	<i>H. forskali</i>	(2.68 \pm 1.46)	(9.20 \pm 5.13)	(11.95 \pm 8.45)	(6.57 \pm 3)	(7.36 \pm 5.02)
	<i>H. sanctori</i>	(3.87 \pm 2.86)	(10.44 \pm 5.14)	(7.60 \pm 5.72)	(6.90 \pm 6.13)	(5.93 \pm 3.18)
Hiver	<i>H. poli</i>	(3.99 \pm 1.59)	(6.03 \pm 2.33)	(5.83 \pm 2.53)	(4.29 \pm 2)	(4.97 \pm 2.22)
	<i>H. tubulosa</i>	(3.84 \pm 1.31)	(5.81 \pm 2.59)	(4.55 \pm 1.52)	(5.05 \pm 1.32)	(6.07 \pm 2.79)
	<i>H. forskali</i>	(3.58 \pm 0.89)	(8.76 \pm 5.19)	(4.81 \pm 3.92)	(3.09 \pm 0.93)	(7.23 \pm 4.49)
	<i>H. sanctori</i>	(5.55 \pm 3.23)	(10.07 \pm 6.60)	(8.20 \pm 6.31)	(6.92 \pm 3.71)	(7.07 \pm 5.29)
Printemps	<i>H. poli</i>	(7.36 \pm 4.99)	(11.34 \pm 5.96)	(11 \pm 5.45)	(12.81 \pm 6.28)	(3.53 \pm 2.98)
	<i>H. tubulosa</i>	(4.69 \pm 3.09)	(4.74 \pm 3.85)	(3.11 \pm 0.90)	(2.58 \pm 1.38)	(10.19 \pm 7.13)
	<i>H. forskali</i>	(4.75 \pm 4.42)	(32.75 \pm 9.28)	(24.33 \pm 9.83)	(11 \pm 7.36)	(29.92 \pm 5.11)
	<i>H. sanctori</i>	(2.76 \pm 0.76)	(9.74 \pm 3.54)	(7.69 \pm 3.41)	(7.93 \pm 3.48)	(7.80 \pm 5.03)

Dans l'ensemble, le sédiment du Forgut de la majorité des espèces d'holothuries étudiées, présente des taux de matière organique qui sont supérieurs à ceux du sédiment de leurs biotopes (Fig. 25 ; Tab. 9). Toutefois, l'espèce *H. poli* montre des valeurs de matière organique au niveau du sédiment du Forgut, qui sont inférieures à celles de leurs biotopes, ceci uniquement en été [avec (5.32% \pm 2.89) au niveau du sédiment du biotope et (5.25% \pm 3.84) au niveau du sédiment du Forgut] et en automne [avec (6.12% \pm 4.11) au niveau du sédiment du biotope et (5.32% \pm 2.68) au niveau du sédiment du Forgut] (Fig. 25 ; Tab. 9).

Pendant les quatre saisons d'étude, le taux de la matière organique, montre une décroissance au fur et à mesure que l'on avance tout au long des trois tronçons du tube digestif ; ceci chez la plupart des espèces d'holothuries. Chez certaines espèces, on ne retrouve pas cette évolution des teneurs de matière organique. Dans certains cas, le sédiment du Midgut présente des teneurs en matière organique, plus élevées par rapport à celles du sédiment du Forgut [(6.71% \pm 5.77) au niveau du Forgut et (7.06% \pm 1.76) au niveau du Midgut, chez *H. sanctori* (en été) ; (9.20% \pm 5.13) au niveau du Forgut et (11.95% \pm 8.45) au niveau du Midgut, chez *H. forskali* (en automne)] (Fig.

25 ; Tab. 9) ; alors que dans d'autres cas, c'est plutôt le sédiment du Hindgut qui présente des teneurs plus élevées par rapport à celles du sédiment du Midgut [(5.25% ± 2.82) au niveau du Midgut et (6.82% ± 4.86) au niveau Hindgut, chez *H. tubulosa* (en automne) ; (4.55% ± 1.52) au niveau du Midgut et (5.05% ± 1.32) au niveau du Hindgut, chez *H. tubulosa* (en hiver) ; (7.69% ± 3.41) au niveau du Midgut et (7.93% ± 3.48) au niveau du Hindgut, chez *H. sanctori* (en printemps)] (Fig. 25 ; Tab. 9). Chez l'espèce *H. poli* prélevée durant le printemps, la teneur en matière organique du sédiment du Hindgut [(12.81% ± 6.28)], est supérieure à celle des deux premiers tronçons [(11.34% ± 5.96) et (12.81% ± 6.28) respectivement au niveau du Forgut et du Midgut] (Fig. 25 ; Tab. 9).

Le taux de la matière organique au niveau des fèces, présente une différence hautement significative entre les espèces d'holothuries (Test de Kruskal-Wallis, $P < 0.001$). Selon le test *a posteriori*, c'est l'espèce *H. forskali* qui est différente de manière significative, des deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* (Test de Dunn, $P < 0.05$). Dans l'ensemble, les teneurs en matière organique des fèces de *H. forskali*, sont plus élevées que celles des fèces de *H. poli* et *H. tubulosa* (Fig. 25 ; Tab. 9) ; d'ailleurs, les plus importants taux de matière organique au niveau des fèces, parmi toutes les espèces, sont à chaque fois obtenus chez *H. forskali* ; avec un pic au printemps (29.92% ± 5.11) (Fig. 25 ; Tab. 9). Aucune différence du taux de la matière organique des fèces, n'est à signalée en fonction des saisons (Test de Kruskal-Wallis, $P > 0.05$).

A travers une simple observation des résultats mentionnés dans la tableau 9, on déduit que dans 37.5% des cas, la teneur en matière organique des fèces de chacune des espèces d'holothuries, est inférieure à celle des sédiments de leurs biotopes respectives ; tandis que dans 62.5% des cas, la teneur en matière organique des fèces est plutôt supérieures à celle du sédiment de leurs biotopes.

Les résultats obtenus, montrent que tant au niveau du Forgut, ou au niveau des fèces des holothuries étudiées, le taux de la matière organique ne présente aucune différence entre les deux sites de Stidia et de Salamandre (Test de Kruskal-Wallis, $P > 0.05$; ceci pour chacun des deux paramètres Forgut et fèces).

I.2.2. Estimation du taux d'assimilation

I.2.2.1. Stidia

Les résultats du test de Kruskal-Wallis, montrent que le taux d'assimilation ne présente aucune différence entre les quatre espèces d'holothuries étudiées (Test de Kruskal-Wallis, $P > 0.05$). Les valeurs du taux d'assimilation varient entre (0.49% ± 8.50) chez l'espèce *H. poli* (au printemps) et (24.66% ± 6.68) chez l'espèce *H. sanctori* (au printemps) (Fig. 26; Tab. 10). Par ailleurs, le taux d'assimilation présente une différence hautement significative entre les saisons (Test de Kruskal-

Wallis, $P < 0.001$). C'est la saison printanière qui diffère de manière significative de chacune des autres saisons (Test de Dunn, $P < 0.05$). Mise à part pour l'espèce *H. poli*, qui présente un maximum d'assimilation en automne avec $(2.25\% \pm 5.40)$; c'est au printemps que le reste des espèces d'holothuries, présentent les valeurs maximales du taux d'assimilation [$(24.66\% \pm 6.68)$, $(13.14\% \pm 7.05)$ et $(10.13\% \pm 5.47)$, respectivement chez *H. sanctori*, *H. tubulosa* et *H. forskali*] (Fig. 26 ; Tab. 10).

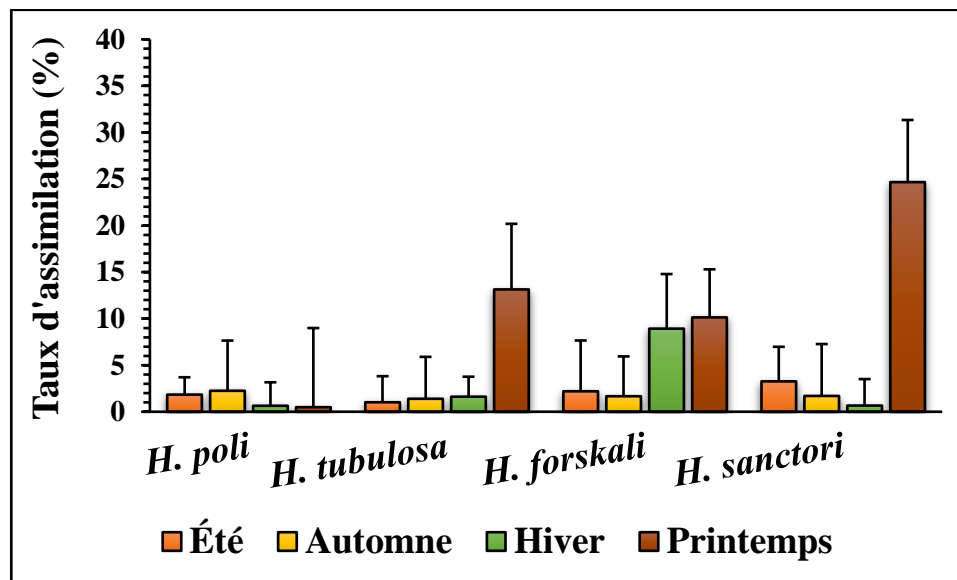


Figure 26 : Taux d'assimilation chez les quatre espèces d'holothuries étudiées du site de Stidia, durant les quatre saisons d'étude.

Tableau 10 : Valeurs (moyenne \pm écart-type) du taux d'assimilation (en %), obtenues chez les quatre espèces d'holothuries du site de Stidia, durant les quatre saisons d'étude.

Espèce	Saison			
	Été	Automne	Hiver	Printemps
<i>H. poli</i>	(1.84 ± 1.86)	(2.25 ± 5.40)	(0.64 ± 2.52)	(0.49 ± 8.50)
<i>H. tubulosa</i>	(1.02 ± 2.80)	(1.39 ± 4.50)	(1.62 ± 2.15)	(13.14 ± 7.05)
<i>H. forskali</i>	(2.20 ± 5.46)	(1.67 ± 4.28)	(8.92 ± 5.87)	(10.13 ± 5.47)
<i>H. sanctori</i>	(3.26 ± 3.72)	(1.70 ± 5.58)	(0.66 ± 2.85)	(24.66 ± 6.68)

I.2.2.2. Salamandre

Les résultats obtenus montrent qu'il existe une différence hautement significative hautement entre les espèces (Test de Kruskal-Wallis, $P < 0.01$). Le résultat du test *à postériori*, montre que l'espèce *H. forskali* diffère de manière significative de chacune des autres espèces, prise deux à deux (Test de Dunn, $P < 0.05$). Généralement, l'espèce *H. forskali* présente les plus importantes

valeurs du taux d'assimilation, avec notamment ($21.75\% \pm 14.82$) au printemps, ($14.10\% \pm 8.92$) en été et ($5.67\% \pm 5.39$) en hiver (Fig. 27 ; Tab. 11). Cependant, en automne c'est l'espèce *H. sanctori* qui présente la plus importante valeur du taux d'assimilation avec ($3.53\% \pm 7.39$). Le résultat du test de Kruskal-Wallis, ne montre aucune différence du taux d'assimilation, en fonction du facteur saison (Test de Kruskal-Wallis, $P > 0.05$).

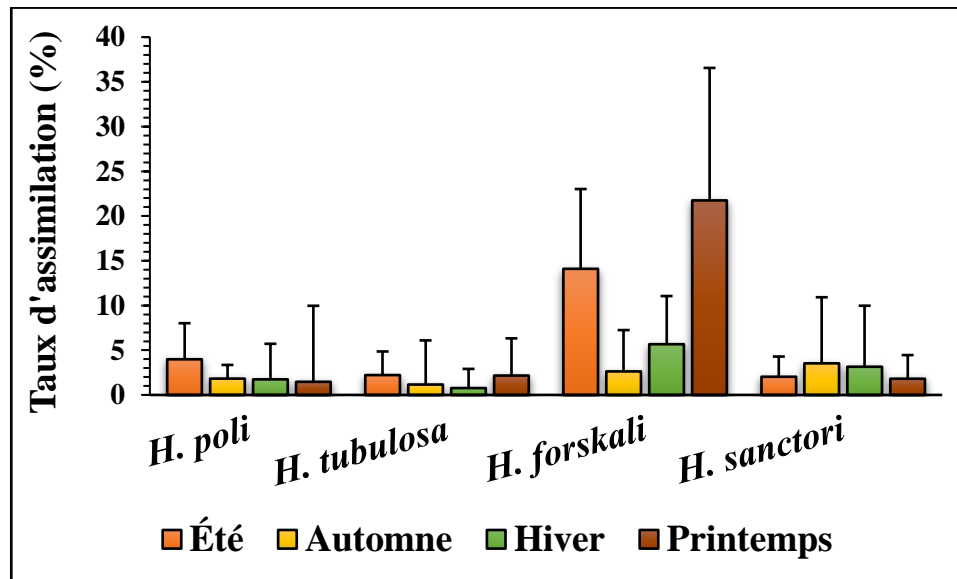


Figure 27 : Taux d'assimilation chez les quatre espèces d'holothuries étudiées du site de Salamandre, durant les quatre saisons d'étude.

Tableau 11 : Valeurs (moyenne \pm écart-type) du taux d'assimilation (en %), obtenues chez les quatre espèces d'holothuries du site de Salamandre, durant les quatre saisons d'étude.

Espèce	Saison			
	Été	Automne	Hiver	Printemps
<i>H. poli</i>	(3.98 \pm 4.04)	(1.82 \pm 1.53)	(1.74 \pm 3.98)	(1.47 \pm 8.50)
<i>H. tubulosa</i>	(2.22 \pm 2.64)	(1.16 \pm 4.94)	(0.77 \pm 2.15)	(2.17 \pm 4.16)
<i>H. forskali</i>	(14.10 \pm 8.92)	(2.63 \pm 4.62)	(5.67 \pm 5.39)	(21.75 \pm 14.82)
<i>H. sanctori</i>	(2.03 \pm 2.26)	(3.53 \pm 7.39)	(3.15 \pm 6.82)	(1.81 \pm 2.64)

Par ailleurs, le résultat du test de Kruskal-Wallis, ne montre aucune différence du taux d'assimilation, entre les deux sites de Stidia et de Salamandre (Test de Kruskal-Wallis, $P > 0.05$).

I.3. Régime alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de posidonies des sites étudiés

I.3.1. Analyse des contenus digestifs des holothuries²

Les différents types d'aliments retrouvés dans les contenus digestifs des quatre holothuries étudiées, sont regroupés en deux grandes fractions :

- Une fraction végétale, composée de diatomées, cyanophycées, algues macrophytes, ainsi que de feuilles de posidonies (vivantes et mortes).
- Une fraction animale, représentée par les foraminifères, crustacées, spicules d'éponge, nématodes et des coquilles de mollusques bivalves.

I.3.1.1. Stidia

L'analyse de variance multivariée par permutation, révèle une différence très hautement significative du régime alimentaire entre les quatre holothuries (PERMANOVA, $P < 0.001$). Le résultat du test à *posteriori*, montre que l'espèce *H. poli* est différente de *H. forskali* et de *H. sanctori* (pairwise PERMANOVA, $P < 0.05$; pour chacune des deux espèces, prise deux à deux avec *H. poli*). Le test à *posteriori*, ne montre aucune différence significative entre *H. tubulosa* et le reste des espèces d'holothuries étudiées (pairwise PERMANOVA, $P > 0.05$; pour chacune des trois espèces, prise deux à deux avec *H. tubulosa*) ; ni aucune différence significative entre les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* (pairwise PERMANOVA, $P > 0.05$).

La PERMANOVA révèle également que le régime alimentaire des holothuries, montre une différence très hautement significative entre les saisons d'étude (PERMANOVA, $P < 0.001$). Selon le test à *posteriori*, la différence réside entre chacune des saisons, prise deux à deux avec l'autre (pairwise PERMANOVA, $P < 0.05$). La composition du régime alimentaire des différentes espèces d'holothuries étudiée, en fonction des saisons est comme suit :

❖ Été

Durant cette saison, les diatomées et les cyanophycées, constituent les catégories d'aliments les plus consommés par les quatre espèces d'holothuries (Fig. 30). La plus importante proportion de diatomée (30.66%) est obtenue chez *H. poli* ; alors que c'est *H. sanctori* qui consomme le plus de cyanophycée (20%) (Fig. 30). Durant les mois les plus chaud de l'année, les algues macrophytes (essentiellement des coralinacées) sont consommées par *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. tubulosa* avec des proportions relativement importantes (respectivement 24%, 16% et 15.33%). Les feuilles

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

(morte et vivantes) de posidonies sont consommées par l'ensemble des holothuries, mais avec de très faibles proportions (feuilles mortes : 4.66%, 4%, 3.33% et 2.66% respectivement chez *H. poli*, *H. forskali*, *H. tubulosa* et *H. sanctori* ; feuilles vivantes : 5.33% chez *H. forskali* et 0.67% chez *H. poli* et *H. tubulosa*) (Fig. 30). Mis à part chez *H. tubulosa*, la fraction animale est majoritairement représentée par les foraminifères chez toutes les espèces d'holothuries ; la plus importante proportion est obtenue chez *H. poli* (16.66%) (Fig. 30). Les crustacées ne sont que faiblement consommées ; les proportions les plus élevées sont obtenues chez *H. forskali* (7.33%) et *H. sanctori* (6.66%) (Fig. 30). Les plus fortes proportions de spicules d'éponges sont enregistrées chez *H. poli*, *H. sanctori* et *H. tubulosa* (avec 18.66%, 13.32% et 12% respectivement (Fig. 30). Les nématodes et les coquilles de mollusques bivalves sont présents dans le tube digestif des quatre espèces d'holothuries mais avec de faibles proportions.

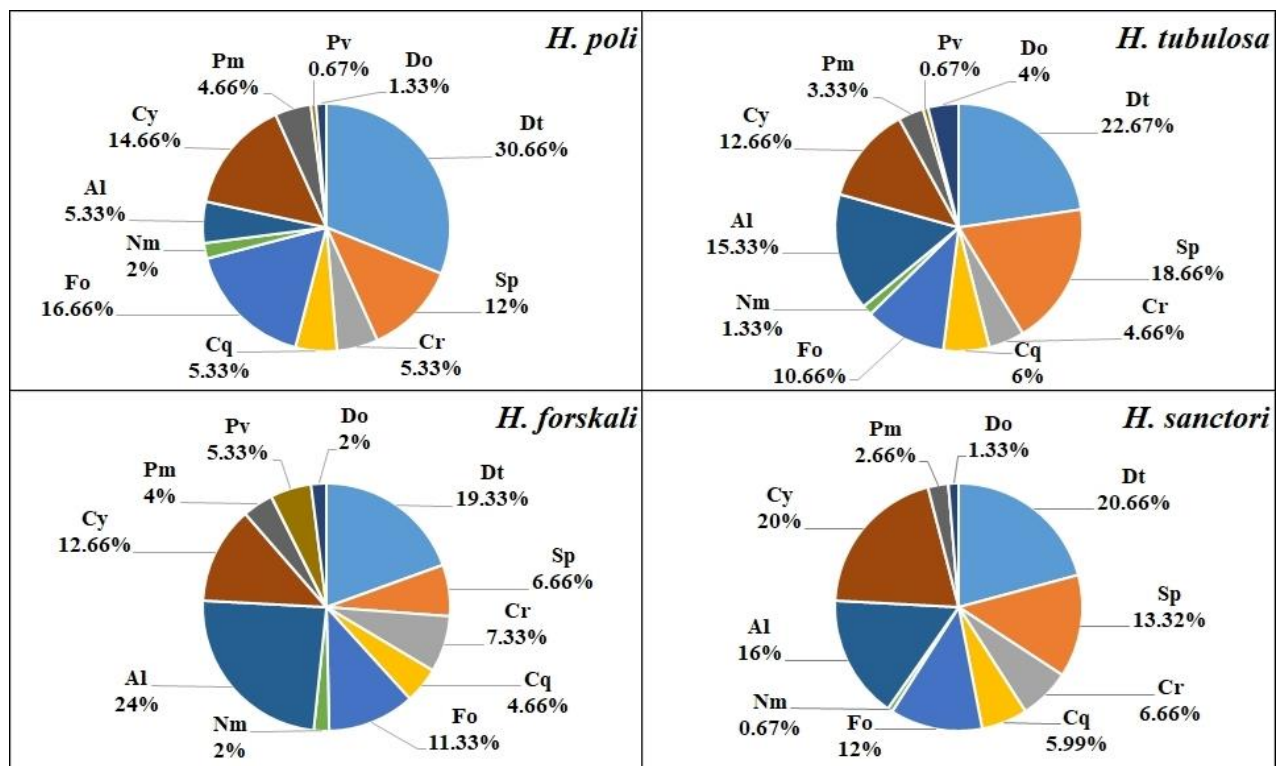


Figure 30 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques, dans le régime alimentaire des holothuries du site de Stidia, en période estivale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

❖ *Automne*

Durant la période automnale, les diatomées sont largement représentées dans le régime alimentaire de l'ensemble des holothuries étudiées (28%, 27.33%, 26.66%, 21.33% respectivement chez *H. forskali*, *H. tubulosa*, *H. poli* et *H. sanctori*) (Fig. 31). Les cyanophycées ne sont bien représentées que dans le contenu digestif de *H. sanctori* (12%), contrairement chez les autres espèces d'holothuries ou cet aliment n'est que faiblement consommé (Fig. 31). Les quatre espèces d'holothuries consomment relativement de fortes proportions d'algues, avec une importante proportion obtenue chez *H. sanctori* (24%) (Fig. 31). Les feuilles vivantes de posidonie présentent des proportions de 7.33%, 2% et 0.66% respectivement chez *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. tubulosa* ; d'autre part, les feuilles mortes de posidonie ne sont représentées que par de faibles proportions chez *H. sanctori*, *H. tubulosa* et *H. forskali* (respectivement avec 4.66%, 4% et 2.67% Fig. 31). Les foraminifères ne sont largement consommés que par *H. poli* (20%) et *H. tubulosa* (18.66%) (Fig. 31). *Holothuria forskali* et *H. sanctori* consomment relativement d'importantes quantités de crustacées (respectivement avec 15.33% et 10.66%), alors que les spicules d'éponge ne présentent que de faibles proportions chez l'ensemble des espèces d'holothuries mis à part *H. sanctori* (14%) (Fig. 31). Les nématodes et les coquilles de mollusques bivalves, ne sont consommés qu'avec de faibles proportions par les quatre holothuries (Fig. 31).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

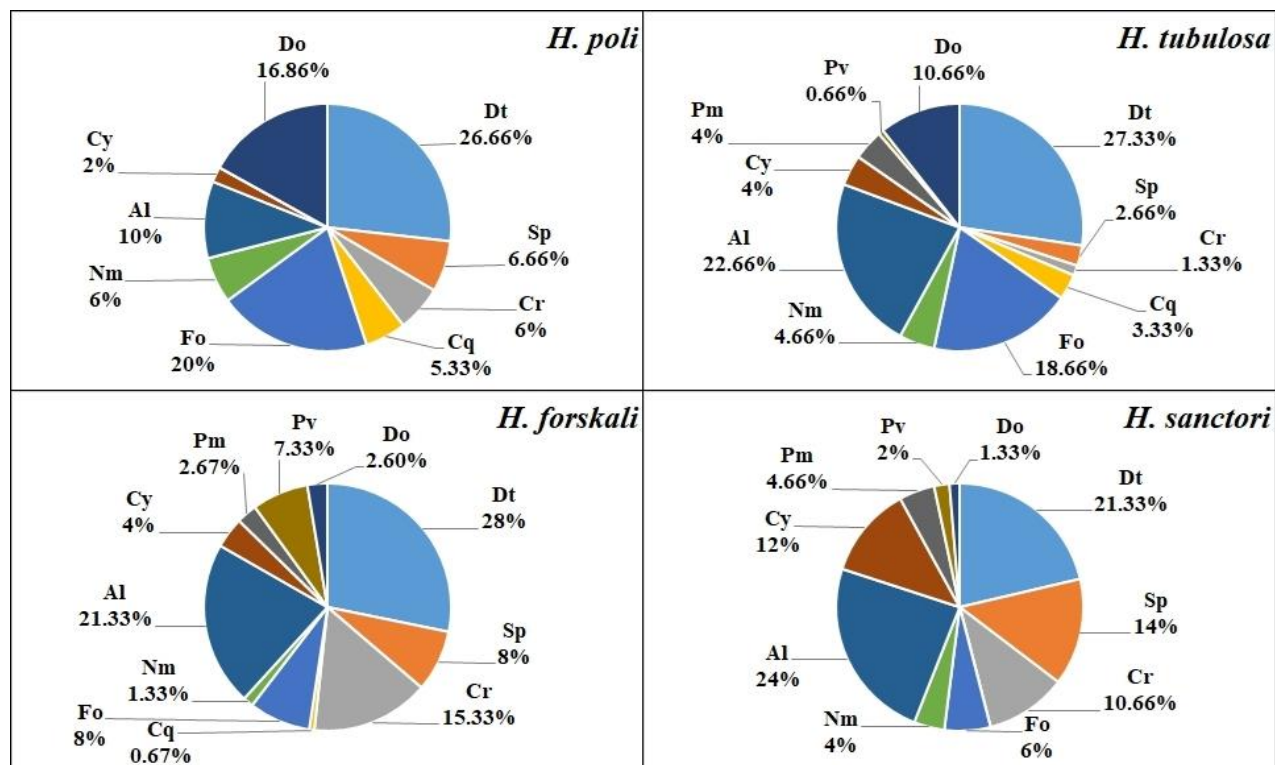


Figure 31 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Stidia en période automnale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).

❖ Hiver

Les diatomées et les cyanophycées constituent les sources alimentaires dominantes dans le régime alimentaire des quatre holothurides en saison hivernale (Fig. 32). La plus forte proportion de diatomée (31.13%) est obtenue chez *H. poli*, celle des cyanophycées (16.66%) est obtenue chez *H. sanctori* (Fig. 32). Les algues ne sont que très faiblement consommées par l'ensemble des holothuries (Fig. 32). Toutes les espèces d'holothuries étudiées consomment les feuilles vivantes de posidonies en saison hivernale ; la plus forte proportion est obtenue chez *H. tubulosa* (4%) (Fig. 32). Les feuilles mortes de posidonies sont présentes dans le tube digestif de l'ensemble des holothuries, avec la plus importante proportion obtenue chez *H. forskali* (14%), suivi par *H. tubulosa* (7.33%), *H. sanctori* (7.33%) et *H. poli* (2.66%) (Fig. 32).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

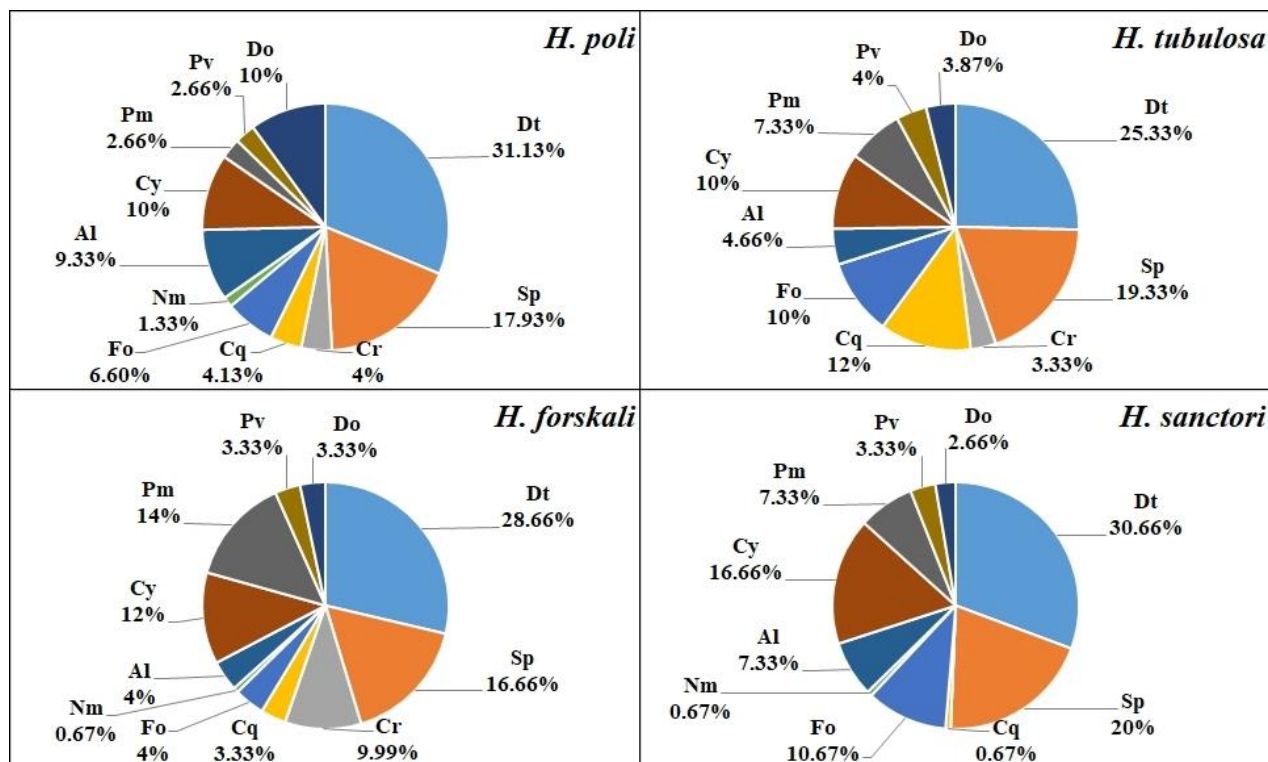


Figure 32 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Stidia en période hivernale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).

Les foraminifères ne sont bien représentés que dans le régime alimentaire de *H. sanctori* (10.67%) et *H. tubulosa* (10%) ; contrairement aux crustacées qui ne sont que très peu consommés par l'ensemble des holothuries (Fig. 32). Les spicules d'éponges sont très fortement consommés par toutes les holothuries en cette saison la plus froide de l'année ; la plus forte proportion est obtenue chez *H. sanctori* (20%) (Fig. 32). Les nématodes et les coquilles de mollusques bivalves ne sont que très peu représentés dans le contenu digestif des holothuries étudiées (Fig. 32).

❖ Printemps

En saison printanière, les diatomées sont toujours bien représentées dans le contenu digestif des holothuries (Fig. 33). Les algues constituent également une source alimentaire qui est fortement consommée par l'ensemble des holothuries (31.33%, 30.66%, 25.33% et 14.66% respectivement chez *H. forskali*, *H. tubulosa*, *H. sanctori* et *H. poli*) (Fig. 33). Contrairement aux diatomées et aux algues, les cyanophycées constituent une source alimentaire qui n'est que faiblement

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

consommées ; la plus forte proportion est obtenue chez *H. poli* (6%) (Fig. 33). En cette période printanière, toutes les espèces d'holothuries consomment les feuilles (vivantes et mortes) de posidonies. La plus forte proportion de feuilles vivantes de posidonie est obtenue dans le contenu digestif de *H. forskali* et *H. sanctori* (4.67% chez les deux espèces) (Fig. 33). Ce sont les feuilles mortes qui sont les plus consommées ; notamment par *H. tubulosa* et *H. forskali* (13.33% et 10% respectivement), suivie par *H. sanctori* (6.66%) et *H. poli* (1.33%) (Fig. 33). Les fortes proportions de foraminifères ne sont obtenues que dans les contenus digestif de *H. tubulosa* et *H. poli* avec respectivement 16.66% et 14% ; contrairement aux crustacées qui constituent une source alimentaire qui est fortement consommée par l'ensemble des holothuries (20.66%, 18.66%, 13.33% et 12.66% respectivement chez *H. forskali*, *H. sanctori*, *H. poli* et *H. tubulosa*) (Fig. 33). Les spicules d'éponges et les nématodes constituent des sources alimentaires qui ne sont que faiblement consommées au printemps ; tandis que les coquilles de mollusques bivalves ne sont consommées par aucune espèce d'holothuries en cette saison de l'année (Fig. 33).

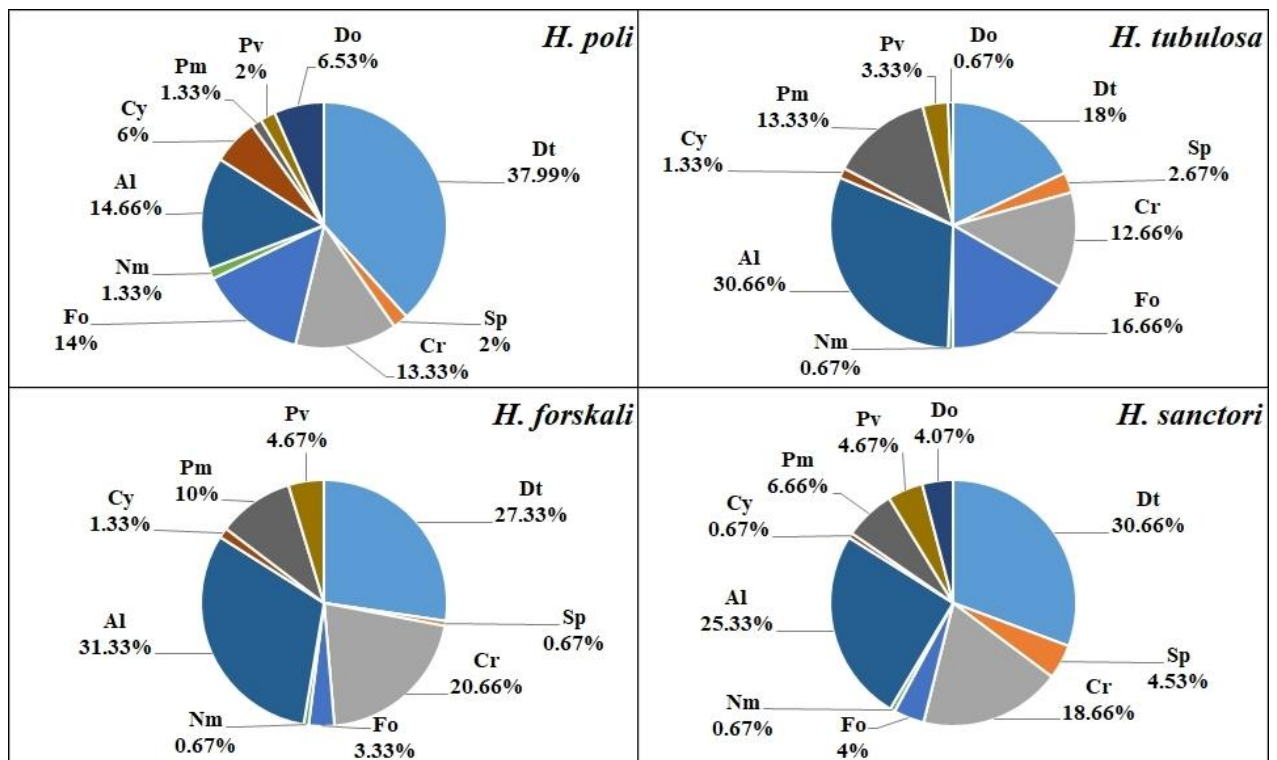


Figure 33 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Stidia en période printanière. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

La valeur du stress du positionnement multidimensionnel non métrique, est égale à 0.23. A partir de la représentation graphique du NMDS (Fig. 34), on peut dire qu'il y a un important chevauchement du régime alimentaire, entre toutes les espèces d'holothuries. Toutefois, il apparaît très bien que la forme de l'ellipse de l'espèce *H. poli*, est différente de celles des autres espèces (Fig. 34). Le NMDS révèle une grande ressemblance entre les ellipses des trois espèces *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. tubulosa* (Fig. 34).

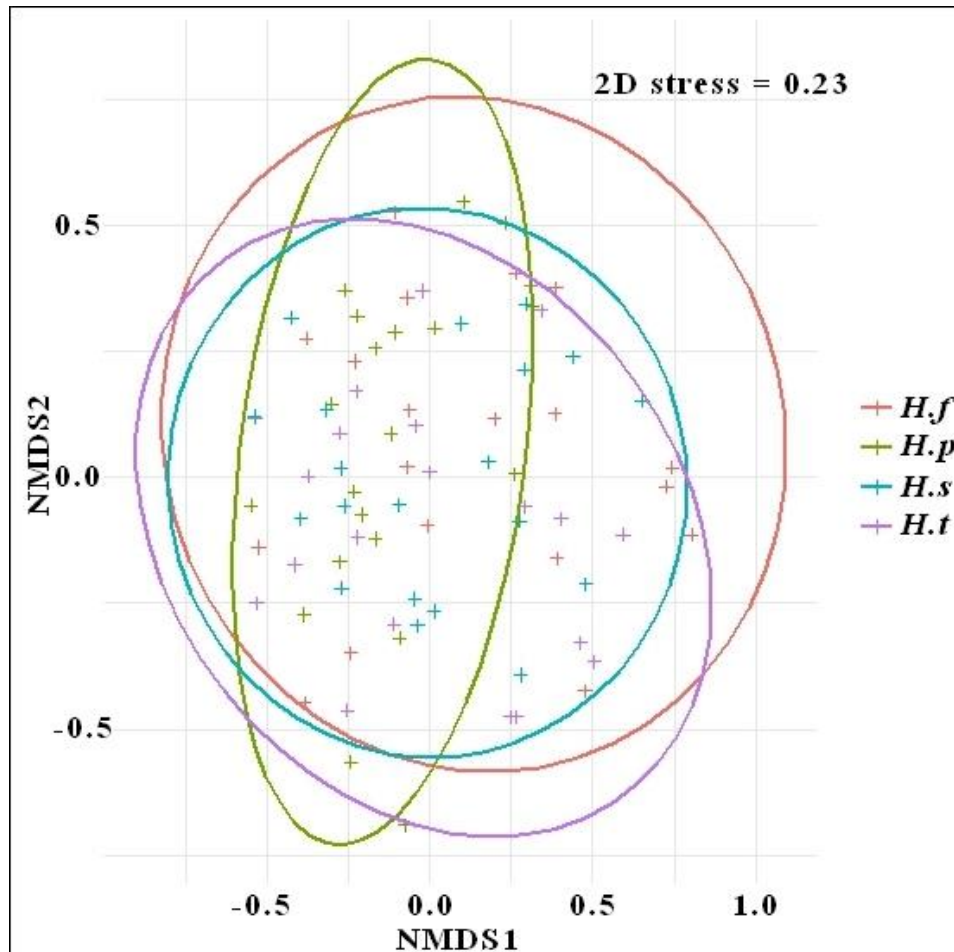


Figure 34 : Analyse du positionnement multidimensionnel non métrique (NMDS), basée sur les distances de Bray-Curtis mettant en évidence la relation entre les différentes espèces d'holothuries étudiées du site de Stidia, selon leurs régimes alimentaires. *H.t* : *Holothuria tubulosa* ; *H.p* : *Holothuria poli* ; *H.f* : *Holothuria forskali* et *H.s* : *Holothuria sanctori*.

I.3.1.2. Salamandre

La PERMANOVA indique une différence très hautement significative du régime alimentaire, entre les espèces d'holothuries étudiées (PERMANOVA, $P < 0.001$). Le résultat du test à

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

posteriori, montre que l'espèce *H. sanctori* est différente de *H. poli* et de *H. tubulosa* (pairwise PERMANOVA, $P < 0.05$; pour chacune des deux espèces, prise deux à deux avec *H. sanctori*). Le test à *posteriori*, ne montre aucune différence significative entre *H. forskali* et le reste des espèces d'holothuries étudiées (pairwise PERMANOVA, $P > 0.05$; pour chacune des trois espèces, prise deux à deux avec *H. forskali*) ; ni aucune différence significative entre les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* (pairwise PERMANOVA, $P > 0.05$).

Le test de la PERMANOVA révèle également que le régime alimentaire des holothuries, montre une différence très hautement significative entre les quatre saisons d'étude (PERMANOVA, $P < 0.001$). Le régime alimentaire des holothuries, montre une différence significative entre chacune des saisons prise deux à deux (pairwise PERMANOVA, $P < 0.05$) ; à l'exception de la saison estivale qui ne montre aucune différence significative avec celle hivernal (pairwise PERMANOVA, $P > 0.05$). La composition du régime alimentaire des holothuries étudiée, en fonction des saisons est comme suit :

❖ *Eté*

Durant cette période de l'année, les diatomées constituent un aliment qui est très consommé, par l'ensemble des holothuries ; ce sont notamment *H. poli* et *H. tubulosa* qui les consomment le plus (avec respectivement 36.66% et 30.80%). Les cyanophycées sont également bien représentées dans le tube digestif de toutes les holothuries étudiées, avec la plus forte proportion obtenue chez *H. sanctori* (14%) (Fig. 35). D'autre part, les algues sont consommées de manière importante par *H. sanctori*, *H. tubulosa* et *H. forskali* (15.33%, 14.66% et 12% respectivement (Fig. 35). Les feuilles mortes de posidonies présentent des proportions de 6%, 4.67%, 4.66% et 2.67% respectivement chez *H. sanctori*, *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. poli* ; par contre les feuilles vivantes de posidonies présentent des proportions de 3.33%, 2.67%, 2% et 0.67% respectivement chez *H. forskali*, *H. poli*, *H. sanctori* et *H. tubulosa* (Fig. 35). Les foraminifères sont très consommés par *H. poli* (12.66%) et *H. tubulosa* (10.66%) ; contrairement aux deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori*, chez lesquelles cet aliment n'est que faiblement consommé (avec 8.66% et 7.33% respectivement) (Fig. 35). Les spicules d'éponges sont également très consommés par l'ensemble des holothuries (22%, 20.66%, 19.33% et 13.26% chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. poli* et *H. tubulosa* respectivement) ; elles constituent même l'aliment le plus consommé par *H. sanctori* et *H. forskali* (Fig. 35). Les coquilles de mollusque bivalves, les crustacées et les nématodes contribuent faiblement dans le régime alimentaire de la majorité des espèces

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

d'holothuries étudiées (le maximum ne dépassant pas 8% de coquilles de mollusques bivalves, 10% de crustacées chez *H. forskali* et 3.33% de nématodes chez *H. sanctori*) (Fig. 35).

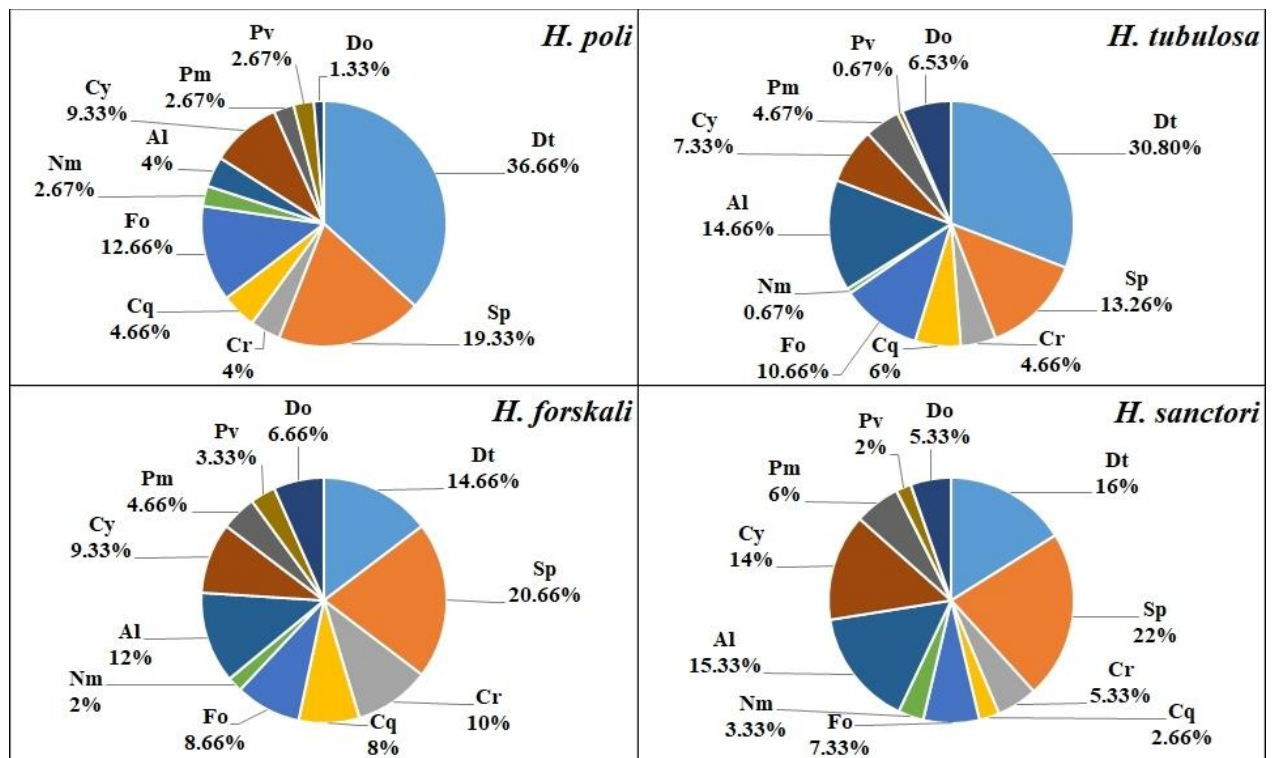


Figure 35 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Salamandre en période estivale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).

❖ Automne

Nos résultats montrent que les diatomées constituent l'aliment le plus consommé par l'ensemble des holothuries (Fig. 36). La plus forte proportion de cet aliment est obtenue chez *H. poli* (34.56%), suivie par *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. sanctori* (avec 30%, 24% et 23.33% respectivement) (Fig. 36). Durant cette saison, les cyanophycées ne sont que faiblement représentées dans le tube digestif des holothuries ; la plus importante proportion est obtenue chez l'espèce *H. poli* (8.66%) (Fig. 36). Par ailleurs, les algues sont largement consommées par les espèces *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. tubulosa* (avec 26.66%, 26% et 16.66% respectivement) ; contrairement à *H. poli*, chez laquelle cette ressource n'est faiblement consommée (7.66%) (Fig. 36). Les feuilles (vivantes et mortes) de posidonies sont présentes dans le tube digestif de toutes

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

les espèces d'holothuries étudiées ; la plus forte proportion de feuilles mortes de posidonies est obtenue chez *H. sanctori* (1.33%), tandis que celle des feuilles vivantes est obtenue chez *H. tubulosa* (4%) (Fig. 36).

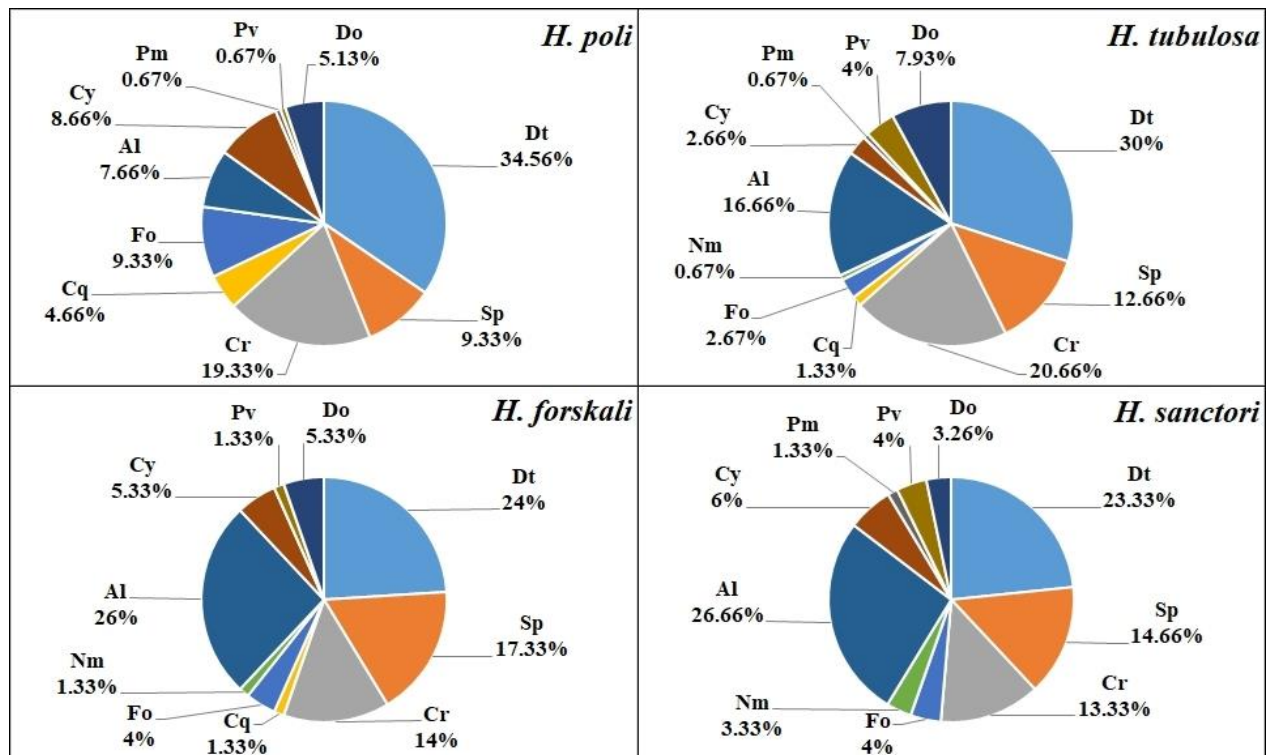


Figure 36 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Salamandre en période automnale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).

Les résultats obtenus, montrent que la proportion des foraminifères consommés par l'ensemble des holothuries est très faible (9.33%, 2.67%, 4% et 4% chez *H. poli*, *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. sanctori*) (Fig. 36). Contrairement au foraminifère, les crustacées (avec 20.66%, 19.33%, 14% et 13.33% chez *H. tubulosa*, *H. poli*, *H. forskali* et *H. sanctori*) et les spicules d'éponges (avec 17.33%, 14.66%, 12.66% et 9.33% chez *H. forskali*, *H. sanctori*, *H. tubulosa* et *H. poli*) sont largement consommés, par l'ensemble des holothuries (Fig. 36). La part des nématodes dans le régime alimentaire des holothuries, est infime (3.33%, 1.33% et 0.67% chez *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. tubulosa* respectivement) ; cet aliment n'est pas consommé par *H. poli* (Fig. 36). Nos résultats montrent que les coquilles de mollusques bivalves, sont également très peu consommées

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

par l'ensemble des holothuries ; la plus importante proportion est obtenue chez *H. poli* (4.66%), alors que cet aliment n'est pas consommé par *H. sanctori* (Fig. 36).

❖ Hiver

Durant cette saison, ce sont les diatomées, les cyanophycées et les algues qui représentent le mieux la fraction végétale, dans le contenu digestif de l'ensemble des holothuries étudiées (Fig. 37). La plus forte proportion de diatomées est obtenue chez *H. forskali* (29.33%), suivie par *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. sanctori* (avec 24.66%, 24% et 20.66% respectivement) (Fig. 37). D'autre part, c'est *H. sanctori* avec 14% qui présente la proportion la plus élevée de cyanophycées, suivie par *H. poli*, *H. forskali* et *H. tubulosa* (avec 11.33%, 11.33% et 10% respectivement), tandis que c'est *H. sanctori* qui présente la plus grande proportion d'algues (26.66%), suivie par *H. forskali*, *H. tubulosa* et *H. poli* (avec 26%, 16.66% et 7.66%) (Fig. 37). Nos résultats montrent que la contribution des feuilles (vivantes et mortes) de posidonies, dans le régime alimentaire des holothuries étudiées est faible. La plus importante proportion de feuilles vivantes de posidonies, est obtenue chez *H. poli* (8.66%) ; tandis que celle des feuilles mortes de posidonies, est obtenue chez *H. poli* et *H. tubulosa* (avec 4.66% pour les deux espèces) (Fig. 37). Par ailleurs, les plus fortes proportions de foraminifères ont été obtenues chez *H. poli* et *H. tubulosa* (13.33% et 11.33% respectivement) ; alors que les proportions les plus élevées de crustacées, sont obtenues chez *H. forskali* et *H. sanctori* (avec 7.46% et 7.33% respectivement) (Fig. 37). Les spicules d'éponge constituent un aliment qui est relativement très consommé par la majorité des holothuries (26.66%, 19% et 15.33%, respectivement chez *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. tubulosa*) (Fig. 37). *Holothuria sanctori* est l'unique espèce, chez laquelle les nématodes sont présents dans le tube digestif ; à l'inverse des coquilles de mollusques bivalves qui sont consommées par toutes les espèces d'holothurie (13.99%, 7.33%, 5.33% et 2.66%, respectivement chez *H. tubulosa*, *H. poli*, *H. sanctori* et *H. forskali* respectivement) (Fig. 37).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

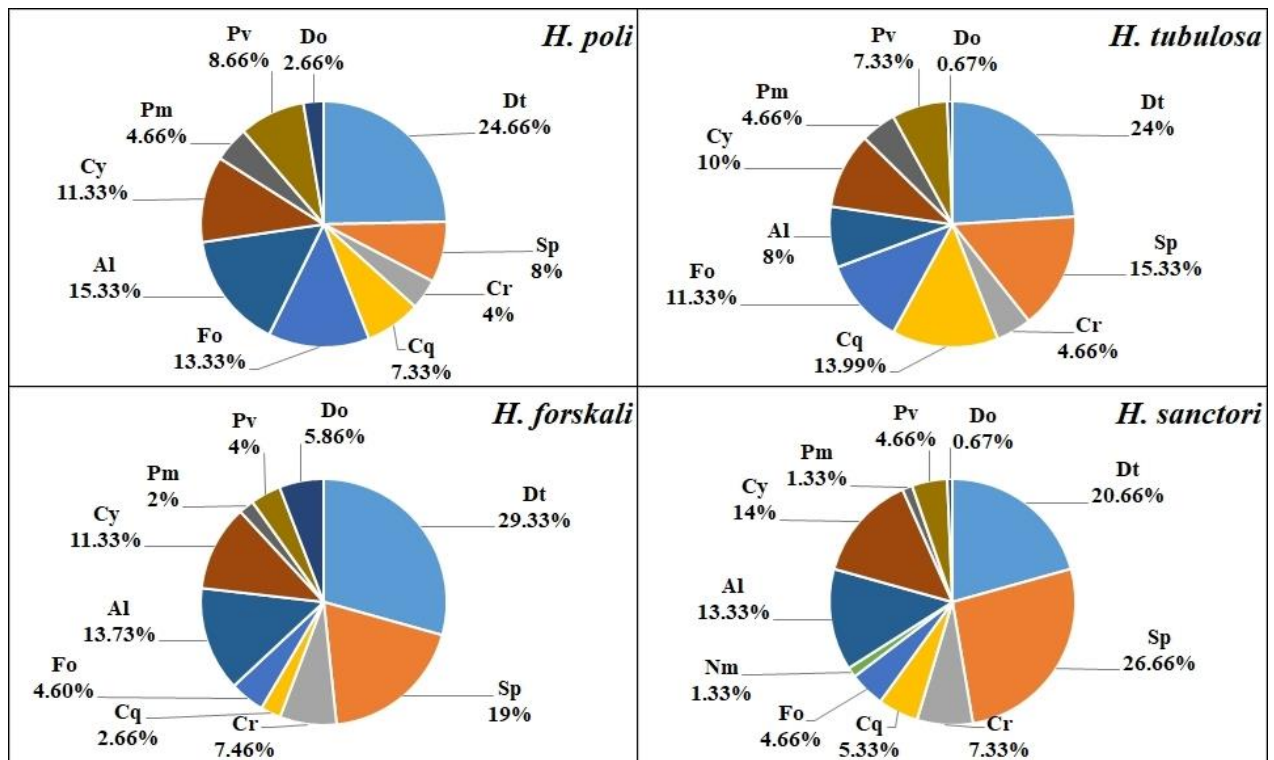


Figure 37 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Salamandre en période hivernale. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).

❖ Printemps

La proportion de diatomées consommée au printemps, n'est importante que chez *H. forskali* et *H. sanctori* (28.66%, 21.33% respectivement) ; cet aliment est relativement peu consommé par *H. poli* et *H. tubulosa* par rapport aux saisons précédentes (Fig. 38). D'autre part, les cyanophycées ne sont bien représentées qu'au niveau du tube digestif de *H. sanctori* (16%) ; le reste des holothuries n'en consomment que de faibles quantités (7.33%, 7.33 et 6.66% chez *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. forskali*) (Fig. 38). Toutefois, de très importantes proportions d'algues sont obtenues dans le contenu digestif de l'ensemble des holothuries (31.33%, 24%, 20.66% et 12.66% chez *H. sanctori*, *H. poli*, *H. forskali* et *H. tubulosa* respectivement) (Fig. 38). Les feuilles de posidonies ne sont que faiblement consommées par l'ensemble des holothuries, la plus importante valeur de feuilles mortes est obtenue chez *H. forskali* (2.67%), tandis que celle de feuilles vivantes de posidonies est obtenue chez *H. tubulosa* (2%) (Fig. 38). Les résultats obtenus montrent que les

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

foraminifères sont largement consommées, uniquement par *H. tubulosa* et *H. poli* (29.33% et 17.33% respectivement) ; alors que les crustacées sont relativement très consommées par la majorité des holothuries (avec 21.33%, 16.33%, 10% et 9% chez *H. forskali*, *H. sanctori*, *H. tubulosa* et *H. poli* respectivement). Néanmoins, les spicules d'éponges (avec un maximum de 8% chez *H. sanctori*), nématodes (avec un maximum de 3.33% chez *H. poli*) et les coquilles de mollusques bivalves (présentes uniquement chez *H. tubulosa* et *H. poli* avec 8.66% et 4% respectivement), ne contribuent que très faiblement dans le régime alimentaire des holothuries étudiées (Fig. 38). Le résultat du test de la PERMANOVA, révèle une différence hautement significative du régime alimentaire des holothuries, entre les deux sites de Stidia et de Salamandre (PERMANOVA, $P < 0.01$).

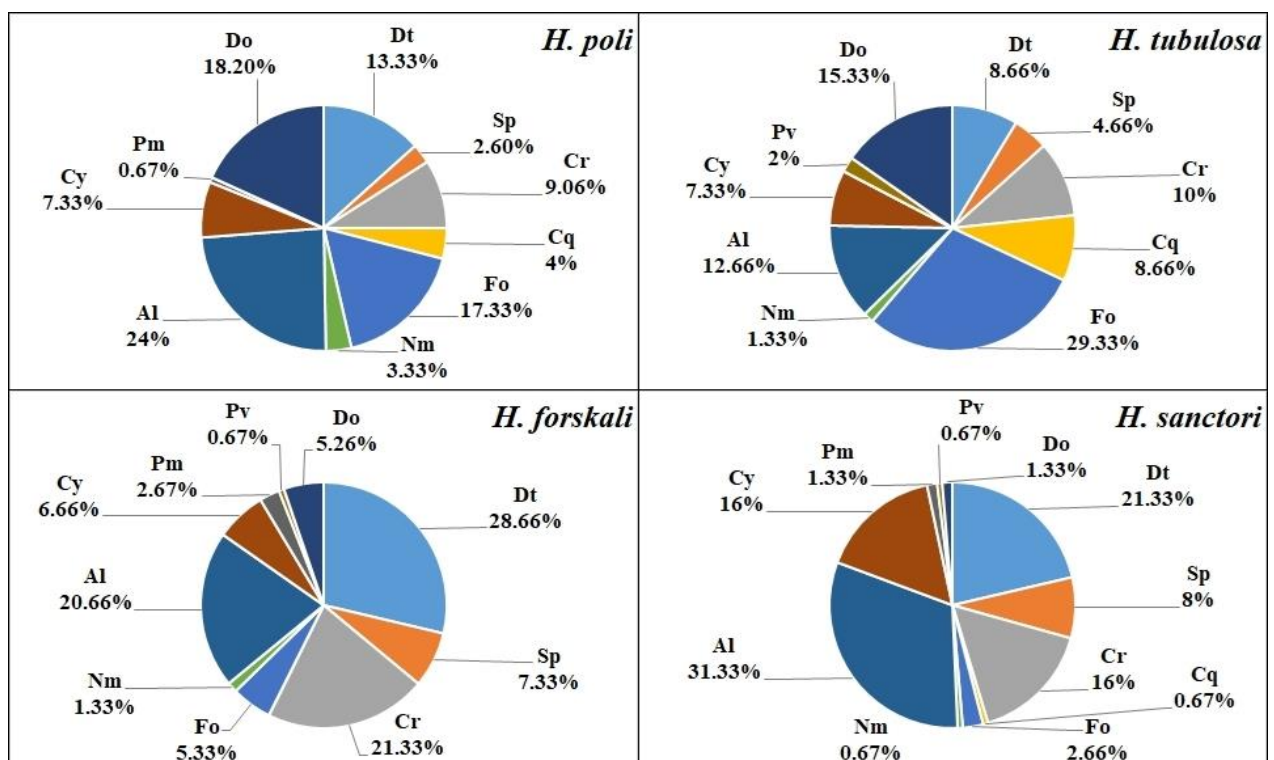


Figure 38 : contributions (en %) des différentes ressources trophiques dans le régime alimentaire des holothuries du site de Salamandre en période printanière. Diatomées (Dt), Cyanophycées (Cy), Algues macrophytes (Al), feuilles vivantes de posidonies (Pv), feuilles mortes de posidonies (Pm), Foraminifères (Fo), Crustacées (Cr), Spicules d'éponges (Sp), Nématodes (Nm), Coquilles de mollusques bivalves (Cq).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

La valeur du stress du positionnement multidimensionnel non métrique, est égale à 0.22. La représentation graphique du NMDS (Fig. 39), montre un important chevauchement du régime alimentaire, entre toutes les espèces d'holothuries. Néanmoins, on peut distinguer deux groupes d'espèces selon la ressemblance des ellipses. Un premier groupe formé par *H. poli* et *H. tubulosa*, avec des ellipses étroites ; ainsi qu'un second groupe formé par les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori*, avec des ellipses très larges (Fig. 39).

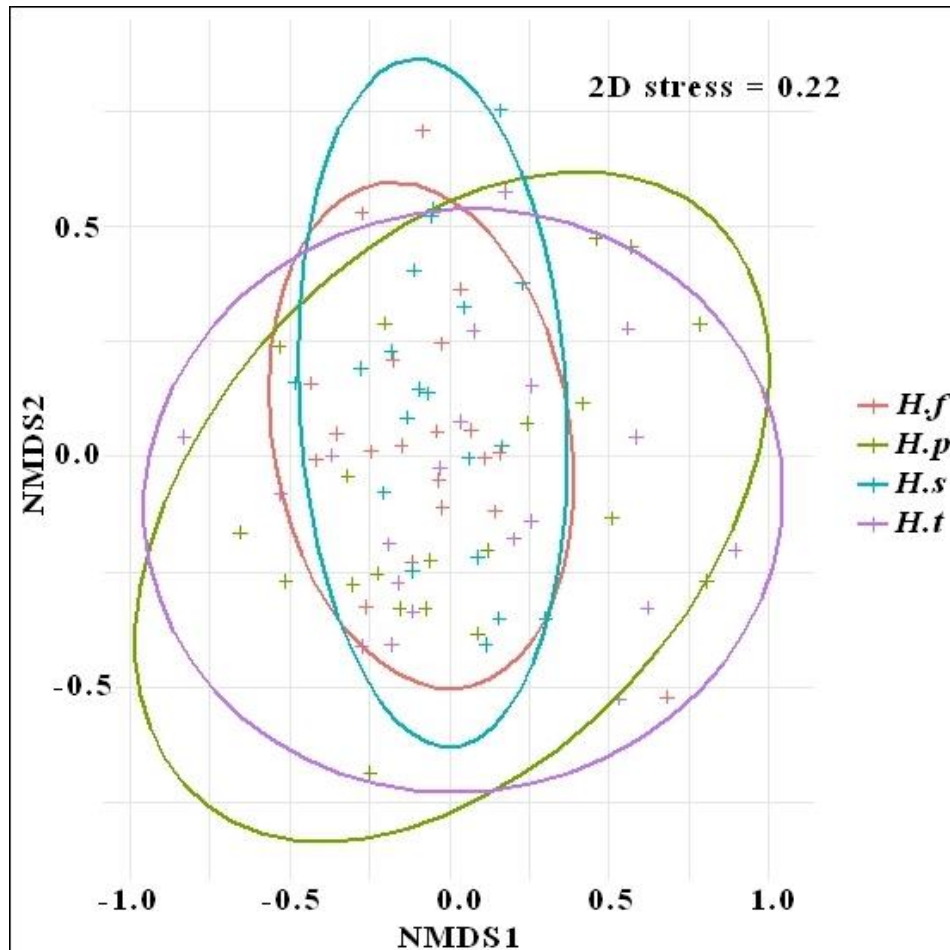


Figure 39 : Analyse du positionnement multidimensionnel non métrique (NMDS), basée sur les distances de Bray-Curtis mettant en évidence la relation entre les différentes espèces d'holothuries étudiées du site de Salamandre, selon leurs régimes alimentaires. *H.t* : *Holothuria tubulosa* ; *H.p* : *Holothuria poli* ; *H.f* : *Holothuria forskali* et *H.s* : *Holothuria sanctori*.

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

I.3.1.1. Etude de la sélectivité dans le choix de l'aliment

I.3.1.1.1. Stidia

❖ Eté

Les quatre espèces d'holothuries étudiées, montrent des valeurs négatives de l'indice d'électivité pour les diatomées (-0.25, -0.18, -0.16 et -0.12 chez *H. sanctori*, *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. poli* respectivement) (Fig. 40) ; indiquant ainsi un rejet de cette ressource alimentaire durant cette saison. D'autre part, les cyanophycées sont rejetées par *H. tubulosa* ($E' = -0.11$), contrairement pour le reste des holothuries, ou cet aliment est apprécié ; la plus importante valeur de l'indice d'Ivlev est obtenue chez *H. poli* (0.26) (Fig. 40). Cependant, les algues sont consommées de manière préférentielle, par l'ensemble des espèces d'holothuries (0.46, 0.41, 0.33 et 0.26 chez *H. tubulosa*, *H. sanctori*, *H. poli* et *H. forskali* respectivement) (Fig. 40). Nos résultats indiquent que les feuilles mortes de posidonie, constituent relativement un des aliments les plus appréciés par les holothuries étudiées ($E' : 0.60, 0.47, 0.40$ et 0.40 chez *H. poli*, *H. forskali*, *H. forskali* et *H. tubulosa*) ; c'est même le plus apprécié par *H. poli* (Fig. 40). Toutefois, les feuilles vivante de posidonies ne sont appréciées que par les deux espèces *H. forskali* et *H. tubulosa* ($E' : 0.67$ et 0.20 respectivement) (Fig. 40).

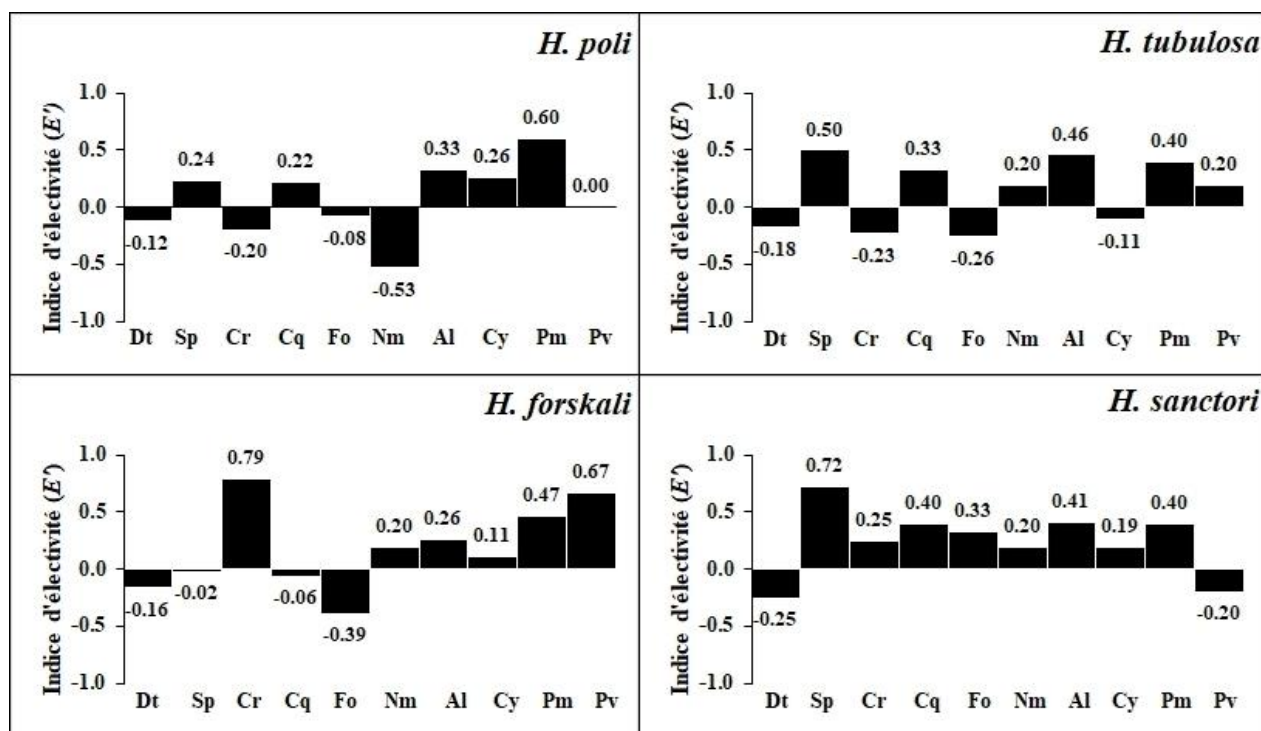


Figure 40 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Stidia, en période estivale.

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

Par ailleurs, les foraminifères sont rejetés par la majorité des holothuries ; du moment qu'elles présentent des valeurs négative d'indice d'Ivlev (-0.39, -0.26 et -0.08 chez *H. forskali*, *H. tubulosa* et *H. poli* respectivement) (Fig. 40). Néanmoins, *H. sanctori* est la seule espèce qui consomme de manière préférentiel les foraminifères ($E' = 0.33$) (Fig. 40). L'espèce *H. forskali* présente un important indice d'électivité pour les crustacée (0.79) (Fig. 40) ; cette aliment est également apprécié chez *H. sanctori* ($E' = 0.25$), contrairement aux deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* (avec -0.20 et -0.23 respectivement), chez lesquelles les crustacées sont rejetés (Fig. 40). A l'exception de *H. forskali* qui rejette les spicules d'éponges ($E' = -0.02$) ; l'ensemble des holothuries consomment de manière préférentielle ce type d'aliment (Fig. 40). Les spicules d'éponge constituent même l'aliment le plus sélectionné par *H. sanctori* et *H. tubulosa* (avec 0.72 et 0.50 respectivement (Fig. 40). En se référant à l'indice d'électivité, la majorité des espèces d'holothuries sélectionnent les nématodes ($E' = 0.20$ chez *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. sanctori*) et les coquilles de mollusques bivalves ($E' : 0.40, 0.33$ et 0.22 chez *H. sanctori*, *H. tubulosa* et *H. poli* respectivement), dans leurs alimentations (Fig. 40).

❖ Automne

Durant cette saison, les diatomées ne sont sélectionnées par aucune des espèces d'holothuries ($E' : -0.25, -0.21, -0.21$ et -0.19 chez *H. poli*, *H. tubulosa*, *H. sanctori* et *H. forskali* respectivement) (Fig. 41). D'autre part, les cyanophycées ne sont sélectionnées que par *H. sanctori* et *H. tubulosa*, du moment qu'elles présentent un indice d'Ivlev positif (0.44 et 0.20 respectivement) ; contrairement à *H. poli* et *H. forskali*, qui ne présentent aucune préférence pour cet aliment ($E' = -0.07$ pour les deux espèces) (Fig. 41). On constate également que les algues constituent une ressources alimentaire, qui est très appréciée par la plupart des holothuries ; d'ailleurs, c'est vraisemblablement l'aliment préféré chez *H. forskali*, *H. sanctori* ($E' = 0.89$ chez les deux espèces (Fig. 41). Par ailleurs, les feuilles mortes de posidonies présente l'indice d'électivité le plus important (0.80) chez l'espèce *H. tubulosa* ; cet aliment est également sélectionné par *H. sanctori* et *H. forskali* ($E' : 0.33$ et 0.12 respectivement) (Fig. 41). La sélectivité de la majorité des holothuries pour les feuilles vivantes de posidonies, est relativement importante ; notamment chez les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* ($E' : 0.80$ et 0.60 respectivement) (Fig. 41).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

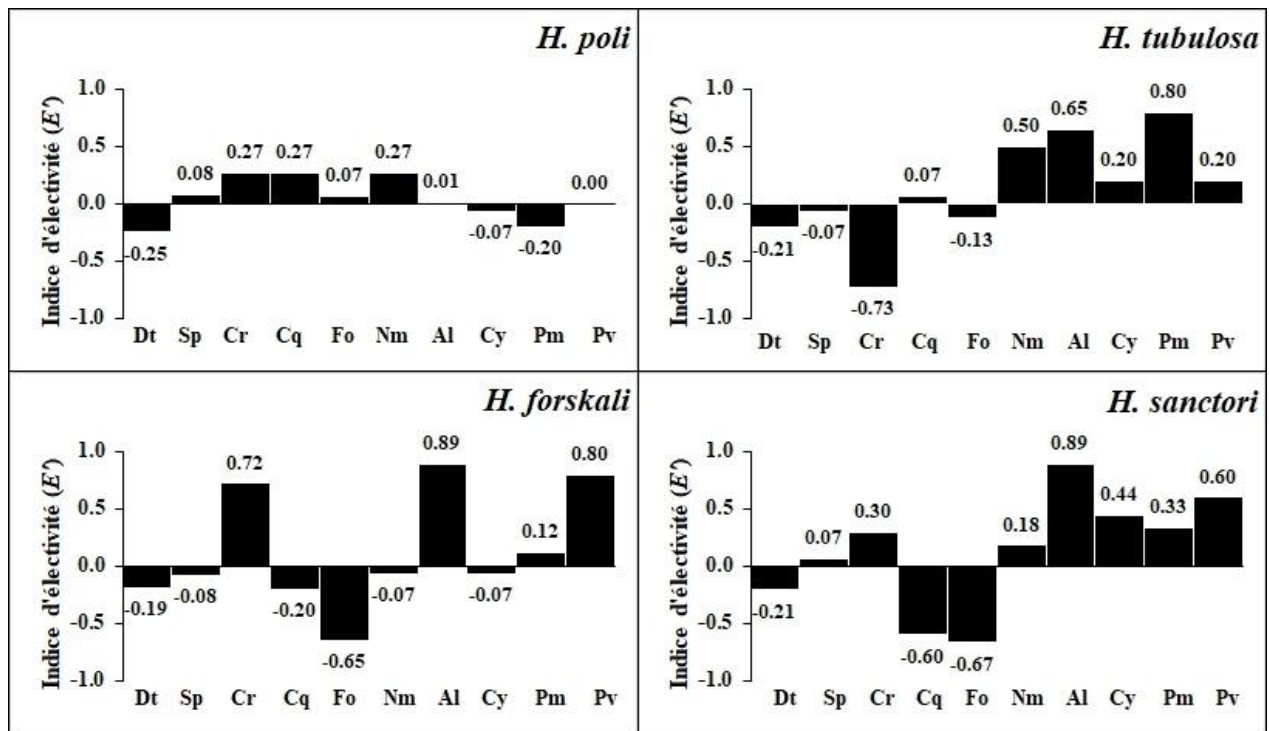


Figure 41 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Stidia, en période automnale.

A l'exception de *H. poli* qui présente un indice d'électivité positif et relativement très bas (0.07) pour les foraminifères, toutes les autres espèces d'holothuries étudiées évitent ce type d'aliment (E' : -0.67, -0.65, -0.13 chez *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. tubulosa* respectivement) (Fig. 41). D'autre part, *H. forskali* présente le plus important indice d'électivité pour les crustacées, suivie par *H. sanctori* et *H. poli* (0.72, 0.30 et 0.27 respectivement), contrairement à *H. tubulosa* chez laquelle cette ressource alimentaire est la plus évitée ($E' = -0.73$) (Fig. 41). Les spicules d'éponges sont légèrement sélectionnées par *H. poli* et *H. sanctori* (E' : 0.08 et 0.07 respectivement) ; alors qu'à l'opposé, cet aliment est faiblement évité par *H. forskali* et *H. tubulosa* (E' : -0.08 et -0.07 respectivement) (Fig. 41). Toutefois, *H. tubulosa* est l'espèce qui présente le plus important indice d'Ivlev pour les nématodes, suivie par *H. poli* et *H. sanctori* (0.50, 0.27 et 0.18 respectivement) (Fig. 41). Nos résultats montrent que les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* consomment les coquilles de mollusques bivalves de manière préférentielle (E' : 0.27 et 0.07 respectivement) ; contrairement à *H. sanctori* et *H. forskali*, qui évitent cette aliment (E' : -0.60 et -0.20 respectivement) (Fig. 41).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

❖ Hiver

Les valeurs de l'indice d'électivité d'Ivlev, indiquent que les espèces *H. poli*, *H. forskali* et *H. sanctori* montre une légère préférence pour les diatomées (E' : 0.10, 0.08 et 0.08 respectivement) et que *H. tubulosa* rejette ce type d'aliment ($E' = -0.12$) (Fig. 42). Les cyanophycées quant à elles, sont soit très légèrement sélectionnées (E' : 0.06, 0.05 et 0.01 chez *H. sanctori*, *H. tubulosa* et *H. poli* respectivement), ou carrément rejetées ($E' = -0.32$ chez *H. forskali*) (Fig. 42). Les valeurs de l'indice d'électivité, révèlent également que les algues ne sont sélectionnées que par *H. poli* ($E' = 0.12$) ; alors que toutes les autres espèces d'holothuries les rejettent (E' : -0.24, -0.14 et -0.13 chez *H. tubulosa*, *H. sanctori* et *H. forskali* respectivement) (Fig. 42). Toutefois, les feuilles (mortes et vivantes) de posidonies sont très appréciées par l'ensemble des holothuries étudiées (E' : 0.80, 0.60, 0.52 et 0.07 chez *H. forskali*, *H. tubulosa*, *H. sanctori* et *H. poli* respectivement (pour les feuilles mortes) ; E' : 0.60, 0.40, 0.23 et 0.20 chez *H. sanctori*, *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. poli* respectivement (pour les feuilles vivantes) (Fig. 42).

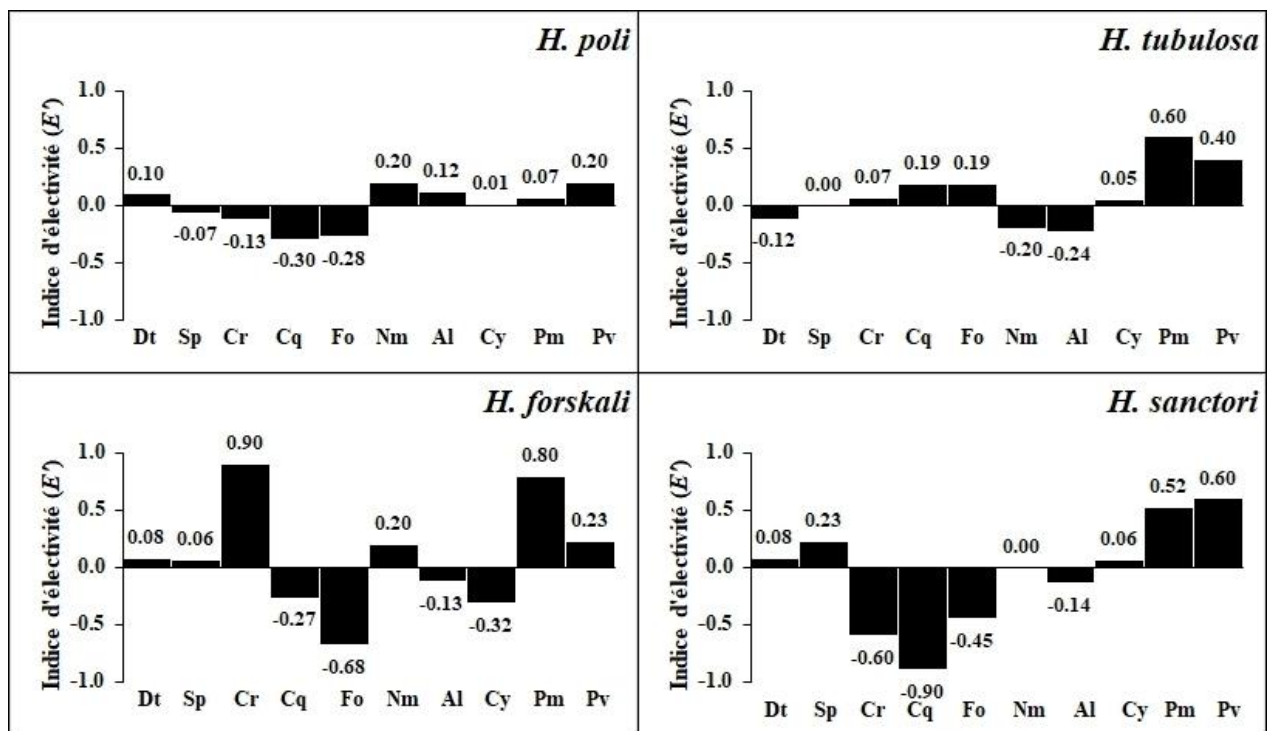


Figure 42 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Stidia, en période hivernale.

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

Nos résultats démontrent également que les foraminifères sont rejetés par les espèces *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. poli* (E' : -0.68, -0.45 et - 0.28 respectivement) et ne sont appréciés que par *H. tubulosa* ($E' = 0.19$) (Fig. 42). Par ailleurs, les crustacées constituent l'aliment le plus apprécié pour *H. forskali* ($E' = 0.90$) ; tandis qu'elles sont rejetées par les deux espèces *H. sanctori* et *H. poli* (E' : -0.90 et -0.13 respectivement) (Fig. 42). L'indice d'électivité montre de très faibles valeurs pour les spicules d'éponges ; la plus importante valeur est obtenue chez *H. sanctori* ($E' = 0.23$) (Fig. 42). D'autre part, les nématodes ne sont consommés de manière préférentielle que par *H. poli* et *H. forskali* ($E' = 0.20$ pour les deux espèces) (Fig. 42). Selon les valeurs de l'indice d'électivité d'Ivlev, les espèces *H. sanctori*, *H. poli* et *H. forskali* rejettent les coquilles de mollusques bivalves (E' : -0.90, -0.30 et -0.27 respectivement), alors que *H. tubulosa* l'apprécie légèrement ($E' = 0.19$) (Fig. 42).

❖ Printemps

Durant cette saison, *H. tubulosa* et *H. forskali* ne montrent pas une préférence pour les diatomées (E' : -0.27 et -0.15 respectivement), alors que les deux autres espèces *H. poli* et *H. sanctori* montrent une légère sélectivité vis-à-vis de cet aliment (E' : 0.12 et 0.01 respectivement) (Fig. 43). Les cyanophycées sont appréciées seulement par les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* (E' : 0.54 et 0.20 respectivement) (Fig. 43) ; contrairement aux algues qui sont consommées de manière préférentielles par l'ensemble des holothuries (E' : 0.73, 0.64, 0.50 et 0.19 chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. tubulosa* et *H. poli* respectivement) (Fig. 43). L'ensemble des holothuries montrent d'importantes valeurs de l'indice d'Ivlev, pour les feuilles mortes de posidonies ; la plus importante valeur est obtenue chez les deux espèces *H. tubulosa* et *H. forskali* ($E' = 0.80$ chez les deux espèces), suivie par *H. sanctori* et *H. poli* (E' : 0.60 et 0.40 respectivement) (Fig. 43). Il est à signalé que durant cette saison, les feuilles mortes de posidonie, est la ressource alimentaire la plus appréciée par les deux espèces *H. tubulosa* et *H. forskali*. Les feuilles vivantes de posidonie sont également appréciées par toutes les espèces d'holothuries ; c'est *H. tubulosa* qui préfère le plus cet aliment ($E' = 0.60$), suivie par *H. poli*, *H. forskali* ($E' = 0.40$ chez les deux espèces) et *H. sanctori* ($E' = 0.20$) (Fig. 43).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

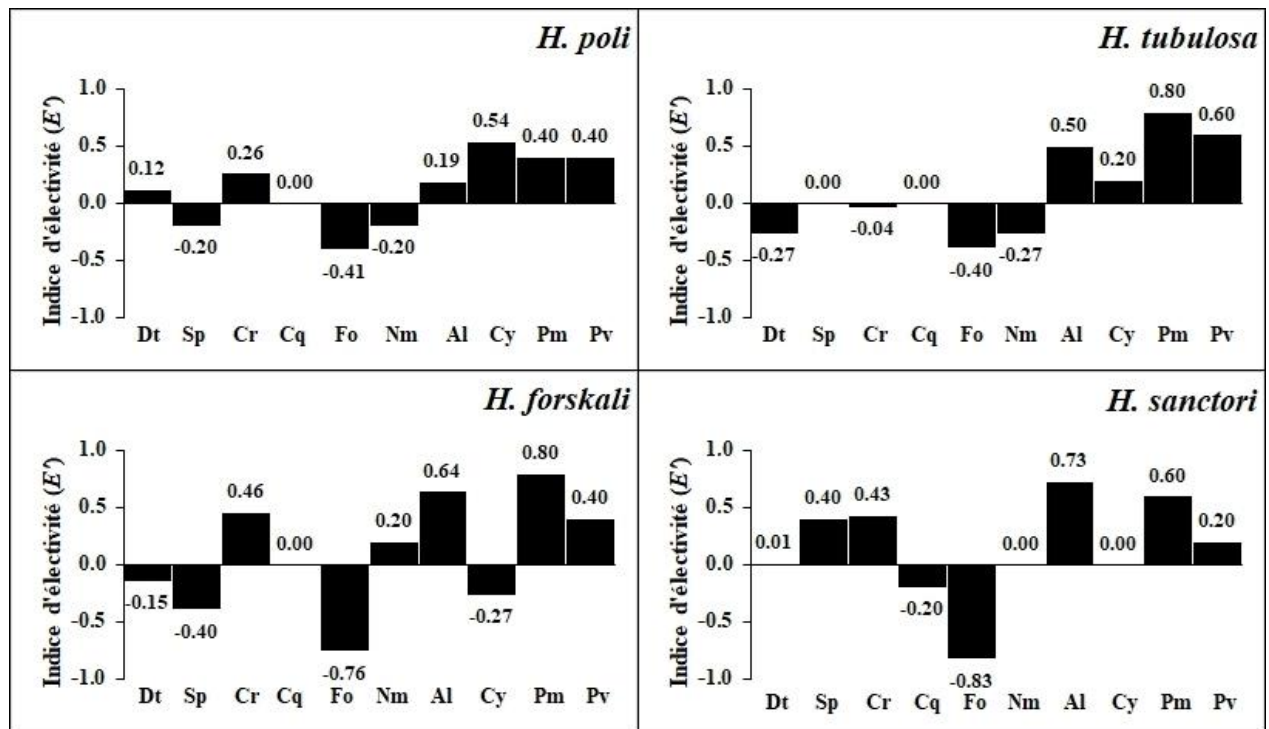


Figure 43 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Stidia, en période printanière.

Cependant, l'ensemble des holothuries ne montrent aucune préférence pour les foraminifères dans leurs alimentation (E' : -0.83, -0.76, -0.41 et -0.40 chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. poli* et *H. tubulosa* respectivement) (Fig. 43). Les crustacées sont par contre, sélectionnées par *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. poli* (E' : 0.46, 0.43 et 0.26 respectivement) et évitées par *H. tubulosa* ($E' = -0.04$) (Fig. 43). Les valeurs de l'indice d'Ivlev, montrent que les spicules d'éponges ne sont appréciés seulement par l'espèce *H. sanctori* ($E' = 0.40$) et que les nématodes ne sont appréciés uniquement par *H. forskali* ($E' = 0.20$) (Fig. 43). Aucune sélectivité n'est exercée par les trois espèces *H. poli*, *H. tubulosa* et *H. forskali*, pour les coquilles de mollusque bivalves ($E' = 0$ chez les trois espèces) (Fig. 43).

I.3.1.1.2. Salamandre

❖ Été

Les valeurs de l'indice d'électivité d'Ivlev, montre que les diatomées ne sont que très légèrement sélectionnées par *H. poli* et *H. tubulosa* (E' : 0.11 et 0.01 respectivement), et évitées par *H. forskali* et *H. sanctori* (E' : -0.15 et -0.06 respectivement) (Fig. 44). Par ailleurs, les cyanophycées sont évitées par la plupart des espèces d'holothuries (E' : -0.45, -0.24 et -0.09 chez *H. tubulosa*, *H.*

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

forskali et *H. poli* respectivement), alors que *H. sanctori* est l'unique espèce qui montre une certaine sélectivité ($E' = 0.04$) pour cette ressource alimentaire (Fig. 44). Mis à part *H. poli* qui montre un évitement ($E' = -0.31$) pour les algues, tout le reste des holothuries étudiées montrent une préférence pour cet aliment. Le plus important indice d'électivité pour les algues est obtenu chez *H. sanctori*, suivie par *H. tubulosa* et *H. forskali* ($E' : 0.51, 0.48$ et 0.17 respectivement) (Fig. 44). Les feuilles mortes de posidonie ne sont sélectionnées que par *H. forskali* et *H. sanctori* ($E' : 0.50$ et 0.32 respectivement) ; alors les feuilles vivantes de posidonies ne sont sélectionnées que par les deux espèces *H. forskali* et *H. poli* ($E' : 0.40$ et 0.20 respectivement) (Fig. 44).

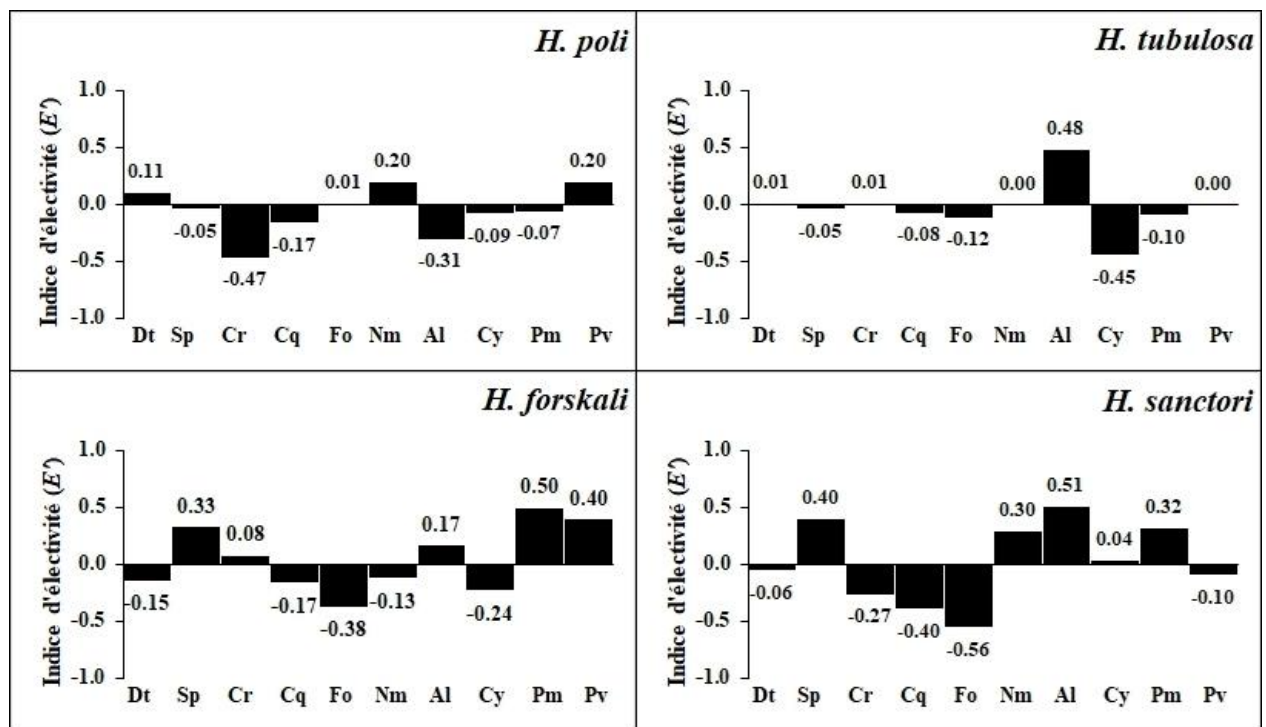


Figure 44 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Salamandre, en période estivale.

Durant cette saison, seule l'espèce *H. poli* montre une préférence pour les foraminifères ($E' = 0.01$) ; les trois autres espèces évitent ce type d'aliment ($E' : -0.56, -0.38$ et -0.12 chez *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. tubulosa* respectivement) (Fig. 44). Par ailleurs, les crustacées ne sont que légèrement appréciés par *H. forskali* et *H. tubulosa* ($E' : 0.08$ et 0.01 respectivement), alors que cet aliment est évité par *H. poli* et *H. sanctori* ($E' : -0.47$ et -0.27 respectivement). *Holothuria sanctori* et *H. forskali* sont les seules espèces, montrant une préférence pour les spicules d'éponges ($E' : 0.40$ et 0.33 respectivement) (Fig. 44) ; alors que *H. sanctori* et *H. poli* sont à leurs tour, les seules espèces qui consomment de manière préférentielles les nématodes ($E' : 0.30$ et

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

0.20 respectivement) (Fig. 44). Cependant, l'ensemble des holothuries évitent les coquilles de mollusques bivalves (E' : -0.40, -0.17, -0.17 et -0.08 chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. poli* et *H. tubulosa* respectivement) (Fig. 44).

❖ Automne

Les valeurs de l'indice d'électivité d'Ivlev, montrent que seule l'espèce *H. poli* préfère les diatomées ($E' = 0.03$) (Fig. 45). Les cyanophycées sont sélectionnées par les deux espèces *H. sanctori* et *H. forskali* (E' : 0.14 et 0.06 respectivement), mais sont par contre très évitées par *H. tubulosa* ($E' = -0.80$) (Fig. 45). Par ailleurs, L'ensemble des holothuries montrent une large préférence pour les algues ; c'est *H. sanctori* qui apprécie le plus cet aliment, suivie par *H. poli*, *H. forskali* et *H. tubulosa* (E' : 0.69, 0.67, 0.66 et 0.41 respectivement) (Fig. 45). Les valeurs de l'indice d'Ivlev montrent une préférence pour les feuilles (mortes et vivantes) de posidonies, par l'ensemble des holothuries étudiées (Fig. 45). Les espèces *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. sanctori* présentent le même indice d'électivité ($E' = 0.20$), pour les feuilles mortes de posidonies ; alors que *H. sanctori* présente le plus important indice d'Ivlev pour les feuilles vivantes de posidonies ($E' = 0.80$), suivie par *H. forskali*, *H. tubulosa* et *H. poli* (E' : 0.40, 0.40 et 0.20 respectivement) (Fig. 45).

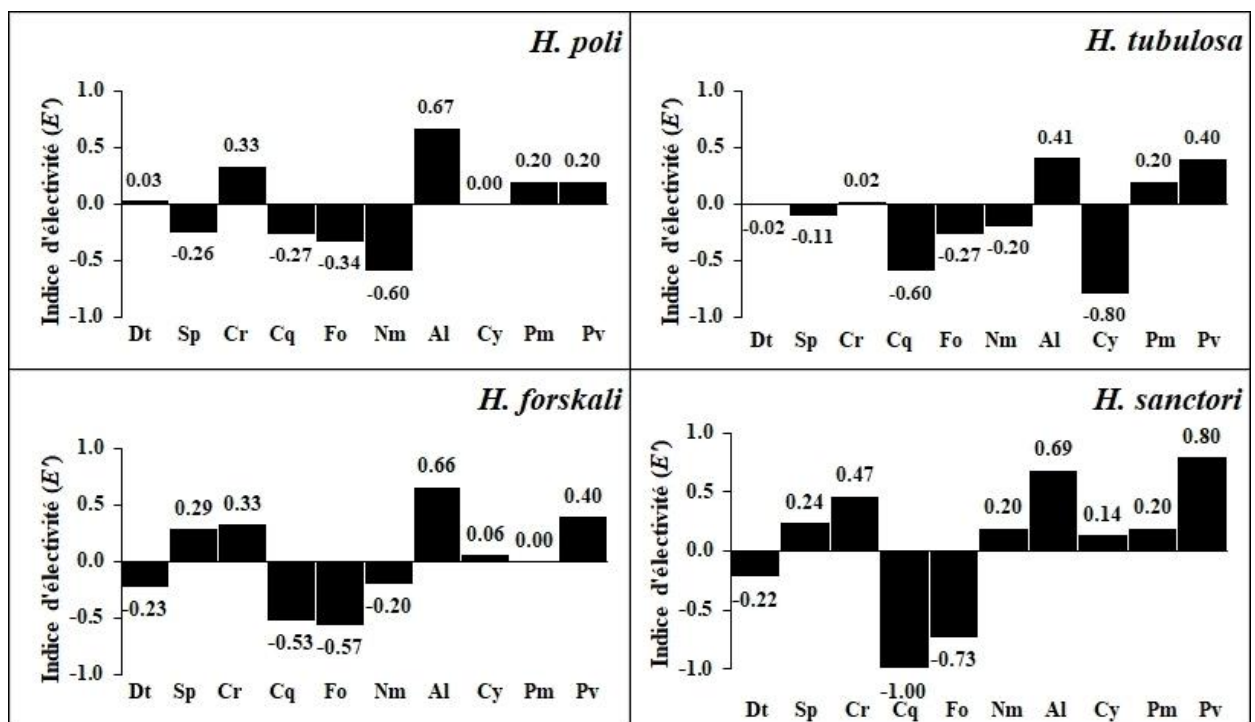


Figure 45 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Salamandre, en période automnale.

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

Les résultats obtenus montrent que les quatre espèces d'holothuries, évitent les foraminifères dans leurs alimentation (E' : -0.73, -0.57, -0.34 et -0.27 chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. poli* et *H. tubulosa* respectivement) (Fig. 45). Par contre, ces holothuries montrent une préférence pour les crustacés ; c'est *H. sanctori* qui montre le plus important indice d'électivité, suivie par *H. poli*, *H. forskali* et *H. tubulosa* (E' : 0.47, 0.33, 0.33 et 0.02 respectivement) (Fig. 45). Durant cette saison, les spicules d'éponges sont appréciés par les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* (E' : 0.29 et 0.24 respectivement), mais évités par *H. poli* et *H. tubulosa* (E' : -0.26 et -0.11 respectivement) (Fig. 45). Nos résultats montrent que *H. sanctori* est l'unique espèce qui apprécie les nématodes ($E' = 0.20$) ; tandis que *H. poli*, *H. forskali* et *H. tubulosa* évitent cette ressources alimentaire ($E' = 0.60, -0.20$ et -0.20 respectivement) (Fig. 45). Durant cette saison, l'ensemble des holothuries évitent les coquilles de mollusques bivalves (E' : -1, -0.60, -0.53 et -0.27 chez *H. sanctori*, *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. poli* respectivement) (Fig. 45).

❖ Hiver

D'après les résultats obtenus, les diatomées ne sont sélectionnées que par l'espèce *H. tubulosa* ($E' = 0.09$), toutes les autres espèces d'holothuries montrent un évitement pour cette ressources alimentaire (E' : -0.13, -0.06 et -0.03 chez *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. poli* respectivement) (Fig. 46). D'autre part, les cyanophycées sont sélectionnées par les espèces *H. poli* et *H. forskali* (E' : 0.17 et 0.07 respectivement) et sont évitées par *H. sanctori* et *H. tubulosa* (E' : -0.1 et -0.07 respectivement) (Fig. 46). Toutefois, les algues ne sont appréciées que par *H. sanctori* ($E' = 0.44$) et à moindre mesure par *H. forskali* ($E' = 0.04$) (Fig. 46). Globalement, les feuilles (mortes et vivantes) de posidonies sont appréciées par les holothuries étudiées ; c'est *H. forskali* qui préfère le plus les feuilles mortes ($E' = 0.20$), alors que c'est *H. tubulosa* qui préfère le plus les feuilles vivantes ($E' = 0.53$) (Fig. 46). *Holothuria tubulosa* constitue l'unique espèce qui évite les feuilles mortes de posidonie ($E' = -0.15$) (Fig. 46).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

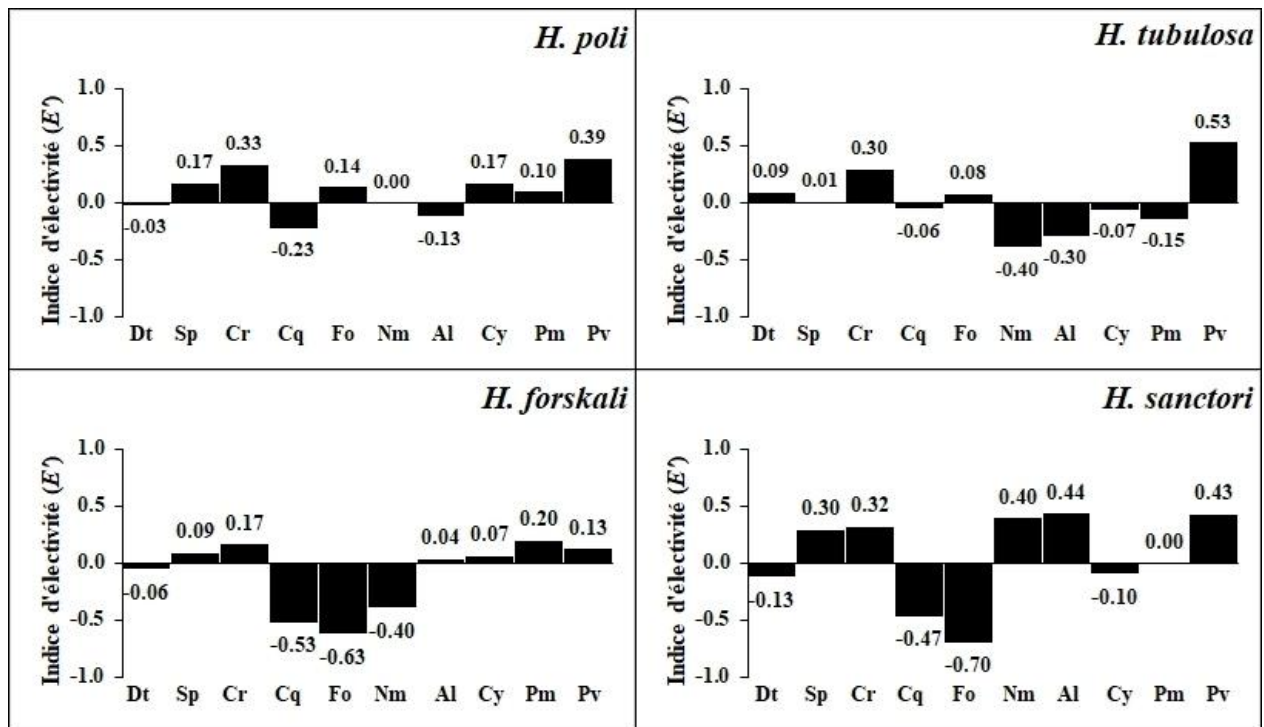


Figure 46 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Salamandre, en période hivernale.

L'indice d'électivité d'Ivlev, montre une préférence pour les foraminifères, chez les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* (E' : 0.14 et 0.08 respectivement) ; contrairement aux deux autres espèces *H. sanctori* et *H. forskali*, chez lesquelles l'indice d'électivité montre un évitement pour cette ressource alimentaire (E' : -0.70 et -0.63 respectivement) (Fig. 46). Cependant, les crustacées et les spicules d'éponges sont appréciées par toutes les espèces d'holothuries. Pour les crustacées, le plus important indice d'électivité est obtenu chez *H. poli* suivie par *H. sanctori*, *H. tubulosa* et *H. forskali* (E' : 0.33, 0.32, 0.30 et 0.17 respectivement) ; alors que c'est *H. sanctori* qui présente le plus important indice d'Ivlev pour les spicules d'éponges, suivie par *H. poli*, *H. forskali* et *H. tubulosa* (E' : 0.30, 0.17, 0.09 et 0.01 respectivement) (Fig. 46). L'indice d'électivité révèle que *H. sanctori* est l'unique espèce qui sélectionne les nématodes ($E' = 0.40$) (Fig. 46). D'une manière globale, les holothuries étudiées évitent les coquilles de mollusques bivalves dans leurs alimentations, du moment qu'elles présentent un indice d'électivité négatif pour cet aliment ; ce sont les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* qui évitent le plus cet aliment (E' : -0.53, -0.47 respectivement) (Fig. 46).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica

❖ Printemps

Durant cette saison, les espèces *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. poli* montrent un indice d'électivité qui relativement élevé, pour les diatomées (E' : 0.56, 0.39 et 0.23 respectivement) ; contrairement à *H. tubulosa* qui évite cet aliment ($E' = -0.08$) (Fig. 47). Par ailleurs, les cyanophycées sont appréciées uniquement par les deux espèces *H. sanctori* et *H. forskali* (E' : 0.30 et 0.20 respectivement) (Fig. 47). Nos résultats indiquent que *H. poli* est l'espèce qui montre le plus important indice d'électivité pour les algues, suivie par *H. sanctori* et à moindre mesure *H. tubulosa* (E' : 0.82, 0.75 et 0.11 respectivement) (Fig. 47). Dans l'ensemble, les feuilles (mortes et vivantes) de posidonie sont consommées de manière préférentielle, par la plupart des holothuries étudiées (Fig. 47). Le plus important indice d'Ivlev pour les feuilles mortes de posidonie, est obtenu chez *H. forskali* ($E' = 0.40$) ; alors que celui pour les feuilles vivantes est obtenu chez *H. tubulosa* ($E' = 0.40$) (Fig. 47).

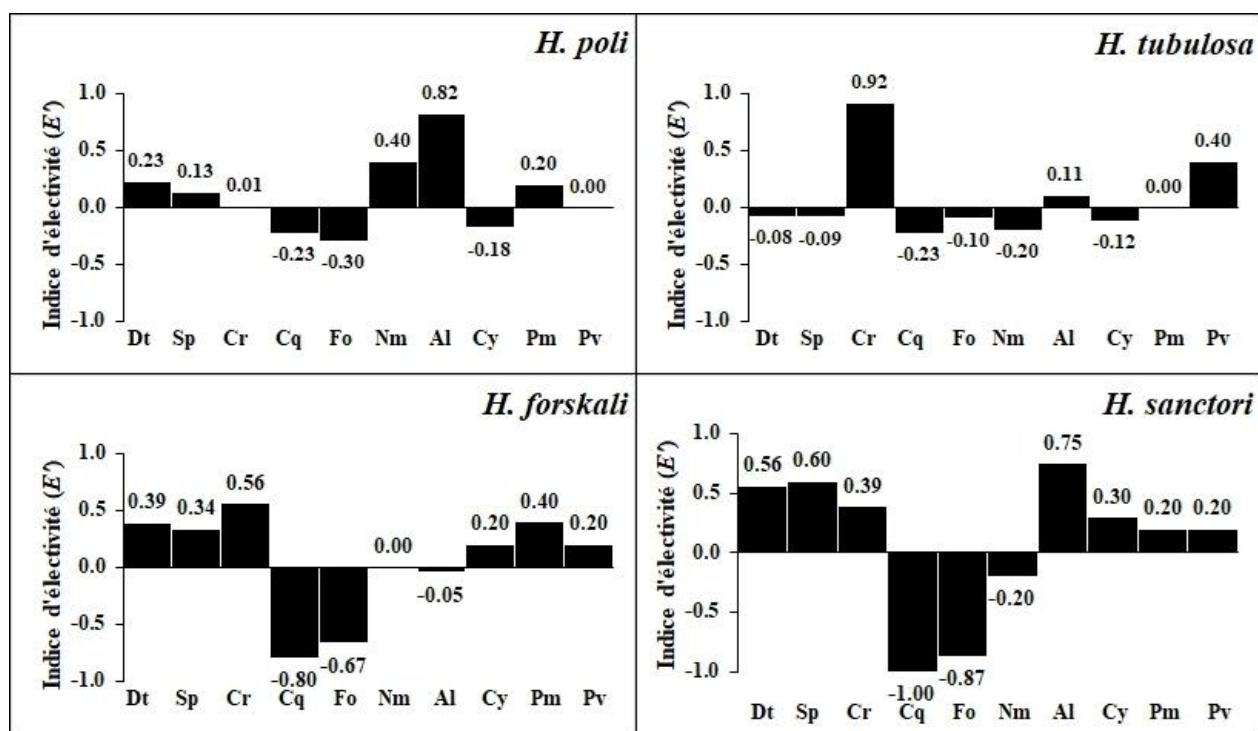


Figure 47 : Indice d'Electivité d'Ivlev (E'), indiquant la préférence ou le rejet d'une ressource alimentaire, chez les holothuries du site de Salamandre, en période printanière.

Toutes les espèces d'holothuries étudiées lors de ce travail, montrent un évitement pour les foraminifères (E' : -0.87, -0.67, -0.30 et -0.10 chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. poli* et *H. tubulosa* respectivement) (Fig. 47). En outre, l'ensemble des holothuries apprécie les crustacées ; cet aliment est même le plus sélectionné par *H. tubulosa* et *H. forskali* (E' : 0.92 et 0.56

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

respectivement) (Fig. 47). Mis à part *H. tubulosa*, chez laquelle les spicules d'éponges sont évités ($E' = -0.09$) ; toutes les autres espèces d'holothuries étudiées, montrent une certaine sélectivité pour cette ressources alimentaire ($E' : 0.60, 0.34$ et 0.13 chez *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. poli* respectivement) (Fig. 47). Les résultats obtenus montrent que les nématodes ne sont sélectionnés que par *H. poli* ($E' = 0.40$), alors que les coquilles de mollusques bivalves ne sont sélectionnées par aucune des espèces d'holothuries étudiées ($E' : -1, -0.80, -0.23$, et -0.23 chez *H. sanctori*, *H. forskali*, *H. poli* et *H. tubulosa* respectivement) (Fig. 47).

I.3.1.2. Etude du recouvrement des niches alimentaires

I.3.1.2.1. Stidia

Les valeurs de l'indice de recouvrement de Schoener (T), varient au cours de la période d'échantillonnage ; elles passent d'un minimum de 0.33, à un maximum de 0.99 (Fig. 48 ; Tab. 12). En été, aucun chevauchement des niches alimentaires, n'est à signaler entre les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* ($T = 0.33$) (Fig. 48, Tab. 12). Durant cette saison, un très faible recouvrement des niches alimentaires, est obtenu entre *H. forskali* et les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* présentent deux à deux ($T : 0.67$ et 0.66 respectivement) ; ainsi qu'entre *H. sanctori* et les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* présentent deux à deux ($T : 0.67$ et 0.65 respectivement) (Fig. 48 ; Tab. 12). Par ailleurs, les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* présentent des niches alimentaires très similaires, du moment que l'indice de recouvrement entre ces deux espèces est très important ($T = 0.99$) (Fig. 48 ; Tab. 12).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

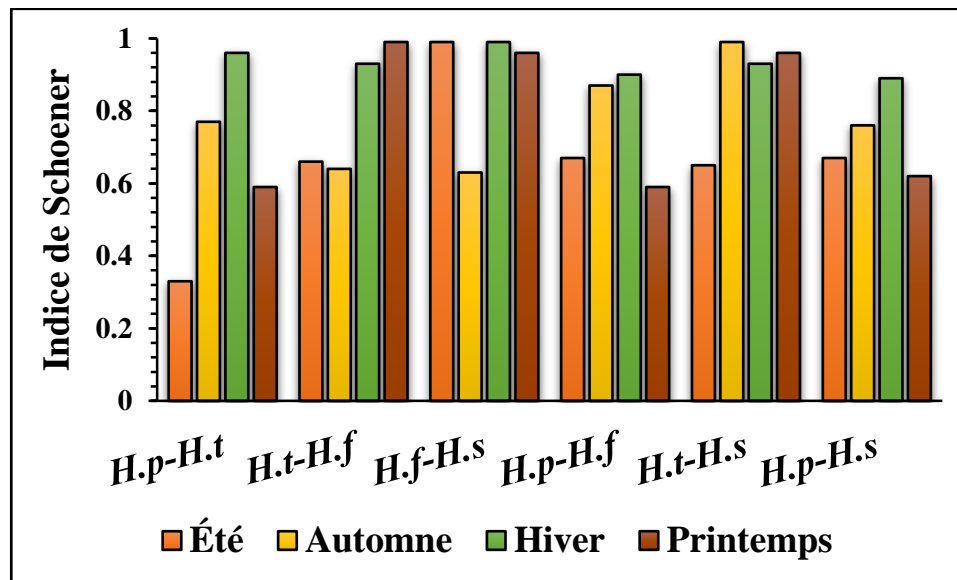


Figure 48 : Variation saisonnière des indices de recouvrement de Schoener, entre les niches alimentaires, des quatre espèces d'holothuries (*H.p* : *Holothuria poli*, *H.t* : *Holothuria tubulosa*, *H.f* : *Holothuria forskali* et *H.s* : *Holothuria sanctori*) du site de Stidia, présent deux à deux.

Tableau 12 : Valeurs des indices de recouvrement de Schoener, entre les niches alimentaires des espèces d'holothuries du site de Stidia, durant les quatre saisons d'études.

Saison	Espèce	Indice de recouvrement des niches alimentaires de Schoener			
		<i>H. poli</i>	<i>H. tubulosa</i>	<i>H. forskali</i>	<i>H. sanctori</i>
Été	<i>H. poli</i>	-	0.33	0.67	0.67
	<i>H. tubulosa</i>		-	0.66	0.65
	<i>H. forskali</i>			-	0.99
	<i>H. sanctori</i>				-
Automne	<i>H. poli</i>	-	0.77	0.87	0.67
	<i>H. tubulosa</i>		-	0.64	0.99
	<i>H. forskali</i>			-	0.63
	<i>H. sanctori</i>				-
Hiver	<i>H. poli</i>	-	0.96	0.90	0.89
	<i>H. tubulosa</i>		-	0.93	0.93
	<i>H. forskali</i>			-	0.99
	<i>H. sanctori</i>				-
Printemps	<i>H. poli</i>	-	0.59	0.59	0.62
	<i>H. tubulosa</i>		-	0.99	0.96
	<i>H. forskali</i>			-	0.96
	<i>H. sanctori</i>				-

Dans l'ensemble, une légère augmentation des recouvrements entre certaines espèces, se manifeste en période automnale ; cette augmentation réside entre *H. poli* et les deux espèces *H. tubulosa* et *H. forskali* (présentent deux à deux (T : 0.77 et 0.87 respectivement) (Fig. 48 ; Tab. 12). Le plus important taux de chevauchement est obtenu entre *H. tubulosa* et *H. sanctori* (T = 0.99) ; contrairement à l'espèce *H. forskali* qui montre le plus bas taux de recouvrement des niches alimentaires avec les deux espèces *H. tubulosa* et *H. sanctori* (T : 0.64 et 0.63 respectivement) (Fig. 48 ; Tab. 12). D'ailleurs, ces deux dernières valeurs de l'indice de Schoener, sont les seules à avoir montré une diminution par rapport à la saison estivale.

Les résultats obtenus montrent que c'est en hiver que les indices de recouvrement s'accroissent le plus ; cet indice prend des valeurs très importantes et varient entre un minimum de 0.89 (entre *H. poli* et *H. sanctori*) et un maximum de 0.99 (entre *H. forskali* et *H. sanctori*) (Fig. 48 ; Tab. 12).

Cependant, durant le printemps, les indices de recouvrements des niches alimentaires des holothuries diminuent et frôlent même ceux de la saison estivale (Fig. 48 ; Tab. 12). L'espèce *H. poli*, du moment qu'elle ne présente aucun chevauchement de niche alimentaire avec les deux espèces *H. tubulosa* et *H. sanctori* (T = 0.59 pour chacune des deux espèces présente deux à deux avec *H. poli*) (Fig. 48 ; Tab. 12). D'autre part, les niches alimentaires des espèces *H. poli* et *H. sanctori* ne présentent qu'un très léger recouvrement (T = 0.62) ; contrairement aux trois espèces *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. sanctori* qui montrent un important chevauchement, avec un pic entre *H. tubulosa* et *H. forskali* (T = 0.99) (Fig. 48 ; Tab. 12).

I.3.1.2.2. Salamandre

Le recouvrement entre les niches alimentaires des holothuries est assez considérable, ne montrant que très peu d'hétérogénéité entre les saisons d'étude (Fig. 49 ; Tab. 13). En été, l'espèce *H. sanctori* se démarque avec un léger recouvrement de sa niche alimentaire, avec celles de *H. poli*, *H. forskali* et *H. tubulosa* (T : 0.66, 0.67 et 0.70 respectivement) (Fig. 49 ; Tab. 13). La plus importante valeur de l'indice de Schoener durant cette saison, est obtenue entre *H. tubulosa* et *H. forskali* (T = 0.97) (Fig. 49 ; Tab. 13).

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

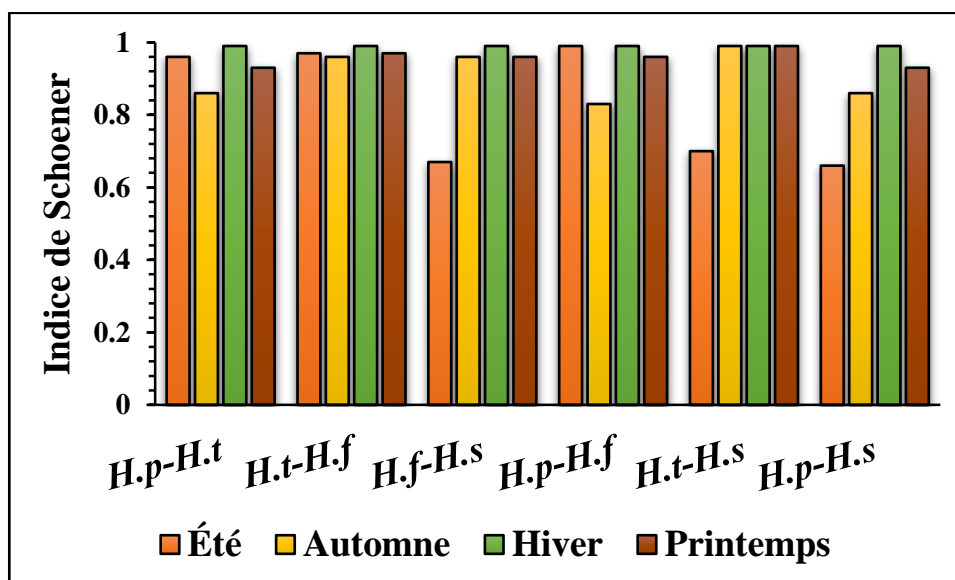


Figure 49 : Variation saisonnière des indices de recouvrement de Schoener, entre les niches alimentaires, des quatre espèces d'holothuries (*H.p* : *Holothuria poli*, *H.t* : *Holothuria tubulosa*, *H.f* : *Holothuria forskali* et *H.s* : *Holothuria sanctori*) du site de Salamandre, présent deux à deux.

Tableau 13 : Valeurs des indices de recouvrement de Schoener, entre les niches alimentaires des espèces d'holothuries du site de Salamandre, durant les quatre saisons d'études.

Saison	Espèce	Indice de recouvrement des niches alimentaires de Schoener			
		<i>H. poli</i>	<i>H. tubulosa</i>	<i>H. forskali</i>	<i>H. sanctori</i>
Été	<i>H. poli</i>	-	0.96	0.96	0.66
	<i>H. tubulosa</i>		-	0.97	0.70
	<i>H. forskali</i>			-	0.67
	<i>H. sanctori</i>				-
Automne	<i>H. poli</i>	-	0.86	0.83	0.86
	<i>H. tubulosa</i>		-	0.96	0.99
	<i>H. forskali</i>			-	0.96
	<i>H. sanctori</i>				-
Hiver	<i>H. poli</i>	-	0.99	0.99	0.99
	<i>H. tubulosa</i>		-	0.99	0.99
	<i>H. forskali</i>			-	0.99
	<i>H. sanctori</i>				-
Printemps	<i>H. poli</i>	-	0.93	0.96	0.93
	<i>H. tubulosa</i>		-	0.97	0.99
	<i>H. forskali</i>			-	0.96
	<i>H. sanctori</i>				-

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

Durant la saison automnale, l'espèce *H. sanctori* montre des indices de recouvrement très élevés avec le reste des espèces d'holothuries ; le plus important est enregistré avec *H. tubulosa* (T = 0.99) (Fig. 49 ; Tab. 13). Cependant, les plus faibles recouvrements des niches alimentaires, sont à chaque fois obtenues entre *H. poli* et une des autres espèces (T : 0.83, 0.86 et 0.86 avec *H. forskali*, *H. tubulosa* et *H. sanctori* respectivement) (Fig. 49 ; Tab. 13). Par ailleurs, durant toute la période de prélèvements, c'est la saison hivernale qui présente les plus importantes valeurs de l'indice de Schoener (T = 0.99 entre toutes les espèces présent deux à deux) (Fig. 49 ; Tab. 13).

Les indices de recouvrements des niches alimentaires, montrent une légère baisse par rapport à la saison hivernale (Fig. 49 ; Tab. 13) ; mais reste quand même élevés. Il est à signaler que l'espèce *H. poli* se démarque encore une fois, avec les plus basses valeurs de cet indice (T = 0.93 avec chacune des deux espèces *H. tubulosa* et *H. sanctori* présent deux à deux) (Fig. 49 ; Tab. 13). Les trois espèces *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. sanctori* présent deux à deux, présentent les plus importants chevauchements de leurs niches alimentaires ; avec un pic de 0.99 entre *H. tubulosa* et *H. sanctori* (Fig. 49 ; Tab. 13).

I.3.2. Analyse isotopique des holothuries et de leurs sources de nourriture³

I.3.2.1. Composition isotopique

La valeur du $\delta^{15}\text{N}$ des sources alimentaires consommées par les holothuries du site de Stidia présentent une différence significative (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$). Le $\delta^{15}\text{N}$ des épiphytes de posidonies diffère de celui des feuilles mortes de posidonies (test de Dunn ; $P < 0.05$) ; alors que le $\delta^{15}\text{N}$ des feuilles mortes de posidonies et de la meiofaune ne présente aucune différence (test de Dunn ; $P > 0.05$) (Fig. 50A). La valeur du $\delta^{13}\text{C}$ des sources alimentaires présente une différence significative (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$). Les épiphytes de posidonies présente un $\delta^{13}\text{C}$ qui est significativement différent de celui des feuilles mortes de posidonies (test de Dunn ; $P < 0.05$) (Fig. 50A).

La composition isotopique de l'azote varie entre les espèces d'holothuries du site de Stidia (Fig. 50A) présente des valeurs qui varient entre 13.2‰ et 16.8‰ ($15.1 \pm 1.1\%$) ; 12.9‰ et 15.2‰ ($14.3 \pm 0.9\%$) ; 12‰ et 15.6‰ ($14 \pm 1.1\%$), ainsi qu'entre 12.5‰ et 15‰ ($13.7 \pm 0.7\%$) respectivement chez *H. sanctori*, *H. poli*, *H. forskali* et *H. tubulosa* ; la valeur obtenue pour *Holothuria sanctori* est significativement différente de *H. tubulosa* (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$; test de Dunn ; $P < 0.05$). Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ varient entre -17‰ et -15.7‰ ($-16.3 \pm 0.3\%$) ; -17.2‰ et -15‰ ($-16.5 \pm 0.6\%$) ; -17.1‰ et -16.1‰ ($-16.8 \pm 0.3\%$), ainsi qu'entre -17.3‰ et -

³ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

16.2‰ ($-16.9 \pm 0.3\text{‰}$) respectivement chez *H. tubulosa*, *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. poli*. Il existe des différences significative entre *H. tubulosa* et *H. poli* (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$; test de Dunn ; $P < 0.05$).

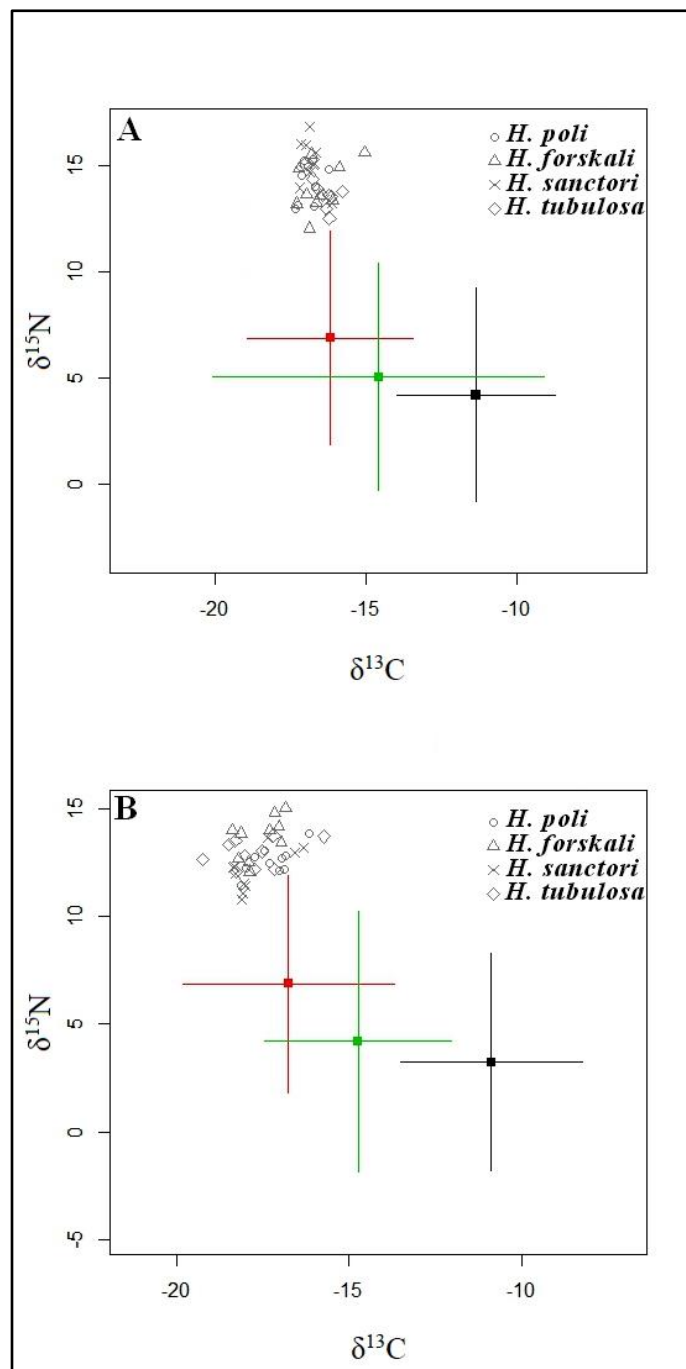


Figure 50 : Valeurs moyennes (\pm écart type) des rapports isotopiques du carbone ($\delta^{13}\text{C}$ en ‰) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$ en ‰) des quatre holothurides ainsi que de leurs sources alimentaires [feuilles mortes de posidonie (en noir), épiphytes de posidonie (en rouge) et meiofaune (en vert)], au niveau du site de Stidia (A) et du site de Salamandre (B).

³ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

La valeur du $\delta^{15}\text{N}$ des sources alimentaires consommées par les holothuries du site de Salamandre présentent une différence significative (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$). La valeur du $\delta^{15}\text{N}$ des épiphytes de posidonies diffère de celle des feuilles mortes de posidonies (test de Dunn ; $P < 0.05$) et diffère également de celle de la meiofaune (test de Dunn ; $P < 0.05$) (Fig. 50B). La valeur du $\delta^{13}\text{C}$ des trois sources alimentaires présente une différence significative (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$). Les épiphytes de posidonies présentent une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ qui est significativement différente de celles des feuilles mortes de posidonies (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$; test de Dunn ; $P < 0.05$) (Fig. 50B).

La composition isotopique de l'azote est peu variable entre les espèces d'holothuries du site de Salamandre (Fig. 50B), les valeurs varient entre 11.4‰ et 13.8‰ (moyenne \pm écart type ; 12.5 ± 0.6 ‰) ; 12‰ et 15‰ (13.6 ± 0.9 ‰) ; 10.7‰ et 13.6‰ (12.1 ± 0.9 ‰) et 12‰ et 13.7‰ (12.9 ± 0.6 ‰) respectivement chez *H. poli*, *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. tubulosa*. Il existe une différence significative entre le $\delta^{15}\text{N}$ des holothuries. *Holothuria forskali* est significativement différente que *H. sanctori* (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$; test de Dunn ; $P < 0.05$).

Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ obtenues pour les holothuries varient entre -18.1‰ et -16.1‰ (-17.2 ± 0.5 ‰) ; -18.3‰ et -16.8‰ (-17.5 ± 0.5 ‰) ; -18.3‰ et -16.3‰ (-17.7 ± 0.7 ‰), ainsi qu'entre -19.2‰ et -15.7‰ (-17.7 ± 0.9 ‰) respectivement chez *H. poli*, *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. tubulosa*. Le $\delta^{13}\text{C}$ ne présente aucune différence entre les espèces d'holothuries étudiées (test de Kruskal-Wallis ; $P > 0.05$) (Fig. 50B).

Les valeurs du $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des sources alimentaires ne présente aucune différence entre les deux sites étudiés (test de Kruskal-Wallis ; $P > 0.05$). Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des holothuries présentent une différence entre les deux sites étudiés (test de Kruskal-Wallis ; $P < 0.05$). Les holothuries du site de Stidia sont plus enrichies en $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$.

Les résultats du modèle de mélange SIAR sont exprimés sous forme de moyenne et accompagnés de l'intervalle de crédibilité bayésienne de 95%. Les épiphytes de posidonies présentent les plus importantes proportions, chez l'ensemble des espèces d'holothuries de Stidia ; avec 83% (59 - 100%) ; 79% (51 - 99%) ; 78% (52 - 98%) et 75% (48 - 97%), respectivement chez *H. poli*, *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. tubulosa* (Fig. 51). La meiofaune n'est que moyennement consommée par l'ensemble des holothuries ; les proportions obtenues sont très proches [20% (0 - 46%), 17% (0 - 43%), 17% (0 - 44%) et 13% (0 - 37%) ; respectivement chez *H. tubulosa*, *H. forskali*, *H. sanctori*, et *H. poli*] (Fig. 51). Les proportions obtenues pour les feuilles mortes de posidonies sont

³ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

les plus basses [4% (0 - 12%) ; 3% (0 - 10%) ; 3% (0 - 10%) et 3% (0 - 8%)] respectivement chez *H. tubulosa*, *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. poli* (Fig. 51).

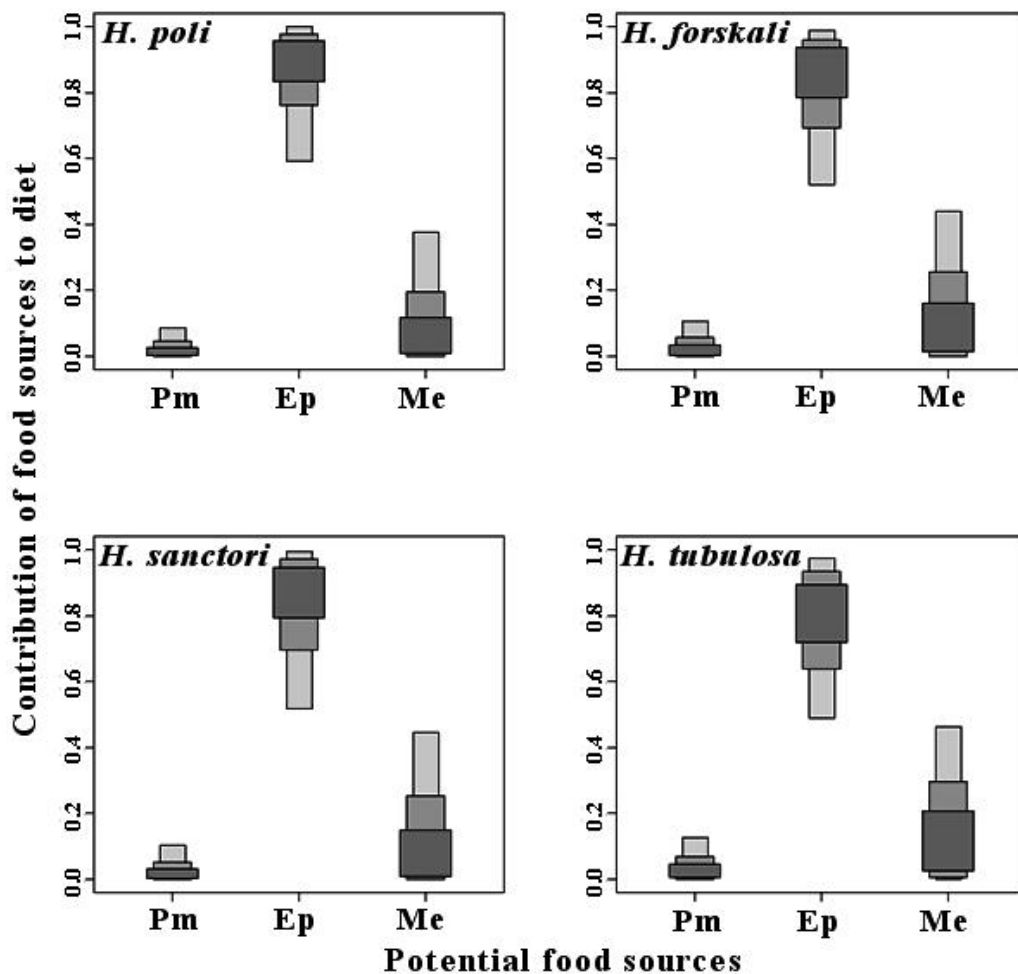


Figure 51 : Boxplots des contributions des potentielles sources de nourritures [Feuilles mortes de posidonies (Pm), épiphytes de posidonies (Ep) et meiofaune (Me)] des holothuries du site de Stidia, effectué par le modèle de mélange SIAR. Gris foncé, moyen et claire des boxplots sont respectivement 50%, 75% et 95% des intervalles de crédibilité.

A Salamandre, les épiphytes de posidonies présentent également les plus importantes proportions, chez l'ensemble d'holothuries ; avec 86% (66 - 100%) ; 85% (61 - 100%) ; 84% (64 - 100%) et 82% (61 - 99%), respectivement chez *H. sanctori*, *H. tubulosa*, *H. forskali* et *H. poli* et (Fig. 50). Chez l'ensemble des holothuries, la meiofaune présente des proportions qui ne sont pas très importantes, mais qui sont très proches [13% (0 - 35%), 11% (0 - 31%), 11% (0 - 34%) et 10% (0 - 30%) ; respectivement chez *H. poli*, *H. forskali*, *H. tubulosa* et *H. sanctori*] (Fig. 52). De très faibles proportions des feuilles mortes de posidonies sont obtenues chez toutes les holothuries [3%

³ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

(0 - 10%) chez *H. tubulosa* et 3% (0 - 9%) chez les trois espèces *H. poli*, *H. forskali* et *H. sanctori*] (Fig. 52).

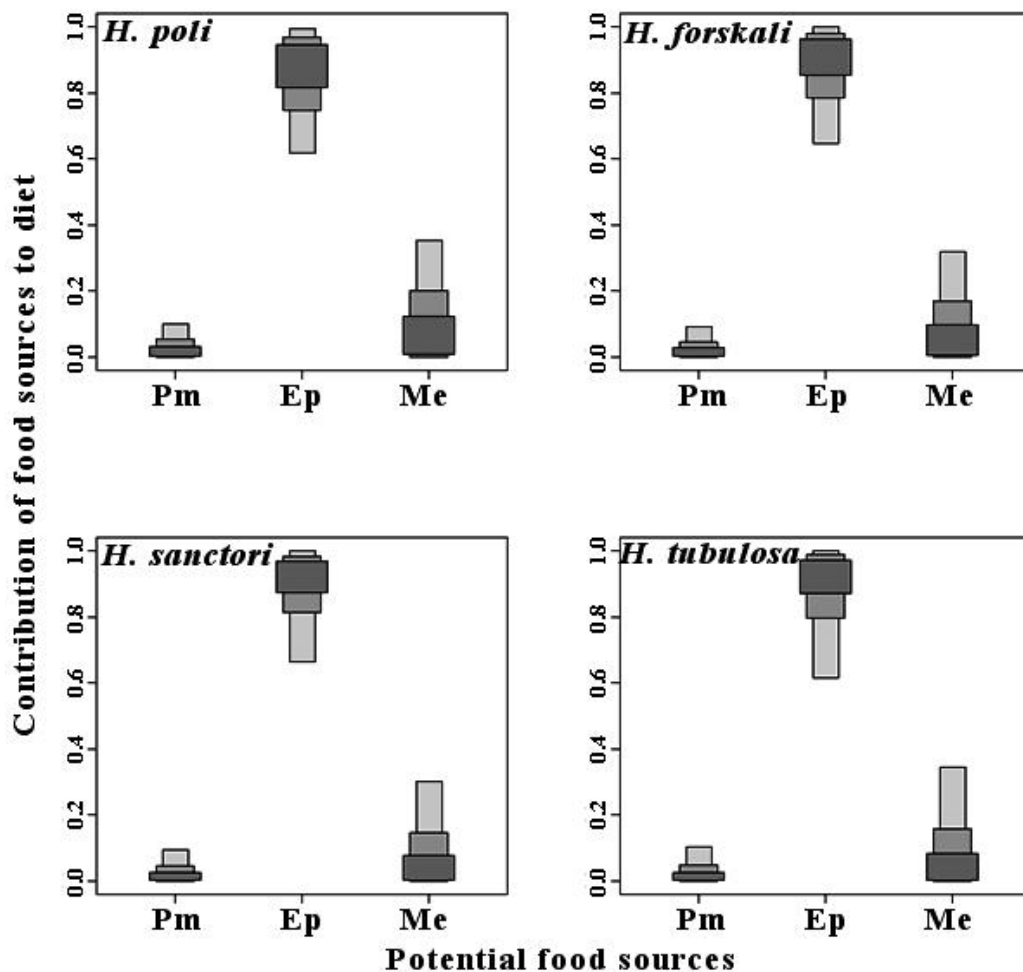


Figure 52 : Boxplots des contributions des potentielles sources de nourritures [Feuilles mortes de posidonies (Pm), épiphytes de posidonies (Ep) et meiofaune (Me)] des holothuries du site de Salamandre, effectué par le modèle de mélange SIAR. Gris foncé, moyen et claire des boxplots sont respectivement 50%, 75% et 95% des intervalles de crédibilité.

I.3.2.2. Caractéristiques des niches isotopiques

Au niveau du site de Stidia, c'est *H. forskali* qui occupe la plus large niche isotopique ($SEAc : 2.56 \text{‰}^2$), suivie par *H. sanctori*, *H. poli* et *H. tubulosa* (avec $SEAc : 1.11\text{‰}^2$, 1.05‰^2 et 0.73‰^2 respectivement) (Fig. 53A1). Un recouvrement entre les niches isotopiques est observé entre toutes les espèces (Fig. 53A1). Le plus important recouvrement est celui entre *H. poli* et *H. forskali* (6.18‰^2 , i.e. 6.34% du $SEAc$ de *H. poli* et 15.33% du $SEAc$ de *H. forskali*) ; tandis que le recouvrement le moins important est observé entre *H. poli* et *H. tubulosa* (2.59‰^2 , i.e. 6.34% du

³ Cette partie à fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

SEAc de *H. poli* et 4.40% du SEAc de *H. tubulosa*) (Fig. 53A1). A travers la comparaison deux à deux du model d'estimation des airs des ellipses (SEAb), on constate que la largeur de la niche isotopique de *H. poli* est moins importante que celle de *H. forskali* dans 98% de l'estimation du model (Fig. 53A2). L'air des ellipses standard (SEAb) des autres espèces d'holothuries prise deux à deux, ne présente pas de différence significative du moment que les probabilités de différences sont inférieurs à 95%.

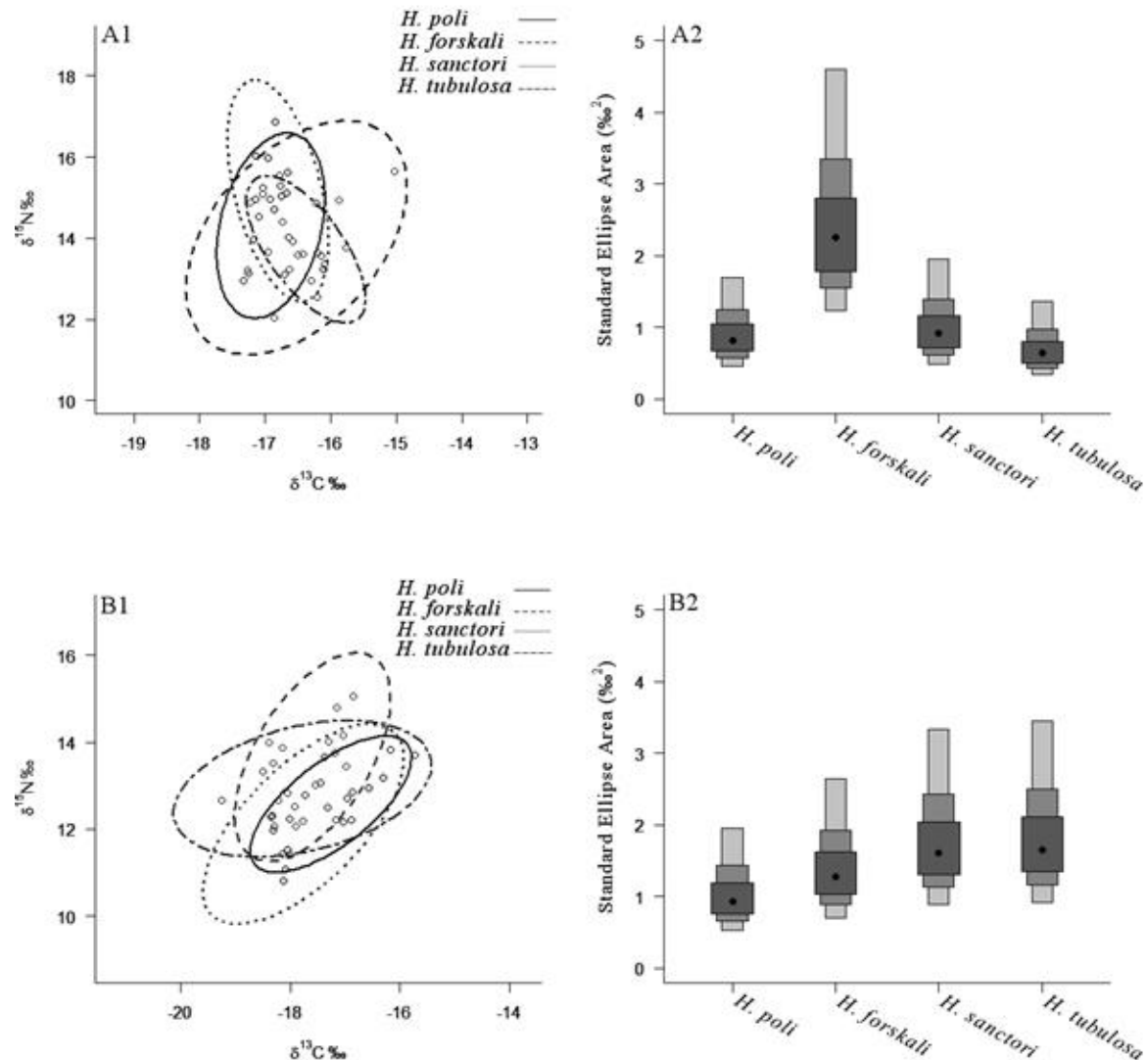


Figure 53 : Niches isotopiques des quatre holothurides des sites de Stidia (A1) et de Salamandre (B1). Les lignes représentent les ellipses standards bivariées associées à chaque espèce d'holothurie. Boxplots du model d'estimation des standard ellipses bivariées (SEAb). Gris foncé, moyen et claire des boxplots sont respectivement 50%, 75% et 95% des intervalles de crédibilité de la probabilité des solutions du model, le point noir représente le mode de la distribution à Stidia (A2) et à Salamandre (B2).

³ Cette partie à fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

A Salamandre, *H. tubulosa* occupe la plus large niche isotopique ($SEA_c : 2.03 \text{ ‰}^2$), suivie par *H. sanctori*, *H. forskali* et *H. poli* (avec $SEA_c : 1.86 \text{ ‰}^2$, 1.66 ‰^2 et 0.98 ‰^2 respectivement) (Fig. 53B1). C'est entre *H. sanctori* et *H. tubulosa* que le taux de recouvrement de la niche isotopique est le plus important (7.57 ‰^2 , i.e. 11.15% du SEA_c de *H. sanctori* et 12.15% du SEA_c de *H. tubulosa*) ; tandis que le moins important recouvrement est observé entre *H. poli* et *H. forskali* (3.81 ‰^2 , i.e. 5.92% du SEA_c de *H. poli* et 9.95% du SEA_c de *H. forskali*) (Fig. 53B1). A travers la comparaison deux à deux du modèle d'estimation des aires des ellipses (SEA_b), on constate que l'aire des ellipses standard (SEA_b) des espèces d'holothuries prise deux à deux, ne présente pas de différence significative (Fig. 53B2).

II. Discussion

II.1. Floraison et fructification de posidonie¹

Les inflorescences du 06 novembre 2017 sont toutes détachées de leurs rhizomes, ce qui nous a empêchés de faire une description du rhizome portant la hampe florale. A titre comparatif, Panayotidis et Liapi, (1990), avaient obtenus des longueurs de la hampe florale nettement plus importantes (147.2mm ; 156.1mm) au golfe de Saronikos (Grèce) en Novembre 1985, à partir d'inflorescence provenant d'un herbier situé à -5m de profondeur. Cette différence est probablement due au fait que les échantillons de ces auteurs sont prélevés avec leurs faisceaux (hampe floral entière), tandis que les notre sont trouvées en épave avec seulement une partie de leurs hampe florale.

Le nombre d'épillets que nous avons obtenus sur les inflorescences du 06 novembre 2017, sont similaires à ceux décrites par Panayotidis et Liapi, (1990). Par contre, ce nombre est supérieur à celui obtenu par Hamza et Bradai, (1994) au golfe de Gabes-Tunisie (3 épillets par inflorescence) et par Dural, (2010) dans la baie de Sigacik-Turquie (nombre d'épillets par inflorescence compris entre 1 et 3) ; mais ce dernier auteur avait signalé que la majorité de ces inflorescences portaient deux épillets. La longueur des axes des épillets de nos inflorescences est presque similaire à celle obtenue par Panayotidis et Liapi, (1990) (entre 19mm et 28.8mm) ; par contre, celles obtenues par Hamza et Bradai, (1994) (entre 18mm et 24mm) sont inférieures aux nôtres. Les résultats obtenus pour la longueur moyenne des deux bractées sont proches de ceux obtenus par Panayotidis et Liapi, (1990).

Le nombre de fleurs par épillet et celui des fleurs hermaphrodites obtenus par Hamza et Bradai, (1994) (jusqu'à 4 fleurs par épillet dont 2 fleurs hermaphrodites par épillet), sont supérieurs aux nôtres. Il est à noter que ces derniers auteurs avaient présenté des données obtenus après analyse

¹ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Vie & Milieu.

d'une seule inflorescence par site et non pas des moyennes. Le nombre moyen de fleurs hermaphrodites que nous avons obtenu est très proche à celui obtenu par Caye et Meinesz, (1984) (2.2 sur le premier épillet, 0.9 sur le deuxième, 1.5 sur le troisième et 1.9 sur le quatrième épillet). Pour la même période de l'année (novembre), Panayotidis et Liapi, (1990) avaient obtenus des valeurs plus importantes des pourcentages de présence du deuxième et troisième épillet par inflorescence (100% chacun). Par contre, le pourcentage de présence du quatrième épillet (9%) obtenu par ces auteurs était nettement moins important que celui obtenu dans cette étude. Les résultats pour le nombre d'épillet par inflorescence et le nombre de fleurs par épillet, sont proche de ceux obtenu par Den Hartog, (1970) (1 à 4 épillets par inflorescence, 3 à 5 fleurs par épillet).

Les caractéristiques des rhizomes portant la hampe florale récoltés le 08 Janvier 2018, sont similaires à celles obtenues par Panayotidis et Liapi, (1990) au golfe de Saronikos (Grèce). On se référant à Boudouresque et Thelin, (1985), les fruits de posidonies sont 50% très jeunes et 50% jeune. Les longueurs des fruits obtenus lors de ce travail sont inférieures à celles obtenues par Hamza et Bradai, (1994) dans le golfe de Gabes (Tunisie) en hiver ; cette différence pourrait être due à la saison de récolte qui est différente.

II.2. Comportement et régime alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de Posidonies étudiés

II.2.1. Analyse du taux de la matière organique

Pour le site de Stidia, tout comme pour celui de Salamandre, le taux de la matière organique au niveau du premier tronçon (Forgut) du tube digestif, présente des différences entre les quatre espèces d'holothuries étudiées (Fig. 24 ; Tab. 8). A Stidia, ce sont les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* qui présentent les plus importantes valeurs, alors que *H. poli* présente les plus basses valeurs. A Salamandre, l'espèce *H. forskali* se distingue également des autres holothuries, avec le plus important taux de matière organique, au niveau du Forgut, contrairement à *H. poli* et *H. tubulosa* qui se distinguent avec les plus faibles valeurs de matière organique au niveau de ce même tronçon du tube digestif (Fig. 25 ; Tab. 9). Les biotopes au niveau desquels vivent ces espèces d'holothuries, en sont probablement à l'origine de cette disparité. Effectivement, lors des nombreuses plongées effectuées tout au long de la période de prélèvements, on a pu constater que ces animaux benthiques peuvent occuper des micro-habitats spécifiques. *Holothuria poli* préfèrent essentiellement les étendues détritiques influencés par l'hydrodynamisme, favorisant la dispersion des aliments ; par conséquent, l'accumulation de la matière organique ne se fait pas de manière importante. D'autre part, *H. forskali* et *H. sanctori* se trouvent fixé sous les blocs ou sur les parois rocheuses et peuvent même occupées les fonds rocheux riches en espèces végétales, tout près des herbiers de posidonies. Ces biotopes réduisent l'hydrodynamisme et par conséquent favorisent

l'accumulation et le piégeage de la matière organique, permettant ainsi aux deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* d'accumulées un important taux de matière organique contrairement aux deux autres espèces *H. poli* et *H. tubulosa*. Il est également à signaler que l'espèce *H. forskali* a été très fréquemment observés au sein des herbiers de posidonies des deux sites de Stidia et de Salamandre ; ces herbiers favorisent également la rétention et le cumule de la matière (Boudouresque et Jeudy De Grissac, 1983). A partir de là, on estime que ce biotope offre un maximum de nourriture à *H. forskali*, ce qui lui a permis d'accumulée le plus important taux de matière organique au niveau du premier tronçon de son tube digestif.

La distribution des holothuries étudiées lors de ce travail, n'est pas exactement la même observée par d'autres auteurs. Francour, (1990) et Mezali, (2004) constatent que *Holothuria poli* fréquente les fonds détritiques, les intermattes des herbiers de posidonie, ainsi que les herbiers clairsemés de posidonie et que *Holothuria tubulosa* se retrouve beaucoup plus près des fonds rocheux, au sein des herbiers denses de posidonies, ainsi qu'au niveau de leurs intermattes. A l'opposé, les espèces *Holothuria sanctori* et *Holothuria forskali* sont toutes les deux des espèces cryptiques qui se retrouvent sur le substrat dur, sous les rochers, dans l'herbier de posidonies, ainsi qu'au niveau des tombants de mattes de ce dernier (Mezali, 2004). On estime que cette différence de micro-répartitions des holothuries est due à la nature même des herbiers de posidonies. En effet, les herbiers de Stidia et de Salamandre sont des herbiers installés sur roche, alors que ceux au niveau desquels Francour, (1990) et Mezali, (2004) ont effectué leurs études [à Port-Cros (France) et Sidi Fredj (Algérie) respectivement], sont des herbiers sur matte. Cependant, lors d'un autre travail effectué au niveau du même herbier de posidonies de la zone de Sidi Fredj et ceci malgré la différence de la nature de l'herbier avec ceux deux sites étudiés lors de ce travail ; Mezali *et al.*, (2003) constatent également que *H. forskali* est l'une des espèces qui accumule le plus de matière organique au niveau du Forgut (21.52 %) et que *H. poli* est celle qui accumule le moins (8.64 %).

Le taux de la matière organique au niveau du premier tronçon du tube digestif, chez l'ensemble des holothuries étudiées du site de Stidia, présente les plus importantes valeurs en printemps (Fig. 24 ; Tab. 8). Le microphytobenthos constitue l'une des plus importantes sources de nourriture pour la macrofaune benthique (Plante *et al.*, 1986), notamment pour les holothuries (Uthicke et Klumpp, 1998). C'est durant cette période printanière que la biomasse de ce microphytobenthos présente le plus important taux, ce qui constitue une source intéressante de matière organique ; favorisant ainsi son accumulation au sein du Forgut des holothuries. D'autre part, les plus faibles valeurs de matière organique au niveau du Forgut des holothuries du site de Stidia, sont obtenues en automne et en été (Fig. 25 ; Tab. 9). Par contre, à Salamandre, le taux de la matière organique

du premier tronçon du tube digestif ne présente aucune différence en fonction des saisons, ce qui est probablement dû à la nature même du site. Ce dernier est caractérisé par un apport d'effluents urbain de manière continue, ce qui favorise un enrichissement en matière organique tout au long de l'année, offrant ainsi une importante source de nourriture pour holothuries.

Chez la majorité des espèces d'holothuries étudiées des deux sites de Stidia et de Salamandre, le taux de la matière organique, retrouvé dans le sédiment du premier tronçon de leurs contenus digestifs, est élevé par rapport à celui retrouvé dans le sédiment de leurs biotopes (Fig. 24 et 25 ; Tab. 8 et 9). Cela pourrait être le résultat d'une certaine sélectivité envers la matière organique. En effet, le caractère sélectif des holothuries pour la matière organique a été déjà signalé dans la littérature (Mezali, 2004 et 2008 ; Mezali et Soualili, 2013 ; Belbachir *et al.*, 2014).

Pendant les quatre saisons d'études, la majorité des espèces d'holothuries étudiées au niveau des deux sites de Stidia et de Salamandre ; présentent une décroissance du taux de la matière organique, au fur et à mesure que l'on avance tout au long des trois tronçons de leurs tubes digestifs. Des résultats similaires ont été obtenus chez *H. tubulosa*, prélevée à partir des herbiers de Posidonies de la baie de Villefranche-sur-Mer (France), à 6m de profondeur (Massin, 1980). Ginger *et al.*, (2001) avaient obtenus une décroissance du carbone organique total, tout au long des différentes sections du tube digestif des espèces *Oneirophanta mutabilis* et *Molpadia blakei*, prélevées de la plaine abyssal de Porcupine (Atlantique Nord), à 4850m. Les Protéines qui constituent une importante fraction organique, suit également la même évolution dans le tube digestif de l'espèce *Molpadia musculus*, prélevée du canyon de Nazaré (Portugal) à 3500m (Amaro *et al.*, 2010). Cette évolution de la matière organique peut être expliquée par le fait que celle-ci est progressivement absorbée le long du tractus digestif des holothuries (Massin, 1980).

Chez une certaine partie des holothuries des deux sites étudiées (43.75% à Stidia et 68.75% à Salamandre), le taux de la matière organique des fèces, présente des valeurs plus importantes par rapport à celle des sédiments environnants (Fig. 24 et 25 ; Tab. 8 et 9). Des résultats similaires ont été également observés chez les espèces *H. tubulosa*, *H. poli* et *H. sanctori*, prélevées à partir de différents sites de la mer Méditerranée (Massin, 1980 ; Belbachir *et al.*, 2014). Après expulsion, les pelotes fécales permettent la libération de la matière organique dissoute (Jumar *et al.*, 1989 ; UrbanRich, 1999 ; Wotton et Malmqvist, 2001), ce qui les rendent attractives pour les microorganismes, qui vont à leur tour rapidement colonisé cette matière fécale (Yoon *et al.*, 1996). Etant riche en matière organique, les fèces constituent une importante source de nourriture pour les communautés microbiennes, tel que les bactéries et certains protozoaires (Pomeroy et Deibel, 1980 ; Peduzzi et Herndl, 1986 ; González et Biddanda, 1990 ; Yoon *et al.*, 1996 ; Povero

et al., 2003 ; Thor *et al.*, 2003). A leurs tour, les microorganismes accélèrent la dégradation de la matière fécale et le recyclage des nutriments (Johannes et Satomi, 1966 ; González et Biddanda, 1990 ; Fabiano *et al.*, 1994 ; UrbanRich, 1999 ; Thor *et al.*, 2003). Les fèces permettent également un enrichissement en matière organique du substrat et le rend beaucoup plus attrayant pour d'autres organismes dépositives (Amons et Herndl, 1991), ou coprophages tel que la meiofaune ou même certaines espèces d'holothuries (Sloan et Von Bodungen, 1980 ; Khripounoff et Sibuet, 1980 ; Rothans et Miller, 1991). Les fèces de l'espèce *H. sanctori* du site de Stidia et celles de l'espèce *H. forskali* du site de Salamandre, sont les plus riches en matière organique. Il est très probable que la croissance des microorganismes sur leurs fèces se fait de manière rapide, ce qui facilitera la désintégration de ces fèces et par conséquent permettra un meilleur recyclage de la matière organique.

Par ailleurs, cette richesse en matière organique des fèces expulsées par les holothuries étudiées, peut être abordée sous un autre angle. Notre hypothèse est que ces holothuries enrichissent le sédiment environnant par des fèces à teneurs élevées en matière organique, afin d'y stimuler une croissance de microorganismes digestibles, qui vont à leurs tour être consommées par ces mêmes holothuries. Cette hypothèse se base sur le concept du "Gardening" (Hylleberg, 1975). Après une étude réalisée sur *Abarenicola pacifica*, cet auteur estime que les teneurs élevées en nutriments, provenant des excréments de ce ver marin, ont stimulé une croissance bactérienne. Cette augmentation de la biomasse bactérienne a ensuite attiré un grand nombre de nématodes, de flagellés et de ciliés, qui ont été consommés et digérés par ce ver marin. Ce concept peut également expliquer la tendance de certaines holothuries à consommer leurs fèces (Khripounoff et Sibuet, 1980).

II.2.2. Analyse du taux d'assimilation

Le changement de température en fonction des saisons, influence la croissance des organismes vivants ; ce qui implique un changement qualitatif des préférences alimentaires chez ces organismes, afin d'équilibrer leurs besoins en termes de survie, vitesse de croissance, maturité et longévité (Tararam *et al.*, 1990). Il est également clair que chaque type d'aliment se démarque par sa qualité nutritionnelle et énergétique, ainsi que par sa digestibilité ; conduisant ainsi à une disparité dans le taux d'assimilation de chaque ressource alimentaire. A partir de là, on estime que c'est probablement la qualité de la ressource alimentaire qui a conduit les holothuries du site de Stidia à optimiser leurs assimilation en période printanière. Cela dit, une optimisation de l'assimilation de l'aliment à partir des ressources disponibles, constitue l'une des stratégies adaptatives face à une faible disponibilité en aliments (François, 2015). Sachant que les holothuries ont une préférence pour le matériel détritique (Moriarty, 1982), le printemps durant

lequel l'aliment est fraîchement mis à disposition, correspond à la période où les holothuries doivent optimiser leurs assimilations ; c'est sans doute ce qui explique les résultats obtenus pour le site de Stidia.

L'important taux d'assimilation chez les holothuries étudiées lors de la saison printanière, peut être interprété autrement. Certaines espèces d'holothuries tel que *H. sanctori*, accumulent un maximum de matière organique durant les premiers stades de développement des gonades, qui a lieu généralement en printemps (Navarro *et al.*, 2012 ; Mezali *et al.*, 2014) ; lors de cette période, les holothuries maximisent leurs assimilations, afin de subvenir aux besoins énergétiques nécessaires à cette période.

Le taux d'assimilation obtenu chez les holothuries étudiées lors de ce travail, est relativement proche à celui obtenu par Yingt, (1976) chez l'espèce *Parasrichopus parvimensis* (22.91%). Par contre, des taux d'assimilation nettement supérieurs ont été obtenus pour différentes fractions de la matière organique ; notamment, de 15 à 46% pour le carbone organique total et de 11 à 53% pour l'azote organique total, chez quatre espèces d'holothuries abyssales (Ginger *et al.*, 2001).

III.2.3. Régime alimentaire des holothuries aspidochirotés inféodés aux herbiers de posidonies des sites étudiés²

III.2.3.1. Analyse des contenus digestifs des holothuries

Les sources trophiques des holothuries aspidochirotés étudiées sont assez diversifiées ; le régime alimentaire de chacune des quatre espèces étudiées est très flexible en fonction des quatre saisons d'étude. Les diatomées constituent la ressource alimentaire la plus consommée par l'ensemble des holothuries des deux sites. L'utilisation des diatomées comme source de nourriture par les holothuries est signalée par plusieurs auteurs (Khrpounoff et Sibuet, 1980 ; Sonnenholzner, 2003 ; Yokoyama, 2013 ; Xie *et al.*, 2017) ; cette ressource est considérée comme un élément essentiel de l'alimentation des holothuries, plus particulièrement au cours de leurs premiers stades de vie (Shi *et al.*, 2013 ; 2015). Il a même été démontré que les diatomées appartenant au genre *Navicula*, pourraient améliorer les performances de croissance et l'activité des enzymes digestifs chez l'holothurie *Apostichopus japonicus* (Selenka) (Xie *et al.*, 2017). Cependant, l'indice d'Ivlev révèle que cet aliment est rejeté par la majorité des holothuries, ce qui est probablement dû à sa forte disponibilité dans le milieu. Les éléments nutritifs provenant des engrais utilisés dans la zone agricole limitrophe au site de Stidia, ainsi que ceux provenant des eaux usées du site de Salamandre ; pourrait être à l'origine des fortes concentrations des diatomées. Par ailleurs, il est

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

fort probable que les diatomées retrouvées dans les contenus digestifs des holothuries étudiées, soient des diatomées épiphytes des feuilles de posidonies ; du moment que plusieurs diatomées benthiques pennées appartenant aux genres *Amphora*, *Cocconeis*, *Diploneis* et *Navicula* prolifèrent sur les feuilles de posidonies (Mazzella, 1983 ; Mazzella et Spinoccia, 1992 ; Mazzella *et al.*, 1994 ; Majewska *et al.*, 2014). Les cyanophycées sont également très consommées par l'ensemble des holothuries des deux sites d'étude. Néanmoins, elles ne sont bien appréciées que par les espèces d'holothuries du site de Stidia, ceci durant la saison estivale. On estime que la forte présence des cyanophycées dans les tubes digestifs des holothuries, n'est qu'un artefact liée à la forte disponibilité de ces organismes. Les cyanophycées pourraient également provenir des feuilles de posidonies, du moment que certaines espèces d'entre elles font partie de la communauté épiphytes des feuilles de cette magnoliophyte marine (Ruocco *et al.*, 2018).

Les algues semblent être l'un des aliments les plus appréciés par l'ensemble des holothuries des deux sites. Ce sont les deux espèces *H. sanctori* et *H. forskali* qui montrent le plus de préférence pour cette ressource alimentaire, particulièrement en automne et en été. La nature du biotope au niveau duquel vivent ces deux espèces d'holothuries, pourrait expliquer cette tendance à consommer de manière préférentielle les algues. En effet, *H. sanctori* et *H. forskali* fréquentent beaucoup plus les fonds rocheux riche en espèces algales, offrant ainsi à ces deux espèces d'holothuries une ressource alimentaire assez importante. Par ailleurs, on estime que la consommation d'algues par les holothuries détritivores étudiées lors de ce travail, serait également due à la qualité nutritionnelle de ces algues. Effectivement, les détritits d'algues sont connus pour être riche en azote et en composés organiques solubles (Tenor et Rice, 1980), ce qui permet aux holothuries d'acquérir un aliment d'une qualité nutritionnelle assez importante. Il est également intéressant de signaler que les détritits d'algues fraîchement déposées sur le fond, sont facilement et rapidement lixiviées, par rapport à d'autres végétaux tels que les magnoliophyte marines (Tenore et Rice, 1980). Cette lixiviation permet une meilleure dégradation microbienne des détritits d'algues, ce qui facilitera par la suite son assimilation par d'autres consommateurs (Tenore, 1977 ; Tenore et Hanson, 1980), tels que les holothuries. Les plus importantes valeurs de l'indice d'électivité pour les algues, ont été obtenues en saison automnale ; durant laquelle, une grande quantité de litière est accumulée (Remy, 2016).

Globalement, les feuilles de posidonies (morte et vivante) n'occupent qu'une faible place dans les contenus digestifs de l'ensemble des holothuries étudiées. La plus importante proportion de feuilles de posidonies morte est obtenue chez *H. forskali* du site de Stidia (14%, en hiver), alors

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue *Bêche de Mer*, l'autre soumis à la revue *Acta Adriatica*.

celle des feuilles de posidonies vivante est obtenue chez *H. poli* du site de Salamandre (8.66%, en hiver). Ce résultat ne reflète pas l'intérêt que portent ces holothuries pour les feuilles de posidonies, à partir du moment que l'indice d'Ivlev indique clairement une préférence pour cette magnoliophyte marine, ceci au niveau des deux sites de Stidia et de Salamandre. Le plus intéressant est que ces holothuries montrent une préférence même pour les feuilles de posidonies vivantes, lesquelles sont habituellement évitées par d'autres organismes. Les données de la littérature indiquent que le tissu vivant de posidonies, comme ceux des autres magnoliophytes marines, sont peu utilisés par les herbivores, principalement en raison de leurs faibles valeurs nutritives et de leurs teneurs élevées en lignocellulose, ce qui se traduit par une diminution de leurs digestibilités (Ott et Maurer, 1977 ; Klumpp et Nichols, 1983 ; Read et Stokes, 2006). Par conséquent, peu de consommateurs sont capable d'exploiter les feuilles photosynthétiques de *Posidonia oceanica* (Mazzella *et al.*, 1992 ; Prado *et al.*, 2007). Les feuilles de posidonies mortes sont également consommées de manière préférentielle par les holothuries des deux sites ; ceci peut avoir un impact important sur le transfert de la production primaire issue des posidonies. En effet, La litière qui est principalement composée de feuilles mortes de posidonies, constitue une importante source de matière organique pour les communautés de détritivores vivant dans les herbiers (Walker *et al.*, 2001 ; Remy *et al.*, 2018) ; c'est même la principale voie qui peut lier *Posidonia oceanica* aux différents réseaux trophique côtiers Méditerranéens (Cebrian *et al.*, 1997 ; Cebrian et Duarte, 2001 ; Heck *et al.*, 2008 ; Boudouresque *et al.*, 2015).

La consommation des feuilles de posidonies, a donné lieu à plusieurs interprétations : D'une part, des études expérimentales ont démontré que certains détritivores se nourrissent de microfaune et de meiofaune associée aux détritrus, plutôt que de se nourrir directement sur des tissus végétaux à faible valeur nutritionnelle, afin de satisfaire au mieux leurs besoins en énergie (Tenore *et al.*, 1984 ; Coull, 1990 ; Lepoint *et al.*, 2006). De même, la cible de certains consommateurs de feuilles de posidonies, serai les épiphytes plutôt que les feuilles (Verlaque, 1981 ; Gambi *et al.*, 1992). D'ailleurs, les résultats du model de mélange (SIAR), obtenus dans le présent travail (Fig. 51 et 52), démontre clairement que les épiphytes sont plus consommés par les holothuries, que les feuilles de posidonies ; ce qui rejoint l'idée de Gambi *et al.*, (1992). D'autre part, après une analyse des contenus digestifs des deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* ; Traer, (1979) estime qu'une partie des morceaux de feuilles de posidonies retrouvées dans les tubes digestifs de ces animaux marins, pourraient provenir des pelotes fécales de l'oursin *Paracentrotus lividus*, qui ont été consommées par les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa*.

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

Dans l'ensemble, la contribution des feuilles de posidonies (morte et vivante) dans le régime alimentaire des holothuries étudiées lors de ce travail, est faible par rapport à celles obtenues par Verlaque, (1981). Ce dernier avait obtenu des proportions de feuilles de posidonies à différents stades de dégradations, allant de 20% chez *H. sanctori* à 95% chez *H. poli*. Les feuilles de posidonies mortes peuvent représentées jusqu'à 73.4% du contenu digestif de l'amphipode *Gammarus aequicauda* et jusqu'à 58.2% du contenu digestif de l'isopode *Idotea balthica* (Remy, 2016). Par ailleurs, nos résultats sont très proches de ceux obtenues par Michel *et al.*, (2015), ayant travaillé sur quelques amphipodes détritivores des herbiers de posidonies (1.9% de feuilles de posidonies mortes chez *Gammarella fucicola*, 2.9% chez *Dexamine spiniventris* et 3.9% chez *Gammarus aequicauda*).

En ce qui concerne la fraction animale, nos résultats montrent d'importantes proportions de foraminifères dans les contenus digestifs de la plupart des holothuries, plus particulièrement chez les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa*. Bakus, (1973) considère les foraminifères comme l'une des sources principales de nourriture pour les holothuries. D'autre part, les spicules d'éponges sont également consommés de manière considérable, ceci durant la saison estivale et celle hivernale. L'espèce *H. sanctori* est celle qui préfère le plus cette ressource alimentaire. Les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* sont celles qui présentent le plus de préférence pour les crustacées ; ces derniers sont majoritairement représenté par certaines espèces de copépodes. Les plus importantes proportions de cet aliment sont obtenues en printemps et en automne, chez *H. forskali* et *H. sanctori*. Il est très probable que ces deux espèces d'holothuries, profitent du maximum d'abondance des crustacées pour s'y alimenter. Par ailleurs, les nématodes et les coquilles de mollusques bivalves constituent des ressources alimentaires qui sont très peu consommés par l'ensemble des holothuries des deux sites. On estime que ces types d'aliments sont ingérés de manière accidentelle ; du moins pour les coquilles de mollusques bivalves, puisque *H. poli* présente parfois une grande préférence pour les nématodes. Globalement, les résultats obtenus pour les ressources alimentaires appartenant à la fraction animale, corroborent celles obtenus par Khripounoff et Sibuet, (1980) et celles de Sonnenholzner, (2003).

A Stidia, l'analyse statistique (PERMANOVA et NMDS), nous a permis de distinguer trois espèces, très proches en termes de régime alimentaire, à savoir *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. tubulosa*. La fraction végétale consommée par ces trois espèces pourrait être à l'origine de ce résultat. D'autre part, en se basant sur le fait que la taille de chaque ellipse du NMDS, soit directement liée à la dissimilarité du régime alimentaire entre les individus d'une espèce donnée ;

² Cette partie a fait l'objet de deux articles scientifiques, l'un publié dans la revue Bêche de Mer, l'autre soumis à la revue Acta Adriatica.

on estime qu'il est très probable que *H. forskali*, *H. sanctori* et *H. tubulosa* soient des espèces généralistes et opportunistes. Par contre, les holothuries du site de Salamandre forment deux groupes d'espèces en termes de régime alimentaire : le premier groupe est formé par *H. poli* et *H. tubulosa*, les foraminifères et les spicules d'éponges peuvent être les aliments en commun entre ces deux espèces ; tandis que *H. sanctori* et *H. forskali* forment le deuxième groupe, ces deux espèces optent beaucoup plus pour la fraction végétale dans leurs alimentations. Les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa* semble être plus généralistes que *H. sanctori* et *H. forskali*. Toutefois, que ce soit à Stidia ou à Salamandre, les holothuries se basent sur les mêmes ressources trophiques, seulement la contribution de chaque ressource diffère d'une espèce à l'autre.

Les résultats de l'indice de Schoener pour les deux sites d'étude, nous montre qu'il existe des chevauchements entre les niches trophiques de certaines espèces d'holothuries, ce qui conforte les résultats du NMDS. En effet, il existe certaines sources trophiques qui sont utilisées par l'ensemble des holothuries, mais le comportement sélectif observé chez ces espèces peut favoriser une bonne partition de ces ressources alimentaires. Les holothuries étudiées lors de ce travail occupent différents biotopes ; *H. poli* et *H. tubulosa* préfèrent essentiellement les fonds détritiques, près des herbiers de posidonie. *Holothuria tubulosa* peut être également retrouvée au sein des herbiers sur roche. D'autre part, les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori* se trouvent fixer sous les roches et sur les fonds rocheux riches en espèces végétales, tout près des herbiers de posidonie. *Holothuria forskali* est également assez fréquente au sein des herbiers sur roche de posidonie. Cette répartition hétérogène des holothuries au sein des différents biotopes, est une forme de ségrégation spatiale qui favorise également une bonne partition des ressources trophiques et de ce fait, permet à ces espèces d'holothuries de coexister dans une même zone.

III.2.3.2. Analyse isotopique des holothuries et de leurs sources de nourriture³

les potentielles sources trophiques utilisées par les holothuries des deux sites étudiées, sont plus enrichies en $\delta^{15}\text{N}$ comparé à d'autres sites considérés comme mieux préservés (Lepoint *et al.*, 2000). le site de Stidia est limitrophe d'une zone agricole ; la nitrification et la dénitrification succédant l'application des fertilisants sur ces terres agricoles, peuvent augmenter le $\delta^{15}\text{N}$, ce qui peut être acheminé au milieu marin (Finlay et Kendall, 2007) et influencer les $\delta^{15}\text{N}$ des producteurs primaires (Cole *et al.*, 2005). La classification de Pergent *et al.*, (1995) qui intègre le facteur profondeur dans l'estimation de l'état des herbiers de posidonies, indique que l'herbier de Stidia est anormal (Belbachir, 2012). Les eaux usées et les déversements d'égouts au niveau du site de Salamandre, pourraient également avoir un impact sur le $\delta^{15}\text{N}$ des producteurs primaires

³ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

(Vermeulen *et al.*, 2011) y compris des posidonies (Lassauque *et al.*, 2010). Nos résultats indiquent donc que les deux sites sont en fait influencés par l'activité humaine, même si le site de *Stidia* reste relativement mieux préservé que le site de Salamandre.

Notre approche par le modèle de mélange montre que les holothuries échantillonnées assimilent peu de carbone issu des posidonies. Les feuilles morte de posidonies est une importante source de matière organique pour les communautés de détritivores vivant dans les herbiers (Walker *et al.*, 2001), y compris les holothuries (Lepoint *et al.*, 2000), mais paradoxalement cette source n'est que très peu consommée par les holothuries des deux sites étudiés. Ce résultat peut s'expliquer de deux façons : premièrement les herbiers échantillonnés sont particuliers puisqu'ils se développent sur substrat rocheux alors que, par exemple, les herbiers échantillonnés par Lepoint *et al.*, (2000) se développent sur substrat sableux. Ceci est susceptible d'affecter la quantité de sédiment et de matière organique issue des posidonies disponible pour les holothuries. D'autre part, l'un des herbiers au moins est très dégradé et la contribution des posidonies au matériel sédimentaire y est probablement moindre. Deuxièmement, les tissus employés dans notre étude (i.e. muscles rétracteurs) sont différents des tissus employés généralement (i.e. tégument). Ceci semble approprié dans la mesure où les tissus musculaires ne contiennent pas de carbonate contrairement au tégument qui est généralement difficilement décalcifiable et broyable. Cette différence de tissu implique une différence de composition biochimique mais aussi de temps de renouvellement. Nos résultats démontrent que dans les quelques mois précédents le prélèvement la contribution des posidonies au régime alimentaire était limitée.

D'après notre modèle, les épiphytes de posidonies constituent la source trophique la plus consommée par l'ensemble des holothuries des deux sites étudiés. D'une part, les épiphytes de posidonie constituent un aliment de choix pour d'autres détritivores des herbiers de posidonie tel que l'amphipode *Gammarella fusicola* (Michel *et al.*, 2015) ; c'est la source principale de matière organique à la base du réseau trophique des herbiers tropicaux (Connolly *et al.*, 2005) et tempérés (Lepoint *et al.*, 2000). Divers espèces animales les consomment pour leurs meilleures qualités nutritionnelles et leurs palatabilité (Lepoint *et al.*, 2000). Cependant, le résultat du modèle de mélange est à prendre avec précaution du moment que certaines sources de nourriture ne sont pas prise en compte, tel que les algues épiphytes et la matière particulaire en suspension. Néanmoins, toutes ces sources sont moins enrichies en $\delta^{13}\text{C}$ que les posidonies, ce qui ne remet pas en question notre conclusion concernant la faible contribution des posidonies sous forme détritique au régime alimentaire.

³ Cette partie à fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

Les valeurs du $\delta^{15}\text{N}$ chez les holothuries de Stidia sont supérieures que celles du site de salamandre ; ce qui pourrait laisser supposer que les sources utilisées à Stidia appartiennent à des niveaux trophiques supérieurs. Cependant, dans notre cas, on estime que les apports anthropiques auraient influencé la ligne de base isotopique. En effet, la composition isotopique en azote des producteurs primaires reflète ceux des sources externes (Fry, 2006) y compris en cas d'apports anthropiques (Lassauque *et al.*, 2010 ; Vermeulen *et al.*, 2011). Les valeurs élevées du $\delta^{15}\text{N}$ chez les holothuries de Stidia par rapport à celles de salamandre, peuvent être expliquées par la nature des herbiers de posidonies. En effet, les herbiers continus favorisent une importante accumulation de matériels détritiques, par rapport aux ceux hétérogène (ou en taches), ce qui augmente la disponibilité en nutriments après une éventuelle minéralisation de ces détritiques (Ricart *et al.*, 2015). Ces derniers auteurs rapportent même que les feuilles de posidonie des herbiers continus (tel que celui de Stidia), sont plus riches en nutriments (notamment en azote), que les feuilles des herbiers hétérogènes (tel que celui de Salamandre). Les holothuries du site de Stidia sont plus enrichies en ^{13}C par rapport à ceux du site de salamandre ; ce qui laisse supposer qu'elles utilisent différentes sources de carbone (i.e. une plus grande proportion de phanérogames marines). Néanmoins, nos résultats du modèle de mélange ne parviennent pas à mettre ceci en évidence.

Selon Nadon et Himmelman (2006), la sélection de particules organiques par les organismes benthiques est un mécanisme répandu qui pourrait expliquer le taux élevé de $\delta^{13}\text{C}$ chez les consommateurs. En effet, les holothuries aspidochirotés ont une certaine capacité de sélection vis-à-vis de la matière organique (Billett, 1991 ; Mezali et Soualili, 2013 ; Belbachir *et al.*, 2014). Par ailleurs, les holothuries étudiées présentent des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ supérieures à celles obtenues par Lepoint *et al.*, (2000), chez *h. tubulosa* de la baie de Calvi (Corse) [(5.5 ± 1.0‰) pour $\delta^{15}\text{N}$; (-13.2 ± 1.7‰) pour $\delta^{13}\text{C}$]. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ obtenues chez les holothuries étudiées lors de notre travail, sont également supérieures à celles obtenues par Ricart *et al.*, (2015) chez l'espèce *H. tubulosa* des côtes catalanes (Espagne) ; alors que les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ obtenues par ces auteurs [(9.17 ± 0.43‰) pour $\delta^{15}\text{N}$; (-16.41 ± 0.32‰) pour $\delta^{13}\text{C}$] sont très proches des nôtres.

Au niveau des deux sites de la région de Mostaganem, les espèces d'holothuries étudiées, présentent un important taux de recouvrement de leurs niches isotopiques ; ce qui laisse supposer que ces invertébrés benthiques utilisent les mêmes sources alimentaires et par conséquent présentent des niches trophiques similaires. La similarité des niches trophiques entre les espèces soulève deux questions très importantes ; celle du partage des ressources et celle des interactions compétitives (Dromard, 2013). Après analyses des contenus stomacaux des mêmes espèces

³ Cette partie a fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue *Belgian Journal of Zoology*.

d'holothuries, Belbachir et Mezali, (2018) démontre que leurs régimes alimentaires sont basés sur les mêmes ressources trophiques. Donc, cette constatation nous mènent à dire que la coexistence de ces espèces d'holothuries ne peut pas être expliqué par une partition des ressources alimentaires, mais plutôt par une meilleur partition de leur habitat (ségrégation spatiale). Effectivement, *H. poli* et *H. tubulosa* préfèrent essentiellement les fonds détritiques et rocheux, près des herbiers de posidonies ; alors que *H. forskali* et *H. sanctori* se trouvent fixé sous les blocs rocheux et on peut même les trouver sur les fonds rocheux riches en espèces végétales, tout près des herbiers de posidonies. La micro-répartition des holothuries étudiées lors du présent travail est différente de celle observée par Mezali, (1998 ; 2004) sur les mêmes espèces d'holothuries à sidi Fredj (région centre d'Algérie). Cet auteur a constaté que *H. tubulosa* et *H. poli* préfèrent les intermattes de posidonies, alors que *H. forskali* et *H. sanctori* se trouvent beaucoup au niveau des tombants de mattes et entre les rhizomes de posidonies. Il est possible que cette différence des micro-répartitions des holothuries soit due à la nature même des herbiers de posidonies. En effet, les herbiers de *Stidia* et de salamandre sont des herbiers installés sur roche, alors que celui de sidi Fredj est un herbier sur matte. L'important taux de recouvrement peut également être expliqué par une abondance des ressources alimentaires, ce qui exclut une compétition entre les holothuries et permet ainsi une coexistence. La différence de la contribution relative de chaque ressource alimentaire, au régime des holothuries étudiées lors de ce travail (Belbachir et Mezali, 2018), ou la différence de synchronisation dans leurs approvisionnement, peuvent également expliquée leur coexistence.

À *Stidia*, *H. forskali* occupe la plus large niche isotopique ce qui est probablement due à une utilisation d'une large gamme de sources trophiques par rapport aux autre espèces. La différence entre les habitats fréquentés par ces holothuries pourrait également être à l'origine de la différence entre les dimensions de leurs niches isotopiques (notamment entre *H. poli* et *H. sanctori*).

³ Cette partie à fait l'objet d'un article scientifique, soumis à la revue Belgian Journal of Zoology.

CONCLUSION

Conclusion

La floraison et surtout la fructification de *Posidonia oceanica*, est un phénomène qui n'est que rarement observé au niveau des côtes algériennes. Ce travail constitue la première donnée mentionnant ce phénomène, au niveau de la zone côtière de Mostaganem ; offrant ainsi la possibilité de connaître les caractéristiques morphologiques des inflorescences. Les données recueillies lors de ce travail, montre une certaine similitude avec ceux obtenus dans différentes régions de la méditerranée. Cependant, le succès de la reproduction sexuée chez *Posidonia oceanica*, reste étroitement lié à certains paramètres, tel qu'un important pourcentage de fleurs, donnant un nombre relativement élevé de fruits matures et surtout de graines prêtes pour une germination. C'est pour cette raison qu'on estime que nos résultats n'impliquent pas forcément un succès de la reproduction sexuée, chez la posidonie de la cote de Mostaganem. Cela dit, il nous faudra faire d'avantage de prospection au niveau des herbiers, afin de détecter de possible germination, surtout que le substrat rocheux sur lequel l'herbier est installé favorise cela.

Toutes les espèces d'holothuries aspidochiotes étudiées lors de ce travail ont un comportement sélectif envers la matière organique. Toutefois, la différence qui existe entre le taux de matière organique ingérée par ces espèces, est due à leurs micro-répartitions au sein des différents biotopes de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Les espèces les moins sélectives sont *Holothuria poli* et *H. tubulosa*, elles préfèrent essentiellement les fonds détritiques et rocheux, près des herbiers de posidonies ; alors que les plus sélectives sont *H. forskali* et *H. sanctori*, se trouvent fixés sous les blocs rocheux et même sur les fonds rocheux riches en espèces végétales. Le taux élevé de matière organique obtenu au niveau des fèces d'holothuries par rapport à leurs biotopes, constitue l'un des plus importants résultats obtenus lors de ce travail. D'abord, la richesse des fèces en matière organique, permet une rapide colonisation de ces derniers par les microorganismes (bactéries et protozoaires), favorisant ainsi le recyclage des nutriments contenu dans les fèces. La matière fécale expulsée par les holothuries, permettent également un enrichissement en matière organique du substrat, ce qui le rend beaucoup plus attrayant pour d'autres organismes dépositores ou coprophages, ainsi que par les holothuries elles-mêmes (concept du "Gardening"). Par conséquent, les fèces des holothuries peuvent constituer une intéressante voie de transfert de la matière organique pour d'autres organismes. Les plus importants taux de matière organique au niveau des fèces, sont obtenus chez les deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori*.

Les ressources trophiques utilisées par les quatre espèces d'holothuries étudiées, sont assez diversifiées. La fraction végétale est essentiellement composée de feuilles de posidonies (morte et vivante), d'algues macrophytes, de cyanophycées et de diatomées. D'autre part, la fraction animale est composée majoritairement de foraminifères, crustacées, spicules d'éponges, de

coquilles de mollusques bivalves, ainsi que de nématodes. Les holothuries étudiées consomment de grandes proportions de ressources alimentaires d'origine végétale, notamment les diatomées et les algues ; ce qui nous mène à supposer un possible comportement de brouteur chez ces holothuries. Malgré les faibles proportions obtenues pour les feuilles de posidonies (morte et vivante), cette ressource est l'une des plus appréciées par l'ensemble des holothuries. Il est probable que cette préférence serait plutôt due à la présence d'organismes épiphytes, plus riches en matière organique et plus palatables. D'ailleurs, certaines espèces de diatomée et d'algues, retrouvées dans les contenus digestifs des holothuries, vivent en épiphytes sur les feuilles de posidonies. Néanmoins, il est très difficile de ce prononcé sur le fait que ces holothuries, participent au transfert de la matière organique produite par les posidonies ; du moment qu'on connaît peu de prédateur potentiels de ces organismes benthiques. C'est l'espèce *H. forskali* qui montre le plus de préférences pour les feuilles de posidonies. Les holothuries étudiées ont tendance à modifier leurs préférences alimentaires en fonction des saisons, ce qui est sûrement due à un choix qui se fait par ces espèces, en fonction de la disponibilité de l'aliment et de sa qualité nutritionnel.

Le NMDS, nous a permis de déceler une légère dissimilarité du régime alimentaire entre deux groupes d'holothuries. Le premier groupe est constitué par les deux espèces *H. poli* et *H. tubulosa*, le deuxième groupe est quant à lui constitué par *H. sanctori* et *H. forskali* ; le premier groupe étant beaucoup plus généraliste que le deuxième. Toutefois, l'espèce *H. tubulosa* du site de Stidia, présente un régime alimentaire qui est beaucoup plus proche que celui des deux espèces *H. forskali* et *H. sanctori*. Les résultats de l'indice de Schoener, nous montre qu'il existe des chevauchements entre les niches trophiques de certaines espèces d'holothuries, ce qui conforte les résultats du NMDS. En effet, il existe certaines sources trophiques qui sont utilisées par l'ensemble des holothuries, mais le comportement sélectif observé chez ces espèces peut favoriser une bonne partition de ces ressources alimentaires. La répartition hétérogène des holothuries au sein des différents biotopes, est une forme de ségrégation spatiale qui favorise également une bonne partition des ressources trophiques et de ce fait, permet à ces espèces d'holothuries de coexister dans une même zone.

Le modèle de mélange montre clairement que les épiphytes de posidonies, constituent la ressource trophique la plus assimilée, par les quatre espèces d'holothuries étudiées. Ce qui confirme notre hypothèse, sur le fait que ces holothuries consommaient les feuilles de posidonies, pour en acquérir ses épiphytes. D'autant plus que ce même modèle de mélange, indique également une très faible assimilation des feuilles de posidonies mortes. Les quatre holothuries et leurs sources de

nourriture présentent d'importantes valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ au niveau des deux sites étudiés. Le recouvrement de la niche isotopique est important ; cependant, les espèces qui partagent le même biotope présentent une certaine forme de ségrégation de la niche isotopique. La largeur de cette niche peut être plus importante à *Stidia* par rapport à Salamandre notamment pour les deux espèces (*H. poli* et *H. forskali*), alors qu'elle peut être plus importantes à Salamandre chez d'autres espèces (*H. sanctori* et *H. tubulosa*). L'impact anthropique pourrait avoir un effet sur la largeur de la niche isotopique des holothuries. On suppose que c'est *Stidia* qui présente les plus importants signes de perturbation du moment qu'elle présente des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ pour les holothuries et leurs sources trophiques, plus élevées que celle de Salamandre.

En perspectives, on estime qu'il est très important d'effectuer des analyses isotopiques sur différentes espèces d'holothuries, à différentes périodes de l'année. Ceci nous permettra d'avoir une idée sur un possible changement de leurs régimes alimentaires, en fonction bien sûr de la disponibilité des ressources alimentaires. Il est également très important d'introduire d'avantage de ressources alimentaires dans le modèle de mélange (SIAR), ce qui nous permettra d'avoir une idée assez claire sur la diversité des ressources trophiques assimilées par ces organismes marins. Par ailleurs, d'autres espèces pourraient faire l'objet d'étude similaire, tel que l'espèce *Holothuria arguinensis*.

Dans le but de protéger et de valoriser cette ressource marine, il est impératif de lancer des projets de recherches pluridisciplinaires, afin d'élargir nos connaissances, sur les différentes espèces de nos côtes. Ces projets doivent aborder différents axes, dont celui de l'holothuriculture, qui connaît un essor considérable ces dernières années. Effectivement, la filière d'élevage des holothuries, commence à voir le jour même dans certains pays méditerranéens (Turquie, Tunisie). Ces espèces sont très intéressantes pour développer des systèmes en aquaculture intégrée performants et durables. Il est également très important de signaler que les holothuries présentent un potentiel intéressant, pour l'alimentation humaine, la cosmétique, ainsi que pour la bioremédiation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Abdel Razek F.A., Abdel Rahman S.H., Mona M.H., El-Gamal M.M., Moussa R.M., (2007). An observation on the effect of environmental conditions on induced fission of the Mediterranean sand sea cucumber, *Holothuria arenicola* in Egypt. *Beche-demer Information Bulletin*, **26**: 33-34.

Ahmed M.I., (2009). Morphological, Ecological and Molecular examination of the sea cucumber species along the Red Sea Coast of Egypt and Gulf of Aqaba, with the investigation of the possibility of using DNA barcoding technique as a standard method for Seacucumber ID. *PhD Thesis. The University of Hull*. 258pp.

Alcoverro T., Romero J., Duarte C.M., López N.I., (1997). Spatial and temporal variations in nutrient limitation of seagrass *P. oceanica* growth in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, **146**: 155-161.

Alcoverro T., Manzanera M., Romero J., (1998). Seasonal and age-dependent variability of *Posidonia oceanica* (L.) Delile photosynthetic parameters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **230**: 1-13.

Alcoverro T., Cerbian E., ballesteros E., (2001). The photosynthetic capacity of the seagrass *P. oceanica*: influence of nitrogen and light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **261**: 107-120.

Alfaro A.C., Thomas F., Sergent L., Duxbury M., (2006). Identification of trophic interactions within an estuarine food web (northern New Zealand) using fatty acid biomarkers and stable isotopes. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, **70**: 271-286.

Amaro T., Bianchelli S., Billett D.S.M., Cunha M.R., Pusceddu A., Danovaro R., (2010). The trophic biology of the holothurian *Molpadia musculus*: implications for organic matter cycling and ecosystem functioning in a deep submarine canyon. *Biogeosciences*, **7**: 2419-2432.

Amon R.M.W., Herndl G.J., (1991). Deposit feeding and sediment: Decomposition of fecal pellets of *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea, Echinodermata). *Marine Ecology*, **12** (2): 175-184.

Anderson M.J., (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, **26**: 32-46.

Anderson M.J., (2005). PERMANOVA: a FORTAN computer program for permutational multivariate analysis of variance. *Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand*. 24 p.

Anderson S.C., Flemming J.M., Watson R., Lotze H.K., (2011). Serial exploitation of global sea cucumber fisheries. *Fish and Fisheries*, **12**: 317-339.

Arber A., (1920). Water Plants. A Study of Aquatic Angiosperms. Cambridge University Press, Cambridge.

- Ascherson P., (1871).** Die geographische Verbreitung der Seegräser. In: Petermann's Geographische Mittheilungen, **17**: 241-248.
- Aydin M., (2008).** The commercial sea cucumber fishery in Turkey. *SPC Beche-de-Mer Information Bulletin*, **28**: 40-41.
- Aydin M, Sevgili H, Tufan B, Emre Y., Köse S., (2011).** Proximate composition and fatty acid profile of three different fresh and dried commercial sea cucumbers from Turkey. *International Journal Food Science and Technology*, **46**: 500-508.
- Augier H., Chabert D., Vicente N., (1980).** Le port de Porquerolles (Iles d'Hyères, Méditerranée, France). II. Contamination par les métaux lourds. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros, Fr.*, **6**: 253-285.
- Augier H., (1985).** L'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. *Vie marine* **7**: 85-113.
- Baine M., Choo P.S., (1999).** Sea cucumber fisheries in Malaysia, towards a conservation strategy. *SPC Beche-de-Mer Information Bulletin*, **12**: 6-10.
- Baker A.N., Rowe F.W.E., Clark H.E.S., (1986).** A new class of Echinodermata from New Zealand. *Nature*, **321 (6073)**: 862-864.
- Bakus G.J., (1973).** The biology and ecology of tropical holothurians. In: O.A. Jones and R. Endean (eds.). *The biology and geology of coral reefs*. Academic Press. New York, **2**: 325-367.
- Ballesta L., Pergent G., Pasqualini V. and Pergent-Martini C., (2000).** Distribution and dynamics of *Posidonia oceanica* beds along the Albères coastline. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*, **323**: 407-414.
- Balestri E., Cinelli F., (2003).** Sexual reproductive success in *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, **75**: 21-32.
- Barrett R.T., Camphuysen K.C.J., Anker-Nilssen T., Chardine J.W., (2007).** Diet studies of seabirds: a review and recommendations. *ICES Journal of Marine Science*, **64**: 1675-1691
- Basterretxea G., Orfila A., Jordi A., Casas B., Lynett P., Liu P., Duarte C., Tintoré J., (2004).** Seasonal dynamics of a microtidal pocket beach with *Posidonia oceanica* seabeds (Mallorca, Spain). *Journal of Coastal Research*, **20**: 1155-1164.
- Bay D., (1978).** Etude *in situ* de la production primaire d'un herbier de Posidonies (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi-Corse. *These de Doctorat, Faculté des Sciences, Université de Liège, Belgique*. 1-251.
- Bearhop S., Adams C.E., Waldron S., Fuller R A., Macleod H., (2004).** Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, **73**: 1007-1012.

- Bell J.D., Harmelin-Vivien M.L., (1982).** Fish fauna of French Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. 1. Community structure. *Téthys*, **10**: 337-347.
- Bell J.D., Pollard D.A., (1989).** Ecology of Fish Assemblages and Fisheries Associated with Seagrasses, Biology of Seagrasses: a Treatise on the Biology of Seagrasses with Special Reference to the Australian Region. Elsevier, Amsterdam.
- Bellan-Santini D., Arnoux A., Willsie A., (1986).** Distribution comparée des crustacés amphipodes de la “matte” d’herbier de Posidonies mort et vivant. *Rapport Procès-verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l’Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, **30** : 8.
- Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C., (1994).** Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. *Muséum National d’Histoire Naturelle publ.*, Paris.
- Belbachir N., (2012).** Contribution à l’étude écologique de l’herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem : Etat de santé et relation entre plante et échinoderme. *Mémoire de magister. Université de Mostaganem*. Algerie. 178p.
- Belbachir N., Mezali K., Soualili D.L., (2014).** Selective feeding behaviour in some aspidochirotid holothurians (Echinodermata: Holothuroidea) at Stidia, Mostaganem Province, Algeria. *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, **34**: 34-37.
- Bell J.D., Agudo N.N., Purcell S.W., Blazer P., Simutoga M., Pham D., Patrona L.D., (2007).** Grow-out of sandfish *Holothuria scabra* in ponds shows that co-culture with shrimp *Litopenaeus stylirostris* is not viable. *Aquaculture*, **273**: 509-519.
- Ben Alaya H., (1972).** Répartition et conditions d’installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. *Bulletin de la Station Océanographique de Salammbô* **2(3)** : 331-416.
- Ben Brahim M., Hamza A., Bouain A., (2006).** Distribution and time variability of micro-epiphytes and phytoplankton in *Posidonia oceanica* meadows of the Kerkennah islands (Tunisia). *Biologia Marina Mediterranea*, **13**: 122-123.
- Ben Brahim M., Hamza A., Ben Ismail S., Mabrouk L., Bouain A., Aleya L., (2013).** What factors drive seasonal variation of phytoplankton, protozoans and metazoans on leaves of *Posidonia oceanica* and in the water column along the coast of the Kerkennah Islands, Tunisia? *Marine Pollution Bulletin*, **71**: 286-298.
- Benito J., (1987).** Esponjas epibiontes de *Posidonia oceanica*. *Actas del III Simposio iberico de Estudios del Bentos Marino*. Pontevedra 4-7 Octubre 1982, Cuadernos Marisqueros, **11**: 129-143.
- Bergamino L., Lercari D., Defeo O., (2011).** Food web structure of sandy beaches: Temporal and spatial variation using stable isotope analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **91**: 536-543.

- Bethoux J.P., Copin-Montegut G., (1986).** Biological fixation of atmospheric nitrogen in the Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography*, **31** : 1353-1358.
- Bianchi C.N., Bedulli D., Morri C., Occhipinti-Asmbrogi A., (1989).** L'herbier de posidonies, écosystème ou carrefour éco-éthologique ? In : Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. (Eds), *Second International Workshop on Posidonia oceanica beds*. GIS Posidonie, Marseille : 257-272.
- Billett D.S.M., (1991).** Deep-sea holothurians. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 29, 259–317.
- Birkeland C., (1988).** The influence of echinoderms on coral-reef communities. *Echinoderm Studies*, **3** : 1-79.
- Blanc J.J., (1958).** Recherche de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. *Thèse. Fac. Sci. Univ. Paris*. Mason édit., Paris : 1-140.
- Blundo M., Di Martino V., Giaccone G., (1999).** Flora epifita struttura della prateria a *Posidonia oceanica* (L.) Delile nell'area protetta dell'Isola di Vendicari (Siracusa ; Sicilia sud orientale). *Bollettino delle Secute dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali*, **31**: 175-187.
- Bonham K., Held E.E., (1963).** Ecological observations on the sea cucumbers *Holothuria atra* and *Holothuria leucospilota* at Rongelap Atoll, Marshall Islands. *Pacific Science*, **17**: 305-314.
- Bordbar S., Anwar F., Saari N., (2011).** High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional food - a review. *Marine Drugs*, **9**: 1761-1805.
- Borowitzka M.A., Lavery P.S., Van Keulen M., (2006).** Epiphytes of Seagrasses. In : Larkum A.W.D., Orth R.J., Duarte C.M., *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation.*, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 19, 441-461.
- Borum J., Greve T.M., (2004).** The four European seagrass species. In: European seagrasses: an introduction to monitoring and management. J Borum, CM Duarte, D Krause-Jensen, TM Greve, Edit., 1-7.
- Boudouresque C.F., Giraud G., Perret-Boudouresque M., (1979).** Bibliography on vegetation and ecosystems of *Posidonia oceanica*. Part I. *Excerpta botanica, Germany*, **19 (B)** : 145- 161.
- Boudouresque C.F., Meinesz A., (1982).** Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cah. Parc nation. Port-Cros*, Fr., **4**: 1-79.
- Boudouresque C.F., Jeudy De Grissac A., (1983).** L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. *J. Rech. Océanogr.*, **8 (23)** : 99-122.
- Boudouresque C.F., Jeudy De Grissac A., Meinesz A., (1984).** Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds, GIS Posidonie publ. Fr.*, **1**: 185-191.

- Boudouresque C.F., Thelin I., (1985).** Floraison et fructification de *Posidonia oceanica* : un protocole d'étude standardisé. *Rapport de la Commission Internationale de l'exploration Scientifique de la Mer Méditerranéenne*, Monaco, **29 (5)**: 177-179.
- Boudouresque C.F., (2004).** Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities. *Travaux Scientifiques du Parc National de Port-Cros* **20** : 97-146.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., et Tunesi L., (2006a).** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. *RAMOGE pub.*, 1-202.
- Boudouresque C.F., Caumette P., Bertrand J.C., Normand P., Sime-Ngando T., (2015).** Systematic and evolution of microorganisms: general concepts. In: Bertrand JC, Caumette P, Lebaron P, Matheron R, Normand P, Sime-Ngando T, editors. *Environmental microbiology: fundamentals and applications. Microbial ecology*. Dordrecht: Springer. pp 107-144.
- Boudouresque C.F., Mayot N., Pergent G., (2006b).** The outstanding traits of the functioning of the *Posidonia oceanica* seagrass ecosystem. *Biologia Marina Mediterranea*, **13**: 109-113.
- Browning N.E., Dold C., I-Fan J., Worthy G.A.J., (2014).** Isotope turnover rates and diet-tissue discrimination in skin of ex situ bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Experimental Biology*, **217**: 214-221.
- Bowen W.D., Iverson S.J., (2013).** Methods of estimating marine mammal diets: A review of validation experiments and sources of bias and uncertainty. *Marine Mammal Science*, **29**: 719-754.
- Braeckman U., Provoost P., Gribsholt B., Van Gansbeke D., Middelburg J.J., Soetaert K., Vincx M., Vanaverbeke J., (2010).** Role of macrofauna functional traits and density in biogeochemical fluxes and bioturbation. *Marine Ecology Progress Series*, **399**: 173-186.
- Bray J.R., Curtis J.T., (1957).** An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, **27**: 325-349.
- Buia M.C., Mazzella L., (1991).** Reproductive phenology of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers., and *Zostera noltii* Hornem. *Aquatic Botany*, **40**: 343-362.
- Buia M.C., Gambi M.C., Zupo V., (2000).** Structure and functioning of Mediterranean seagrass ecosystems: an overview. *Biologia Marina Mediterranea* **7 (2)**: 167-190.
- Bulteel P., Jangoux M., Coulon P., (1992).** Biometry, bathymetric distribution, and reproductive cycle of the holothuroid *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) from Mediterranean seagrass beds. *PSZNI. Marine Ecology*, **13**: 53-62.
- Byrne M., (1985).** The life history of the gastropod *Thyonicola americana* endoparasitic in a seasonally eviscerating holothurian host. *Ophelia*, **24**: 91-101.

- Cabana G., Rasmussen J., (1996).** Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **93**: 10844-10847.
- Capiomont A., Sandmeier M., Caye G., Meinesz A., (1996).** Enzyme polymorphism in *Posidonia oceanica*, a seagrass endemic to the Mediterranean. *Aquatic Botany*, **54**: 265-277.
- Caraveo-Patino J., Soto L.A., (2005).** Stable carbon isotope ratios for the gray whale (*Eschrichtius robustus*) in the breeding grounds of Baja California Sur, Mexico. *Hydrobiologia*, **539**: 99-107.
- Cardona L., Revelles M., Sales M., Aguilar A., Borrell A., (2007).** Meadows of the seagrass *Posidonia oceanica* are a significant source of organic matter for adjoining ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, **335**: 123-131.
- Casieri S., Frezza V., Mancini S., Carboni M.G., (2008).** Epiphytic foraminifera on leaves and rhizomes of *Posidonia oceanica* from Ischia Island (Tyrrhenian Sea, Italy). In: *European Geosciences Union General Assembly, 13-18 April 2008*. Vienna (Austria).
- Caye G., (1980).** Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille II*, France, 1-121.
- Caye G., (1989).** Mise en évidence d'un polymorphisme sur des jeunes plants de *P. oceanica*. *International Workshop on P. oceanica Beds*, Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E et Gravez V. Edit, *GIS Posidonie publ*, Fr., **2**: 77-84.
- Caye G., Meinesz A., (1984).** Observations sur la floraison et la fructification de *Posidonia oceanica* dans la baie de Villefranche et en Corse du Sud. In : *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, Boudouresque CF, Jeudy de Grissac A, Olivier J édité, GIS Posidonie pub., France. 454 p.
- Cebrián J., (1999).** Patterns in the fate of production in plant communities. *The American Naturalist*, **154**: 449-468.
- Cebrián J., (2002).** Variability and control of carbon consumption, export, and accumulation in marine communities. *Limnology and Oceanography*, **47** : 11-22.
- Cebrian J., Duarte C.M., Marba N., Enriquez S., (1997).** The magnitude and fate of the production of four co-occurring Western Mediterranean seagrass species. *Marine Ecology Progress Series*, **155**: 29-44.
- Cebrian J., Duarte C. M., (2001).** Detrital stocks and dynamics of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Spanish Mediterranean. *Aquat. Bot.*, **70**: 295-309.
- Celebi B., Gucu A.C., Ok M., Serdar S., Akoglu E., (2007).** Survival of the *Posidonia oceanica* transplanted into the northeastern Levant Sea. *Rapport de la Commission Internationale de l'exploitation Scientifique de la Mer Méditerranée*, **38**: 446.

- Chakroun-Marzouk N., Kartas F., (1987).** Denture et régime alimentaire des espèces du genre *Pagrus* (Pisces, Sparidae) des côtes Tunisiennes. *Cybium*, **11** : 3-19.
- Chen J., (2003).** Overview of sea cucumber farming and sea ranching practices in China. *SPC beche-de-mer Information Bulletin*, 18-23.
- Choe S., (1963).** Biology of the Japanese Common Sea Cucumber *Stichopus japonicus*, Selenka. *Pusan National University press*, Pusan: 1-226.
- Chouvelon T., (2011).** Structure et fonctionnement des réseaux trophiques par l'utilisation de traceurs écologiques (isotopes stables, métaux) en environnement marin ouvert : le cas du Golfe de Gascogne. *These de Doctorat*. Sciences agricoles. Université de La Rochelle. 1-374.
- Cinelli F., Pardi G., Papi I., (1995).** Plant biology. In: *La Posidonia oceanica*, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem. In : *Revista Marittima*, 21-24.
- Clarke K.R., (1993).** Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, **18**: 117-143.
- Clarke K.R., Green R.H., (1988).** Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series*, **46**: 213-226.
- Clarke K.R., Warwick R.M., (1994).** Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. *Plymouth Marine Laboratory*, Plymouth. 144p.
- Clarke K.R., Warwick, R.M., (2001).** Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd Edition, PRIMER-E, Ltd., Plymouth.
- Clouse R.M., (1997).** Burying behaviour in an Indo-Pacific sea cucumber, *Bohadschia marmorata* Jaeger (Holothuroidea): a circadian, not circatidal, rhythm. *Micronesica*, **30**: 245-257.
- Cohen J.E., Beaver R.A., Cousins S.H., Goldwasser L., Heong K.L., Holt R.D., Kohn A.J., Lawton J.H., Martinez N., O'Malley R., Page L.M., Pimm S.L., Polis G.A., Rejmánek M., Schoener T.W., Schoenly K., Sprules W.G., Teal M., Ulanowicz R.E., Warren P.H., Wilbur H.M., Yodzis P., (1993).** Improving food web. *Ecology*, **74**: 252-258.
- Cole M.L, Kroeger K.D, McClelland J.W., Valiela I., (2005).** Macrophytes as indicators of land-derived wastewater: Application of a $\delta^{15}\text{N}$ method in aquatic systems. *Water Resources Research*, **41**: W01014.
- Collin P.D., (2002).** Sea cucumber carotenoid lipid fraction products and methods of use. WO99/37314. USA, 2002.
- Conand C., (1989).** Les Holothuries Aspidochirotes du lagon de Nouvelle-Calédonie: biologie, écologie et exploitation. *Études et Thèses, O.R.S.T.O.M.*, Paris : 1-393.

- Conand C., Byrne M., (1993).** A review of recent developments in the world sea cucumber fisheries. *Marine Fisheries Review*, **55**: 1-13.
- Conand C., (1994).** Les holothuries : ressource halieutique des lagons. *Rapports Scientifiques Techniques Biologie Marine*, **(65)** : 1-86.
- Connolly R.M., (1994).** The role of seagrass as preferred habitat for juvenile *Sillaginodes punctata* (CUV. and VAL.) (Sillaginidae, Pisces): habitat selection or feeding? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **180**: 39-47.
- Connolly R.M., Gorman D., Guest M.A., (2005).** Movement of carbon among estuarine habitats and its assimilation by invertebrates. *Oecologia*, **144 (4)**: 684-691.
- Conover R.J., (1966).** Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnology and Oceanography*, **11**: 338-345.
- Cortés E., Gruber S.H., (1990).** Diet, feeding habits, and estimates of daily ration of young lemon sharks, *Negaprion brevirostris* (Poey). *Copeia*, **1990 (1)**: 204-218.
- Costa V., Mazzola A., Vizzini S., (2014).** *Holothuria tubulosa* Gmelin 1791 (Holothuroidea, Echinodermata) enhances organic matter recycling in *Posidonia oceanica* meadows. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **461**: 226-232.
- Coull B.C., (1990).** Are members of the meiofauna food for higher trophic levels. *Transaction of the American Microscopical Society*, **109**: 233-246.
- Cooper M.J, Uzarski D.G., Burton T.M., (2007).** Macroinvertebrate community composition in relation to anthropogenic disturbance, vegetation, and organic sediment depth in four lake Michigan drowned river-mouth wetlands samples. *Wetlands*, **27**: 894-903.
- Coplen T.B., (2011).** Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope-ratio and gas-ratio measurements results. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, **25**: 2538-2560.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van den Belt M., (1997).** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**: 253-260.
- Coulon P., Jangoux M., (1993).** Feeding rate and sediment reworking by the holothuroid *Holothuria (H.) tubulosa* (Echinodermata) in a Mediterranean seagrass bed of Ischia Island, Italy. *Marine Ecology Progress Series*, **92**: 201-204.
- Couturier C.S., Andersen N.G., Audet C., Chabot D., (2013).** Prey exoskeletons influence the course of gastric evacuation in Atlantic cod *Gadus morhua*. *Journal of Fish Biology*, **82**: 789-805.

- Dalerum F., Angerbjorn A., (2005).** Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia*, **144**: 647-658.
- Dance S.K., Lane I., Bell J.D., (2003).** Variation in short-term survival of cultured sandfish (*Holothuria scabra*) released in mangrove-seagrass and coral reef flat habitats in Solomon Islands. *Aquaculture*, **220**: 495-505.
- Dauby P., Poulicek M., (1995).** Methods for removing epiphytes from seagrasses: SEM observations on treated leaves. *Aquatic Botany*, **52** : 217-228.
- Deagle B.E., Tollit D.J., Jarman S.N., (2005).** Molecular scatology as a tool to study diet: analysis of prey DNA in scats from captive Steller sea lions. *Molecular Ecology*, **14**: 1831-1842.
- De Falco G., Baroli M., Cucco A., Simeone S., (2008).** Intrabasinal conditions promoting the development of a biogenic carbonate sedimentary facies associated with the seagrass *Posidonia oceanica*. *Continental Shelf Research*, **28**: 797-812.
- De Groot R., Brander L., van der Ploeg S., Costanza R., Bernard F., Braat L., Christie M., Crossman N., Ghermandi A., Hein L., Hussain S., Kumar P., McVittie A., Portela R., Rodriguez L.C., ten Brink P., van Beukering P., (2012).** Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, **1** (1): 50-61.
- Den Hartog C., (1970).** The seagrasses of the world. Amsterdam, Verh. Kon. Ned. Akad. Wet. Afd. Natuurk. 1-275.
- Den Hartog C., (1971).** The dynamic aspect in the ecology of sea-grass communities. *Thalassia jugoslavica*. **7**: 101-112.
- Den Hartog C., Kuo, J., (2006).** Taxonomy and Biogeography of Seagrasses. *In: Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- DeNiro M.J., Epstein S., (1977).** Mechanism of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. *Science*, **197**: 261-263.
- DeNiro M.J., Epstein S., (1978).** Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **42**: 495-506.
- DeNiro M.J., Epstein S., (1981).** Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **45**: 341-351.
- Diaz-Almela E., Marbà N., Duarte C.M., (2007).** Consequences of Mediterranean warming events in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering records. *Global Change Biology*, **13**: 224-235.
- Di Maida G., Tomasello A., Sciandra M., Pirrotta M., Milazzo M., Calvo S., (2013).** Effect of different substrata on rhizome growth, leaf biometry and shoot density of *Posidonia oceanica*. *Marine Environmental Research*. **87-88**: 96-102.

- Dino A., (2015).** Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. *The Stata Journal*, **15** (1): 292-300.
- Domi N., Bouquegneau J.M., Das K., (2005).** Feeding ecology of five commercial shark species of the Celtic Sea through stable isotope and trace metal analysis. *Marine environmental research*, **60** (5): 551-569.
- Dromard C., (2013).** Niches trophiques des poissons herbivores des Antilles : apports des isotopes stables. *These de doctorat*. Université des Antilles et de la Guyane. 254pp.
- Drymon J.M., Powers S.P., Carmichael R.H., (2011).** Trophic plasticity in the Atlantic sharpnose shark (*Rhizoprionodon terraenovae*) from the north central Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, **95**: 21-35.
- Duarte C.M., (1991).** Allometric scaling of seagrass form and productivity. *Marine Ecology Progress Series*, **77**: 289-300.
- Duarte C.M., Cebrian J., (1996).** The fate of marine autotrophic production. *Limnology and Oceanography*, **41**: 1758-1766.
- Duarte C.M., Chiscano C.L., (1999).** Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany*, **65**: 159-174.
- Dubois S., Blanchet H., Garcia A., Masse M., Galois R., Gremare A., Charlier K., Guillou G., Richard P., Savoye N., (2014).** Trophic resource use by macrozoobenthic primary consumers within a semi-enclosed coastal ecosystem : stable isotope and fatty acid assessment. *Journal of Sea Research*, **88**: 87-99.
- Duffy J.E., Hay M.E., (2000).** Strong impacts of grazing amphipods on the organization of a benthic community. *Ecological Monographs*, **70** : 237-263.
- Dufour E., Gerdeaux D., (2001).** Apports des isotopes stables ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{36}\text{S}/^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) aux études écologiques sur les poissons. *Cybium*, **24**: 369-382.
- Dunn O.J., (1964).** Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, **6**: 241-252.
- Dural B., (2010).** Phenological observations on *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows along the coast of Akkum (Sığacık Bay, Aegean Sea, Turkey). *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, **16** (1): 133-144.
- Duy N.D., (2012).** Large-scale sandfish production from pond culture in Vietnam. Asia-Pacific Tropical Sea Cucumber Aquaculture. *ACIAR Proc*, **136**: 34-39.
- Drew E.A., Jupp B.J., (1976).** Some aspects of growth of *Posidonia oceanica* in Malta. In : Underwater Research. *Drew, Lythgoe & Wood edit., Academic Press. London* : 369-379.

- Ehrhold A., Blanchet A., Hamon D., (2006).** Réseau de surveillance benthique (REBENT), Région Bretagne. Approche sectorielle subtidale : Identification et caractérisation des habitats benthiques du secteur Glénan. RST/IFREMER/DYNECO/Ecologie benthique/06-03/REBENT, 62 pp.
- Elkalay K., Frangoulis C., Skliris N., Goffart A., Gobert S., Lepoint G., Hecq J.H., (2003).** A model of the seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecological Modelling*, **167**: 1-18.
- Ewel K.C., Twilley R.R., Ong J.E., (1998).** Different kinds of mangrove forest provide different goods and services. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **7**: 83-94.
- Fabiano M., Danovaro R., Olivari E., Mistic C., (1994).** Decomposition of fecal matter and somatic tissue of *Mytilus galloprovincialis*: changes in organic matter composition and microbial succession. *Marine Biology*, **119**: 375-384.
- FAO., (2008).** Sea cucumbers: A global review of fisheries and trade. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*. No. 516. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization. 331 p.
- FAO., (2010).** Putting into Practice an Ecosystem Approach to Managing Sea Cucumber Fisheries. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO., (2012).** The state of world fisheries and aquaculture. *In: Department Fisheries and Aquaculture*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 230 p.
- Feinsinger P., Spears E.E., Poole R.W., (1981).** A simple measure of niche breadth. *Ecology*, **62**(1) :27-32.
- Fenchel T., (1970).** Studies on the decomposition of organic detritus derived from the turtle grass *Thalassia testudinum*. *Limnology and Oceanography*, **15**: 14-20.
- Fenchel T., (1977).** Aspects of the decomposition of seagrasses, *In : Seagrass Ecosystems : A Scientific Perspective*. New York, 123-145.
- Fernández-Torquemada Y., Sánchez-Lizaso J.L., (2005).** Effects of salinity on leaf growth and survival of Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **320**: 57-63.
- Fergusson R.L., Thayer G.W., Rice T.R., (1980).** Marine primary producers. *In: Vernberg, F.J., Vernberg, W.B. (Eds.), Functional Adaptations of Marine Organisms*. Academic Press publ., Amsterdam. 9-69.
- Finlay J.C., Kendall C., (2007).** Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems. *In: R. Michener and K. Lajtha, editors. Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Blackwell, Oxford. 283-333.

- Fisk A.T., Tittlemier S.A., Pranschke J.L., Norstrom R.J., (2002).** Using anthropogenic contaminants and stable isotopes to assess the feeding ecology of greenland sharks. *Ecology*, **83**: 2162-2172.
- Fankboner P.V., Cameron J.L., (1985).** Seasonal atrophy of the visceral organs in a sea cucumber. *Canadian Journal of Zoology*, **63** : 2888-2892.
- Francois C., (2015).** Evaluation des stratégies adaptatives des métazoaires aux faibles disponibilités en nutriments : couplage d'approches d'écologie isotopique et de transcriptomique chez des isopodes épigés et hypogés. *These de Doctorat. Université Claude Bernard Lyon I.* 1-232.
- Francour P., (1984).** Biomasse de l'herbier à *Posidonia oceanica*: données préliminaires pour les compartiments "matte", échinodermes et poissons. *Mémoire Diplôme Etudes Approfondies Océanologie Biologique, Université Pierre et Marie Curie, Paris*: 1-72.
- Francour P., (1990).** Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments "matte", litière, faune vagile, échinodermes et poissons. *Thèse Doct. Océanol. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, Fr.:* 1-373.
- Francour P., (1997).** Predation on holothurians: a literature review. *Invertebrate Biology*, **116**: 52-60.
- Franklin S.E., (1980).** The reproductive biology and some aspects of the population ecology of the Holothurians *Holothuria leucospilota* (Brandt) and *Stichopus chloronotus* (Brandt). *Ph.D. Thesis, Univ. Sydney.* 1-250.
- Frankovich T.A., Zieman J.C., (2005).** A temporal investigation of grazer dynamics, nutrients, seagrass leaf productivity, and epiphyte standing stock. *Estuaries*, **28**: 41-52.
- Frantzis A., Berthon J.F., Maggiore F., (1988).** Relation trophique entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoidea regularia) et le phytobenthos infralittoral superficiel de la baie de Port- Cros (Var France). *Scientific Report of Port-Cros National Park*, **14** : 81-140.
- Fredalina B.D., Ridzwan B.H., Zainal Abidin A. A., Kaswandi M. A., Zaiton H., Zali I., Kittakop P., Mat Jais A.M., (1999).** Fatty acid compositions in local sea cucumber. *General Pharmacology: The Vascular System*, **33(4)**: 337-340.
- Frontier S., (1983).** L'échantillonnage de la diversité spécifique. In Stratégie d'échantillonnage en écologie. *Frontier et Masson (Ed.), Paris (Coll. D'Ecologie)*, XVIII, 494 pp.
- Fry B., (2002).** Conservative mixing of stable isotopes across estuarine salinity gradients: A conceptual framework for monitoring watershed influences on downstream fisheries production. *Estuaries*, **25**: 264-271.
- Fry B., (2006).** Stable Isotope Ecology. Springer, Science Business Media, USA, 308 pp.
- Fry B., Arnold C., (1982).** Rapid $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ turnover during growth of brown shrimp (*Penaeus aztecus*). *Oecologia*, **54 (2)**: 200-204.

- Fry B., Scherr E.B., (1984).** $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Control Marine Sciences*, **27**: 13-47.
- Gacia E., Duarte C.M., (2001).** Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* meadow: the balance between deposition and resuspension. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **52**: 505-514.
- Gacia E., Granata T.C., Duarte C.M., (1999).** An approach to measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. *Aquatic Botany*, **65**: 255-268.
- Gacia E., Invers O., Manzanera M., Ballesteros E., Romero J., (2007).** Impact of the brine from a desalination plant on a shallow seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **72**: 579-590.
- Gao F., Li F., Tan J., Yan J., Sun H., (2014).** Bacterial Community Composition in the Gut Content and Ambient Sediment of Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* Revealed by 16S rRNA Gene Pyrosequencing. *PLOS ONE*, **9**(6): e100092.
- Gallmetzer I., Pflugfelder B., Zekely J., OTT J.A., (2005).** Macrofauna diversity in *Posidonia oceanica* detritus: distribution and diversity of mobile macrofauna in shallow sublittoral accumulations of *Posidonia oceanica* detritus. *Marine Biology*, **147** (2): 517–523.
- Gambi M.C., Buia M.C., Casola E., Scardi M., (1989).** Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: a first approach. In: Boudouresque, C.F., Meinesz, A., Fresi, E., Gravez, V. (Eds.), *International Workshop on Posidonia beds*. GIS Posidonie publ. 2, Marseille, pp. 101–112.
- Gambi M.C., Lorenti M., Russo G.F., Scipione M.B., Zupo V., (1992).** Depth and Seasonal Distribution of Some Groups of the Vagile Fauna of the *Posidonia oceanica* Leaf Stratum: Structural and Trophic Analyses. *Marine Ecology*, **13** (1): 17-39.
- Garcias-Bonet N., Arrieta J.M., Duarte C.M., Marbà N., (2016).** Nitrogen-fixing bacteria in Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) roots. *Aquatic Botany*, **131**: 57-60.
- Gentle M.T., (1979).** The fisheries biology of bêche-de-mer. *South Pacific Bulletin*, **29** (4): 25-27.
- Giakoumi S., Sini M., Gerovasileiou V., Mazor T., Beher J., Possingham H.P., Abdulla A., Cinar M.E., Dendrinis P., Gucu A.C., Karamanlidis A.A., Rodic P., Panayotidis P., Taskin E., Jaklin A., Voultziadou E., Webster C., Zenetos A., Katsanevakis S., (2013).** Ecoregion-Based Conservation Planning in the Mediterranean: Dealing with Large-Scale Heterogeneity. *PLoS ONE*, **8**: e76449.
- Gil M., Armitage A.R., Fourqurean J.W., (2006).** Nutrient impacts on epifaunal density and species composition in a subtropical seagrass bed. *Hydrobiologia*, **569**: 437-447.
- Gilliland P.M., (1993).** The skeletal morphology, systematics and evolutionary history of holothurians. *Special Papers on Palaeontology*, **47**: 1-147.

- Ginger M.L., Billett D.S.M., Mackenzie K.L., Kiriakoulakis K., Neto R.R., Boardman D.K., Santos V.L.C.S., Horsfall I.M., Wolff G.A., (2001).** Organic matter assimilation and selective feeding by holothurians in the deep sea: some observations and comments. *Progress in Oceanography*, **50** (1) : 407-421.
- Giraud G., (1977).** Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Bot. Mar.*, **20**(8) : 487-491.
- Giraud G., Boudouresque C.F., Cinelli F., Fresi F., Mazzella L., (1979).** Observations sur l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile autour de l'île d'Ischia (Italie). *Giorn. Bot. Ital.*, **133**: 261- 274.
- Gobert S., (2002).** Variations spatiales et temporelles de l'herbier à *P. oceanica* (L.) Delile. *Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université de Liège*. 1-207.
- Gobert S., Laumont N., Bouquegneau J.M., (2002).** *Posidonia oceanica* meadow: a low nutrient high chlorophyll (LNHC) system ?. *BioMed Central Ecology*, **2**: 9.
- Gobert S., Cambridge M.L., Velimirov B., Pergent G., Lepoint G., Bouquegneau J.M., Dauby P., Pergent-Martini C., Walker D.I., (2006).** Biology of *Posidonia*. In Larkum A.W.D., Orth R.G., Duarte C.M. (Eds.): *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, 387-408. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Gonzalez H., Biddanda B., (1990).** Microbial transformation of metazoan (*Idotea granulosa*) faeces. *Marine Biology*, **106**: 285–295.
- González-Wangüemert M., Braga T., Silva M., Valente S., Rodrigues F., Serrao E., (2013a).** Volunteer programme assesses the *Holothuria arguinensis* populations in Ria Formosa (southern Portugal). *SPC beche-de-mer Information Bulletin*, **33**: 44-48.
- González-Wangüemert M., Conand C., Uthicke S., Borrero-Pérez G., Aydin M., Erzini K., Serrao E., (2013b).** Sea cucumbers: The new resource for a hungry fishery (CUMFISH). Project PTDC/MAR/119363/2010. *SPC beche-de-mer Information Bulletin*, 65-66.
- González-Wangüemert M., Aydin M., Conand C., (2014).** Assessment of sea cucumber populations from the Aegean Sea (Turkey): First insights to sustainable management of new fisheries. *Ocean & Coastal Management*, **92**: 87-94.
- González-Wangüemert M., Valente S., Aydin M., (2015).** Effects of fishery protection on biometry and genetic structure of two target sea cucumber species from the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia*, **743**: 65-74.
- Gray J.S., Aschan M., Carr M.R., Clarke K.R., Pearson T.H., Rosenberg R., Warwick R.M., (1988).** Analysis of community attributes of the benthic macrofauna of the Frierfjord/Langesundfjord and in a mesocosm experiment. *Marine Ecology Progress Series*, **4**: 151-165.

Green E.P., Short F.T., (2003). World Atlas of Seagrasses: Present Status and Future Conservation. E. P. Green and F.T. Short (eds.). The University of California Press, Berkeley. 310 pp.

Hamel J.F., Mercier A., (2000). Cuvierian tubules in tropical holothurians: usefulness and efficiency as a defence mechanism. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, **33**: 115-139.

Hammond L.S., (1982). Patterns of feeding and activity in deposit-feeding holothurians and echinoids (Echinodermata) from a shallow back-reef lagoon, Discovery Bay, Jamaica. *Bull. Mar. Sci.*, **32(2)** : 549-571.

Hamza A., Bradai M.N., (1994). Sur la floraison et la fructification de deux phanérogames marines sur la côte sud-est de la Tunisie (golfe de Gabes). *Marine life*, **4 (1)**: 1-4.

Harmelin J.G., Bouchon C., Duval C., Hong J.S., (1980). Les échinodermes des substrats durs de l'île de Port-Cros, Parc national. Élément pour un inventaire qualitatif. *Trav Sci. Parc nation. Port-Cros*, Fr., **6** : 25-38.

Harmelin-Vivien M.L., (1982). Ichtyofaune des herbiers de Posidonies du Parc national de Port-Cros. I. Composition et variations spatio-temporelles. *Travaux Scientifiques du Parc National de Port-Cros*, **8** : 69-92.

Harrison P.G., (1989). Detrital processing in seagrass systems: A review of factors affecting decay rates, remineralization and detritivory. *Aquatic Botany*, **35**: 263-288.

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.

Heck K.L., Thoman T.A., (1984). The nursery role of seagrass meadows in the upper and lower reaches of the Chesapeake Bay. *Estuaries and Coasts*, **7**: 70-92.

Heck K., Carruthers T., Duarte C.A., Hughes R., Kendrick G., Orth R.J., Williams S.W., (2008). Trophic Transfers from Seagrass Meadows Subsidize Diverse Marine and Terrestrial Consumers. *Ecosystems*, **11(7)**: 1198-1210.

Heck K.L., Valentine J.F., (2006). Plant-herbivore interactions in seagrass meadows. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **330**: 420-436.

Hein L., Van Koppen K., de Groot R.S., van Ierland E.C., (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, **57**: 209-228.

Helfman G., Collette B.B., Facey D.E., Bowen B.W., (2009). The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology. John Wiley & Sons.

Hemminga M.A., Duarte C.M., (2000). Seagrass ecology. Cambridge Univ. Press publ, 298 p.

- Hendler G., Miller J.E., Pawson D.L., Kier P. M., (1995).** Echinoderms of Florida and the Caribbean. Sea Stars, sea urchins and allies. *Smithsonian Institution Press*, Washington & London. 1-390.
- Herman P.M.J., Middelburg J.J., Van de Koppel J., Heip C.H.R., (1999).** Ecology of estuarine macrobenthos. *Advances in Ecological Researches*, **29**: 195-240.
- Hobson K.A., Schell D.M., Renouf D., Elizabeth N., (1996).** Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **53**: 528-533.
- Holmlund C.M., Hammer M., (1999).** Ecosystem services generated by fish populations. *Ecological Economics*, **29**: 253-268.
- Hopper B.E., Meyers S.P., (1967).** Population studies on benthic nematodes within a subtropical seagrass community. *Marine Biology*, **1**: 85-96.
- Hurlbert S., (1978).** The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology*, **59 (1)**: 67-77.
- Hylleberg J., (1975).** Selective feeding by *Abarenicola pacifica* with notes on *Abarenicola vagabunda* and a concept of gardening in lugworms. *Ophelia*, **14**: 13-137.
- Hyslop E.J., (1980).** Stomach contents analysis: a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, **17**: 411-429.
- Ichii T., Kato H., (1991).** Food and daily food-consumption of Southern minke whales in the Antarctic. *Polar Biology*, **11**: 479-487.
- Invers O., Zimmerman R.C., Alberte R.S., Perez M., Romero J., (2001).** Inorganic carbon sources for seagrass photosynthesis: an experimental evaluation of bicarbonate use in species inhabiting temperate waters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **265**: 203-217.
- Invers O., Kraemer G.P., Pérez M., Romero J., (2004).** Effects of nitrogen addition on nitrogen metabolism and carbon reserves in the temperate seagrass *Posidonia oceanica*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **303**: 97-114.
- İşgören-Emiroğlu D., Günay D., (2007).** The Effect of Sea Cucumber *Holothuria tubulosa* (G., 1788) on Nutrient and Sediment of Aegean Sea Shores. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **10 (4)**: 586-589.
- Iverson S., Frost K.J., Lowry L.F., (1997).** Fatty acid signatures reveal fine scale structure of foraging distribution of harbor seals and their prey in Prince William Sound, Alaska. *Marine Ecology Progress Series*, **151**: 255-271.

- Ivlev V.S., (1961).** Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale University Press. New Haven. 302 pp.
- Jackson A.L., Inger R, Parnell A.C., Bearhop S., (2011).** Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*, **80 (3)**: 595-602.
- Jacquemart J., Demoulin V., (2008).** Comparison of the epiphytic macroflora of *Posidonia oceanica* leaves in different meadows of the western Mediterranean. *Flora Mediterranea*, **18**: 393-420.
- Janakiram N.B., Mohammed A., Zhang Y.T., Choi C.I., Woodward C., Collin P., Steele V.E., Rao C.V., (2010).** Chemopreventive effects of Frondanol A5, a *Cucumaria frondosa* extract, against rat colon carcinogenesis and inhibition of human colon cancer cell growth. *Cancer Prevention Research*, **3(1)**: 82-91.
- Jangoux M., (1982).** Food and feeding mechanisms: Asteroidea. In: Echinoderm Nutrition. Jangou, J.M. (ed.). Rotterdam: A.A. Balkema, 117-159.
- Jarman S.N., Gales N.J., Tierney M., Gill P.C., Elliott N.G., (2002).** A DNA-based method for identification of krill species and its application to analysing the diet of marine vertebrate predators. *Molecular Ecology*, **11**: 2679-2690.
- Jaschinski S., Brepohl D., Sommer U., (2008).** Carbon sources and trophic structure in an eelgrass *Zostera marina* bed, based on stable isotope and fatty acid analyses. *Marine Ecology Progress Series*, **358**: 103-114.
- Jernakoff P., Brearley A., Nielsen J., (1996).** Factors affecting grazer-epiphyte interactions in temperate seagrass meadows. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, **34**: 109-162.
- Johannes R.E., Satomi M., (1966).** Composition and nutritive value of fecal pellets of a marine crustacean. *Limnology and Oceanography*, **11**: 191-197.
- Jones R.S., (1968).** A suggested method for quantifying gut content in herbivorous fishes. *Micronesica*, **4 (2)**: 369-371.
- Jonggård A., (1982).** The food of minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in North Atlantic waters. *Reports of the International Whaling Commission*, **32**: 259-269.
- Jumars P.A., Penry D.L., Baross J.A., Perry M.J., Frost B.W., (1989).** Closing the microbial loop: Dissolved carbon pathway to heterotrophic bacteria from incomplete ingestion, digestion and absorption in animals. *Deep-Sea Research Part A: Oceanographic Research Papers*, **36**: 483-495.
- Keast A., (1978).** Trophic and spatial interrelationships in the fish species of an Ontario temperate lake. *Env. Biol. Fish.*, **3 (1)**: 7-31.

- Kelly J.F., (2000).** Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology*, **78**: 1-27.
- Kerr A.M., Stoffel E.M., Yoon R.S., (1993).** Abundance distribution of holothuroids (Echinodermata: Holothuroidea) on a windward and leeward fringing coral reef, Guam, Mariana Islands. *Bulletin of marine Science*, **52**: 780-791.
- Kernaléguen L., Cazelles B., Arnould J.P., Richard P., Guinet C., Cherel Y., (2012).** Long-term species, sexual and individual variations in foraging strategies of fur seals revealed by stable isotopes in whiskers. *PloS One*, **7(3)**: e32916.
- Kerneis A., (1960).** Contribution à l'étude faunistique et écologique des herbiers de Posidonies de la région de Banyuls. *Vie et Milieu*, **11**: 145-187.
- Kenworthy W.J., Thayer G.W., (1984).** Production and decomposition of the roots and rhizomes of seagrasses, *Zostera marina* and *Thalassia testudinum*, in temperate and subtropical marine ecosystems. *Bulletin of Marine Science*, **35**: 364-379.
- Kharlamenko V., Kiyashko S., Imbs A., Vyshkvartzev D., (2001).** Identification of food sources of invertebrates from the seagrass *Zostera marina* community using carbon and sulfur stable isotope ratio and fatty acid analyses. *Marine Ecology Progress Series*, **220** : 103-117.
- Khripounoff A., Sibuet M., (1980).** La nutrition d'échinodermes abyssaux : Alimentation des holothuries. *Marine Biology*, **60**: 17-26.
- Kikuchi T., (1980).** Faunal relationships in temperate seagrass beds. In: Philips R. C., McRoy C. P. (Eds.): *Handbook of seagrass biology: An ecosystem perspective*. 153-172.
- Kitting C.L., Fry B., Morgan M.D., (1984).** Detection of inconspicuous epiphytic algae supporting food webs in seagrass meadows. *Oecologia*, **62**: 145-149.
- Klinger D.H., Dale J.J., Gleiss A.C., Brandt T., Estess E.E., Gardner L., Machado B., Norton A., Rodriguez L., Stiltner J., Farwell C., Block B.A., (2016).** The effect of temperature on postprandial metabolism of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 195: 32-38.
- Klumpp D.W., Nichols P.D., (1983).** Nutrition of the southern sea garfish *Hyporhamphus melanochir*: gut passage rate and daily consumption of two food types and assimilation of seagrass components. *Marine Ecology Progress Series*, **12** : 207-216.
- Kristensen E., Kostka J.E., (2005).** Macrofaunal burrows and irrigation in marine sediment: microbiological and biogeochemical interactions. In: Kristensen E., Haese R.R., Kostka J.E., (eds) *Interactions between macro- and microorganisms in marine sediments*. American Geosciences Union Coastal and Estuarine Studies, Washington, DC, p 125–157.
- Kropp R.K., (1982).** Responses of five holothurian species to attacks by a predatory gastropod, *Tonna pernix*. *Pacific Science*, **36**: 445-452.

- Kruskal W.H., Wallis, W.A., (1952).** Use of ranks in one criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, **47**: 583-621.
- Kuo J., Den Hartog C., (2001).** Seagrass taxonomy and identification key. In: Short FT and Coles RG (eds) *Global Seagrass Research Methods*, pp 31–58. Elsevier, Amsterdam.
- Kuo J., McComb A.J., (1989).** Seagrass taxonomy, structure and development in «Biology of seagrasses» AWD Larkum, AJ McComb and SA Shepherd Editors Elsevier Chapter **2**: 6-73.
- Kyoung H.K., Jae M.K., (2004).** The predation of trumpet shell, *Charonia sp.*, on eight different marine invertebrate species. *Aquaculture Research*, **35**: 1202-1206.
- Lacroix M., Mosora F., (1975).** Variations du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans le métabolisme animal. In: Symposium on Isotope Ratios as Pollutant Source and Behaviour Indicators. Atomic Energy Agency, pp. 343-58. Vienna.
- Larkum A.W.D., Den Hartog C., (1989).** Evolution and biogeography of seagrasses. In: Biology of seagrasses. Larkum A.W.D., McComb A.J., Shepherd S.A. (Eds.). *Elsevier Pub Co*, Amsterdam. 143-165.
- Larkum A.W.D., Orth R.J., Duarte C.M., (2006).** *Seagrasses, Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht: 691 pp.
- Larkum A.W.D., West R.J., (1990).** Long-term changes of seagrass meadows in Botany Bay, Australia. *Aquatic Botany*, **37**: 55–70.
- Larson S.D., Hoyt Z.N., Eckert G.L., Gill V.A., (2013).** Impacts of sea otter (*Enhydra lutris*) predation on commercially important sea cucumbers (*Parastichopus californicus*) in southeast Alaska. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **70**: 1498-1507.
- Lassauque J., Lepoint G., Thibaut T., Francour P., Meinesz A., (2010).** Tracing sewage and natural freshwater input in a Northwest Mediterranean bay: Evidence obtained from isotopic ratios in marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, **60**: 843-851.
- Lavitra T., Rasolofonirina R., Jangoux M., Eeckhaut I., (2009).** Problems related to the farming of *Holothuria scabra* (Jaeger, 1833). *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, **29**: 20-30.
- Lebreton B., Richard P., Galois R., Radenac G., Pfléger C., Guillou G., Mornet F., Blanchard G. F., (2011).** Trophic importance of diatoms in an intertidal *Zostera noltii* seagrass bed : Evidence from stable isotope and fatty acid analyses. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, **92**: 140-153.
- Lepoint G., Nyssen F., Gobert S., Dauby P., Bouquegneau J.M., (2000).** Relative impact of seagrass bed and its adjacent epilithic algal community in consumer diets. *Marine Biology*, **136** (3): 513-518.
- Lepoint G, Millet G, Dauby P, Gobert S, Bouquegneau J.M., (2002).** An annual nitrogen budget of the seagrass *P. oceanica* as determined by in situ uptake experiments. *Marine Ecology Progress Series*, **237**: 87-96.

- Lepoint G., Cox A.S., Dauby P., Poulicek M., Gobert S., (2006).** Food sources of two detritivore amphipods associated with the seagrass *Posidonia oceanica* leaf litter. *Marine Biology Research*, **2 (5)**: 355-365.
- Lepoint G, Jacquemart J, Bouquegneau J.M., Demoulin V., Gobert S., (2007).** Field measurements of inorganic nitrogen uptake by epiflora components of the seagrass *Posidonia oceanica* (Monocotyledons, Posidoniaceae). *Journal of Phycology*, **43**: 208-218.
- Les D.H., Cleland M.A., Waycott M., (1997).** Phylogenetic studies in Alismatidae, II: Evolution of marine Angiosperms (Seagrasses) and hydrophily. *Systematic Botany*, **22**: 443-463.
- Levin V.S., (1979).** A composition of feeding particles of some aspidochirote holothurians from the upper sublittoral zone in the Indo West Pacific. *Biol. Morya Vladivostok*, **6**: 20-28.
- Littlewood D.T.J, Smith A.B., Clough K.A., Emson R.H., (1997).** The interrelationships of the echinoderm classes: morphological and molecular evidence. *Biological Journal of the Linnean Society*, **61**: 409-438.
- Lohrer A.M., Thrush S.F., Gibbs M.M., (2004).** Bioturbators enhance ecosystem function through complex biogeochemical interactions. *Nature*, **431**: 1092-1095.
- Lobel P.S., Ogden J.C., (1981).** Foraging by the herbivorous parrotfish *Sparisoma radians*. *Marine Biology*, **64**: 173-183.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment), (2005).** Ecosystems and Human Wellbeing. Island Press, Washington, DC.
- Mabrouk L., Hamza A., Ben Brahim.M., Bradai M.N., (2011).** Temporal and depth distribution of microepiphytes on *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves in a meadow of Tunisia. *Marine Ecology*, **32**: 148-161.
- Mabrouk L., Ben Brahim M., Hamza A., Mahfoudi M., Bradai M.N., (2014).** Variability in the structure of epiphytic microalgae assemblages on the leaves of *Posidonia oceanica* in relation to human disturbance in a meadow of Tunisia. *Scientia Marina*, **78**: 27-39.
- McCutchan J.J.H., Lewis J.W.M., Kendall C., McGrath C.C., (2003).** Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, **102**: 378-390.
- Mactavish T., Stenton-Dozey J., Vopel K., Savage C., (2012).** Deposit feeding sea cucumbers enhance mineralization and nutrient cycling in organically-enriched coastal sediments. *PLoS One*, **7(11)**: e50031.
- Maggi C., González-Wanguermert M., (2015).** Genetic differentiation among *Parastichopus regalis* populations from Western Mediterranean Sea: potential effects of its fishery and current connectivity. *Mediterranean Marine Science*, **16(3)**: 489-501.
- Mangion P., Taddei D., Frouin P., Conand C. (2004).** Feeding rate and impact of sediment reworking by two deposit feeders *Holothuria leucospilota* and *Holothuria atra* on a fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean). In: Echinoderms: Munchen, T. Heinzeler & J. Nebelsick (eds.), Leiden: A.A. Balkema, 311-317.

- Majewska R., D'Alelio D., De Stefano M., (2014).** *Cocconeis* Ehrenberg (Bacillariophyta), a genus dominating diatom communities associated with *Posidonia oceanica* Delile (monocotyledons) in the Mediterranean Sea. *Aquatic Botany*, 112: 48-56.
- Mancinelli G., Vizzini S., Mazzola A., Maci S., Basset A., (2013).** Cross-validation of $\delta^{15}\text{N}$ and FishBase estimates of fish trophic position in a Mediterranean lagoon: The importance of the isotopic baseline. *Estuarian, Coastal and Shelf Science*, 135: 77-85.
- Mann J., (1999).** Behavioral sampling methods for cetaceans: a review and critique. *Marine Mammal Science*, 15: 102-122.
- Marba N., Duarte C.M., (1998).** Rhizome elongation and seagrass clonal growth. *Marine Ecology Progress Series*, 174: 269-280.
- Marba N., Duarte C.M., Holmer M., Martinez R., (2002).** Assessing the effectiveness of protection on *Posidonia oceanica* populations in the Cabrera National Park (Spain). *Environmental Conservation*, 29: 509-518.
- Mascart T, De Troch M, Remy F, Michel L.N, Lepoint G., (2018).** Seasonal dependence on seagrass detritus and trophic niche partitioning in four copepod eco-morphotypes. *Food webs*, e00086.
- Massin C., Jangoux M., (1976).** Observations écologiques sur *Holothuria tubulosa*, *H. polii* et *H. forskali* et comportement alimentaire de *Holothuria tubulosa*. *Cahier de Biologie Marine*, 17: 45-59.
- Massin C., (1980).** The sediment ingested by *Holothuria tubulosa* Gmelin (Holothuridea: Echinodermata). In: *Echinoderms: Present and Past*. Jangoux M et Lawrence J.M (eds). Balkema A.A., Publ., Rotterdam, Netherlands: 205-208.
- Massin C., (1982).** Effect of feeding on the environnement: Holothuroidea. In: *Echinoderm nutrition*. Jangoux M et Lawrence J.M., Balkema A.A., Publ., Rotterdam, Netherlands: 139-197.
- Massin C., Doumen C., (1986).** Distribution and feeding of epibenthic holothuroids on the reef flat of Laing Island (Papua New Guinea). *Marine Ecology Progress Series*, 31: 185-195.
- Matéo M. A., Romero J., Perez M., Littler M. M., Littler D. S., (1997).** Dynamics of millenary organic deposits resulting from growth of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuar. Coast. Shelf. Science.*, 44: 103-110.
- Matéo M.A., Cebrian J., Dunton K., Mutchler T., (2006).** Carbon flux in seagrass ecosystems. In: *Seagrasses: Biology, Ecology and Concervation*, Springer, Dordrecht, Netherlands, Chap 7, 159-192.
- Mazzella L., Cinelli F., Ott J.A., Kefpal W., (1981).** Studi sperimentali 'In situ' sull'epifitismo della *Posidonia oceanica* Delile. *Quad. Lab. Tecnol. Pesca, Ital.*, 3 (suppl. 1): 481-492.

- Mazzella L., Gambi M.C., Russo G.F., Buia M.C., (1984).** Deep flowering and fruiting of *Posidonia oceanica* beds around the Island of Ischia (Gulf of Naples). In: *International Workshop on Posidonia oceanica beds*. Boudouresque, C.F., Jeudy de Grissac, A., Olivier, J. edit., *GIS Posidonie pub.*, France, **1**: 203-209.
- Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M. Russo G.F., Scipione M.B., Zupo V., (1992).** Plant-animal trophic relationships in the *Posidonia oceanica* ecosystem of the Mediterranean Sea: A review. In: John *et al.* (eds.) *Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos*. Claderon Press, Oxford. 165-187.
- Mazzella L., (1983).** Studies on the epiphytic diatoms of *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves. *Rapport de la Commission Internationale de l'exploitation scientifique de la Mer Méditerranée*, **28**: 123-124.
- Mazzella L., Spinoccia L., (1992).** Epiphytic diatoms of leaf blades of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Giornale Botanico Italaliano*, **126 (6)**: 752-754 (in Italian).
- Mazzella L., Buia M.C., Spinoccia L., (1994).** Biodiversity of epiphytic diatom community on leaves of *Posidonia oceanica*. In: Marino, D., Montresor, M. (Eds.), *Proceeding of the Thirteenth International Diatom Symposium*. Biopress, Bristol, pp. 241–251.
- McMillan C., (1984).** The condensed tannins (Proanthocyanidins) in seagrasses. *Aquatic Botany*, **20**: 351-357.
- McMillan C., Zapata O., Escobar L., (1980).** Sulphated phenolic compounds in seagrasses. *Aquatic Botany*, **8**: 267-278.
- Medeiros-Bergen D.E., Miles E., (1997).** Recruitment in the holothurian *Cucumaria frondosa* in the Gulf of Maine. *Invertebrate Reproduction and Development*, **31**: 123-133.
- Meinesz A., Molenaar H., Bellone E., Loques F., (1992).** Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. I. Effects of rhizome length and transplantation season in orthotropic shoots. *Marine Ecology, PSZNI*, **13(2)**: 163-174.
- Mendes S., Newton J., Reid R.J., Zuur A.F., Pierce G.J., (2007).** Stable carbon and nitrogen isotope ratio profiling of sperm whale teeth reveals ontogenetic movements and trophic ecology. *Oecologia*, **151(4)**: 605-615.
- Merano G., Vaccarella R., (1970).** Fauna sessile delle foglie di *Posidonia oceanica* (L.). *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, **38**: 45-50.
- Mercier A., Battaglione S.C., Hamel J.F., (1999).** 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.
- Meysman F.J., Middelburg J.J., Heip C.H., (2006).** Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. *Trends in Ecology and Evolution*, **21**: 688-695.

- Mezali K., (1998).** Contribution à la systématique, la biologie, l'écologie et la dynamique de cinq espèces d'holothuries aspidochirotés (*Holothuria* (*H.*) *tubulosa*, *H. (L.) polii*, *H. (H.) stellati*, *H. (P.) forskali* and *H. (P.) sanctori*) inféodées aux herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la péninsule de Sidi-Fredj. Mémoire de Magister. Ecole National des Sciences de la Mer et de L'aménagement du Littoral. Algier. p. 192 .
- Mezali K., (2001).** Biométrie des holothuries aspidochirotés (Holothuroidea : Echinodermata) de la presqu'île de Sidi-Fredj (Algérie). *Rapp. P.V. Commiss. Internation. Mer Médit*, Monaco, 36, p 403.
- Mezali K., Chekaba B., Zupo V., Asslah B., (2003).** Comportement alimentaire de cinq espèces d'Holothuries aspidochirotés (Holothuroidea : Echinodermata) de la presqu'île de Sidi Fredj- Algérie. *Bulletin Societe Zoologique France*, **128**: 49-62.
- Mezali K. (2004a).** Micro-répartition des holothuries aspidochirotés au sein de l'herbier de *Posidonies* de la presqu'île de Sidi-Fredj - Algérie. *Rapports P.V. Commission International pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, Monaco, **Vol. 37**, p 534.
- Mezali K., (2004b).** Feeding behaviour of *Holothuria tubulosa* and *Holothuria polii* of Tamentefoust area - Algeria. *Rapports P.V. du 37^{eme} Congrès de la Commission International pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* : Barcelone **Vol. 37**, p 535.
- Mezali K., Zupo V., Francour P., (2006).** Population dynamics of *Holothuria (Holothuria) tubulosa* and *Holothuria (Lessonothuria) poli* of an Algerian *Posidonia oceanica* meadow. *Biol. Mar. Medit.*, **13 (4)**: 158-161.
- Mezali K., (2008).** Phylogénie, Systématique, dynamique des populations et nutrition de quelques espèces d'holothuries aspidochirotés (Holothuroidea : Echinodermata) inféodées aux herbiers de *Posidonies* de la côte algéroise. *Thèse de Doctorat d'état. Institut des Sciences Biologiques / Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger*, Algérie. 1-208.
- Mezali K., (2011).** Some insights on the phylogeny of Algerian shallow-water sea cucumber species (Holothuroidea: Aspidochirotida). *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, **31**: 45-47.
- Mezali K., Soualili D.L., (2013).** Capacité de sélection des particules sédimentaires et de la matière organique chez les holothuries. *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, (**33**): 38-43.
- Mezali K., Soualili D.L., Neghli L.S., Conand C., (2014).** Reproductive cycle of the sea cucumber *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Holothuroidea: Echinodermata) in the southwestern Mediterranean Sea: Interpopulation variability. *Invertebrate Reproduction and Developpement*, **58(3)**: 179-189.
- Mezali K., Caulier G., Soualili D.L., Decroo C., Demeyer M, Eeckhaut I., Gerbaux P., Flammang P., (2016).** Chemical characterization of saponins contained in the body wall and the Cuvierian tubules of the sea cucumber *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Delle Chiaje, 1823). *Biochemical Systematics and Ecology*, **68**: 119-127.

- Michel L., (2011).** Multidisciplinary study of trophic diversity and functional role of amphipod crustaceans associated to *Posidonia oceanica* meadows. *PhD Thesis*, University of Liège, Liège, Belgium.
- Michel L.N., Dauby P., Gobert S., Graeve M., Nyssen F., Thelen N., Lepoint G., (2015).** Dominant amphipods of *Posidonia oceanica* seagrass meadows display considerable trophic diversity. *Marine Ecology*, **36 (4)** : 969-981.
- Micheli C., Paganin P., Peirano A., Caye G., Meinesz A., Bianchi C.N., (2005).** Genetic variability of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in relation to local factors and biogeographic patterns. *Aquatic Botany*, **82**: 210-223.
- Michio K., Kengo K., Yasunori K., Hitoshi M., Takayuki Y., Hideaki Y., Hiroshi S., (2003).** Effects of deposit feeder *Stichopus japonicus* on algal bloom and organic matter contents of bottom sediments of the enclosed sea. *Marine Pollution Bulletin*, **47**: 118-125.
- Miller J.E., Pawson, D.L. (1990).** Swimming sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea): a survey with analysis of swimming behavior in four bathyal species. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences*, **35**: 1-18.
- Moberg F., Folke C., (1999).** Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, **29**: 215-233.
- Molenaar H., Barthelemy D., de Reffye P., Meinesz A., Mialet I., (2000).** Modelling architecture and growth patterns of *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, **66**: 85-99.
- Montefalcone M., Giovannetti E., Morri C., Peirano A., Bianchi C.N., (2013).** Flowering of the seagrass *Posidonia oceanica* in the NW Mediterranean: is there a link with solar activity? *Mediterranean Marine Science*, **14(2)**: 416-423.
- Montgomery W.L., Gerking S.D., (1980).** Marine macroalgae as foods for fishes: an evaluation of potential food quality. *Environmental Biology of Fishes*, **5 (2)**:143-153.
- Moriarty D.J.W., (1982).** Feeding of *Holothuria atra* and *Stichopus chloronotus* on bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the Great Barrier Reef. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, **33**: 255-263.
- Mossé R.A., (1984).** Les écailles des rhizomes plagiotropes de *Posidonia oceanica* : étude des variations cycliques. In: International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds. Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. Edit., GIS Posidonie publ. **1**: 217-226.
- Mukai H., Koike I., Nishihira M., Nojima S., (1989).** Oxygen consumption and ammonium excretion of mega-sized benthic invertebrates in a tropical seagrass bed. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **134**: 101-115.
- Nadon M.O., Himmelman J.H., (2006).** Stable isotopes in subtidal food webs: Have enriched carbon ratios in benthic consumers been misinterpreted? *Limnology and Oceanography*, **51(6)** : 2828-2836.

- Navarro P.G., Garcia-Sanz S., Tuya F., (2012).** Reproductive biology of the sea cucumber *Holothuria sanctori* (Echinodermata: Holothuroidea). *Scientia Marina*, **76**: 741-752.
- Nedelec H., (1982).** Ethologie alimentaire de *Paracentrotus lividus* dans la baie de Galéria (Corse) et son impacte sur les peuplements phytobenthiques. *Thèse Doct. 3^{eme} Cycle océanogr. Boil., Univ. Paris 6, Fr.:* 1-175.
- Newton K.C., Wraith J., Dickson K.A., (2015).** Digestive enzyme activities are higher in the shortfin mako shark, *Isurus oxyrinchus*, than in ectothermic sharks as a result of visceral endothermy. *Fish Physiology and Biochemistry*, **41**: 887-898.
- Novak R., (1984).** A study in ultra-ecology: Micoorganisms on the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. P.S.Z.N.I: *Marine Ecology*, **5 (2)**: 143-190.
- Orth R.J., Van Montfrans J., (1984).** Epiphyte-seagrass relationships with an emphasis on the role of micro-grazing: a review. *Aquatic Botany*, **18**: 43-69.
- Ott J., Maurer L., (1977).** Strategies of energy transfer from marine macrophytes to consumer levels: the *Posidonia oceanica* example. *11th European Symposium on Marine Biology, Galway*, 493-502.
- Owens N.J.P., (1987).** Natural variations in ¹⁵N in the marine environment. *Advances in Marine Biology*, **24**: 389-451.
- Paltzat D.L., Pearce C.M., Barnes P.A., McKinley R.S., (2008).** Growth and production of California sea cucumbers (*Parastichopus californicus* Stimpson) co-cultured with suspended Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, **275** : 124-137.
- Panayotidis P., Liapi A., (1990).** Note sur l'inflorescence de *Posidonia oceanica* (L.) Delile (Potamogetonaceae). *Thalassographica*, **13 (1)**: 39-42.
- Parnell A.C., Inger R., Bearhop S., Jackson A.L., (2010).** Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Much Variation. *Plos One*, **5(3)** : e9672.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Clabaut P., Pergent G., (1998).** Mapping of *P. oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar: Application of the island of Corsica (France). *Estuarine Coastal Shelf Science*, **47**: 359-367.
- Pasqualini V., Pergent-Martini C., Pergent G., (1999).** Environmental impacts identification along corsican coasts (Mediterranean Sea) using image processing. *Aquatic Botany*, **65**: 311-320.
- Peduzzi P., Herndl G.J., (1986).** Role of bacteria in decomposition of fecal pellets egested by the epiphyte grazing gastropod *Gibbula umbilicaris*. *Marine Biology*, **92**: 417-424.
- Pérez-Lloréns J.L., Vergara J.J., Olivé I, Mercado J.M., Conde-Álvarez R., Pérez-Ruzafa Á., Figueroa F.L., (2014).** Autochthonous Seagrasses. The Mediterranean Sea, Springer: 137-158.

- Pergent G., Ben Maiz N., Boudouresque C.F., Meinesz A., (1989).** The flowering of *Posidonia oceanica* over the past fifty years: a lepidochronological study. In: Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. (Eds), 2nd International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds. GIS Posidonie Publ. Fr., 2 : 69-76.
- Pergent G., (1991).** Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. *Oceanis*, **17(4)**: 341-350.
- Pergent G., Kempf M., (1993).** L'environnement marin côtier en Tunisie. 1. Rapport de synthèse. 2. Etude documentaire. 3. Ann. Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement (Tunisie), Ifremer & GIS Posidonie, Marseille.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., (1995).** Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée*, **54**: 3-29.
- Pergent G., Rico-Raimondino V., Pergent-Martini C., (1997).** Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquat. Bot.*, **59**: 307-321.
- Peterson B.J., Fry B., (1987).** Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **18**: 293-320.
- Phillips R.C., Menez E.G., (1988).** Seagrasses. Smithsonian Contributions to the Marine Sciences 34. Smithsonian Institution Press 34, Washington, DC.
- Piazzì L., Acunto S., Cinelli F., (2000).** Mapping of *P. oceanica* beds around Elba Island (western Mediterranean) with integration of direct and indirect methods. *Oceanologica Acta*, **23 (3)**: 339-346.
- Piazzì L., Balata D., Ceccherelli G., (2016).** Epiphyte assemblages of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: an overview. *Marine Ecology*, **37**: 3-41.
- Pierce G.J., Boyle P.R., Diack J.S.W., Clark I., (1990).** Sandeels in the diets of seals: application of novel and conventional methods of analysis to faeces from seals in the Moray Firth area of Scotland. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **70**: 829-840.
- Pimentel D., Wilson C., McCullum C., Huang R., Dwen P., Flack J., Tran Q., Saltman T., Cliff B., (1997).** Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience*, **47**: 747-757.
- Pitt R., Duy N.D.Q., Duy T.V., Long H.T.C., (2004).** Sandfish (*Holothuria scabra*) with shrimp (*Penaeus monodon*) co-culture tank trials. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, **20**: 12-22.
- Plante R., Plante-Cuny M.R., Reys JP., (1986).** Photosynthetic pigments of sandy sediments on the north Mediterranean coast: their spatial distribution and its effects on sampling strategies. *Marine Ecology Progress Series*, **34**: 133-141.

- Platini F., (2000).** La protection des habitats aux herbiers en Méditerranée. *Rapport PNUE, PAM, CAR/ASP* publ.: 1-65.
- Pomeroy L.R., Deibel D., (1980).** Aggregation of organic matter by pelagic tunicates. *Limnology and Oceanography*, **25**: 643-652
- Post D.M., (2002).** using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, **83**(3): 703-718.
- Povero P., Misic C., Ossola C., Castellano M., Fabiano M., (2003).** The trophic role and ecological implications of oval faecal pellets in Terra Nova Bay (Ross Sea). *Polar Biology*, **26**: 302-310.
- Prado P., Alcoverro T., Martinez-Crego B., Vergés A., Pérez M, Romero J., (2007).** Macrograzers strongly influence patterns of epiphytic assemblages in seagrass meadows. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **350**: 130-143.
- Procaccini G., Mazzella L., (1996).** Genetic structure of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Western Mediterranean: ecological implications. *Marine Ecology Progress Series*, **140**: 153-160.
- Procaccini G., Buia M.C., Gambi M.C., Perez M., Pergent G., Pergent-Martini C., Romero J., (2003).** The seagrasses of the Western Mediterranean. *In: Green, E.P. and Short F.T. (Eds.), World Atlas of Seagrasses. University of California Press Publishers*: 48-58.
- Purcell S., (2004).** Rapid growth and bioturbation activity of the sea cucumber *Holothuria scabra* in earthen ponds. *Proceedings of Australasian Aquaculture, Sydney: World Aquaculture Society* 1, 244 only.
- Purcell S. (2013).** Increasing the value of sea cucumber harvests by improving postharvest processing of fishers. 8th SPC Heads of Fisheries Meeting and Meetings for the EU Funded SciCOFish and GEF OFMP2 Projects, Noumea, New Caledonia, 4-8 March, SPC Division of Fisheries.
- Purcell S.W., Simutoga M., (2008).** Spatio-temporal and size-dependent variation in the success of releasing cultured sea cucumbers in the wild. *Reviews in Fisheries Science*, **16**: 204-214.
- Purcell S., Samyn S., Conand C., (2012).** Commercially important sea cucumbers of the world. *FAO Species Catalogue for Fishery Purposes* no. 6. Rome; p. 1–150.
- Purcell S., Mercier A., Conand C., Hamel J.F., Toral-Granda M.V., Lovatelli A., Uthicke S., (2013).** Sea cucumber fisheries: global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing. *Fish and Fisheries*, **14**: 34-59.
- Purcell S.W., Conand C., Uthicke S., Byrne M., (2016).** Ecological roles of exploited sea cucumbers. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, **54**: 367-386.

- R Core Team (2017).** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramón M., Leonart J., Massutí E., (2010).** Royal cucumber (*Stichopus regalis*) in the northwestern Mediterranean: Distribution pattern and fishery. *Fisheries Research*, 105: 21-27.
- Read J., Stokes A., (2006).** Plant biomechanics in an ecological context. *American Journal of Botany*, 93: 1546–1565.
- Reise K., (2002).** Sediment mediated species interactions in coastal waters. *Journal of Sea Research*, 48: 127-141.
- Reich M., (1999).** Ordovizische und silurische Holothurien (Echinodermata). *Greifswalder Geowissenschaftliche Beiträge*, 6: 479-488.
- Reich M., (2001).** Ordovician holothurians from the Baltic Sea area. In: M. Barker (eds), *Echinoderms*, 2000: 93-96. Lisse etc.: A. A. Balkema Publishers.
- Remizowa M.V., Sokoloff D.D., Calvo S., Tomasello A., Rudall P.J., (2012).** Flowers and inflorescences of the seagrass (posidoniaceae, alismatales). *American Journal of Botany*, 99(10): 1592-1608.
- Remy F., 2010.** Structure trophique et diversité des macro-organismes associés aux litières de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, dans la baie de Calvi en Corse. *Master Thesis, University of Liège*, Liège, 49pp.
- Remy F., (2016).** Characterization, dynamics and trophic ecology of macrofauna associated to seagrass macrophytodetritus accumulations (Calvi Bay, Mediterranean Sea). *PhD Thesis. University of Liège*, Liège, 285 pp.
- Remy F., Darchambeau F., Melchior A., Lepoint G., (2017).** Impact of food type on respiration, fractionation and turnover of carbon and nitrogen stable isotopes in the marine amphipod *Gammarus aequicauda* (Martynov, 1931). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 486: 358-367.
- Remy F., Mascart T., De Troch M., Michel L., Lepoint G., (2018).** Seagrass organic matter transfer in *Posidonia oceanica* macrophytodetritus accumulations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212: 73-79.
- Richir J., Salivas-Decaux M., Lafabrie C., Lopez y Royo C., Gobert S., Pergent G., Pergent-Martini C., (2015).** Bioassessment of trace element contamination of Mediterranean coastal waters using the seagrass *Posidonia oceanica*. *Journal of Environmental Management* 151: 486-499.
- Roberts O., (1979).** Deposit-feeding mechanisms and resource partitioning in tropical holothurians. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 37: 43-56.
- Roberts O., Bryce C., (1982).** Further observations on tentacular feeding mechanisms in holothurians. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 59: 151-163.

- Roberts D., Manship M., Moore H., Horsfall I., Eardly D., Santos V., Patching J., Wolff G.A. (1996).** Feeding strategies and impact of holothurians on the deep-sea floor. In: B.F. Keegan, & R. O'Connor (Eds.), *Irish marine science* (pp. 237–252). Galway University Press Ltd.
- Roberts D., Gebruk A., Levin V., Manship B.A.D., (2000).** Feeding and digestive strategies in deposit-feeding Holothurians. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, **38**: 257-310.
- Roberts D., Moore H.M., Berges J., Patching J.W., Carton M.W., Eardly D.F. (2001).** Sediment distribution, hydrolytic enzyme profiles and bacterial activities in the guts of *Oneirophanta mutabilis*, *Psychropotes longicauda* and *Pseudostichopus villosus*: What do they tell us about digestive strategies of abyssal holothurians? *Progress in Oceanography*, **50 (1-4)**: 443-458.
- Robinson G., Pascal B., (2012).** Sea cucumber farming experiences in south-west Madagascar. In: Asia–Pacific Tropical Sea Cucumber Aquaculture. *ACIAR Proceedings*, **136**. C.A. Hair, T.D. Pickering & D.J. Mills (eds.). Noumea: Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, 142-155.
- Roggatz C.C., (2012).** Health from the Ocean – Sea cucumbers as food of high nutritional value and source of bioactive compounds. *PhD thesis*. Universidade do Algarve.
- Romero J., (1989).** Seasonal pattern of *Posidonia oceanica* production: growth, age and renewal of leaves. In: Boudouresque C.F., Meneisz A., Fresi E. and Gravez V. (Eds.), *International Workshop on Posidonia Beds. GIS Posidonie publ.*, France: 63- 67.
- Romero J., (2004).** Las praderas de Fanerógamas marinas. La producción primaria y su destino. Características de los restos de la planta. In: Luque A.A., Templado J. edits. *Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, *Junta de Andalucía publ.*, Sevilla: 74-81.
- Romero J., Perez L., Matéo M.A., Sala E., (1994).** The belowground organs of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* as a biogeochemical sink. *Aquatic Botany*, **47**: 13-19.
- Romero J., Lee K.S, Perez M., Mateo M.A., Alcoverro T., (2006).** Nutrient dynamics in seagrass ecosystems. In: Larkum AWD, Orth RJ, Duarte CM (eds) *Seagrasses : Biology, Ecology and Conservation*, Book 1. Springer.
- Rothans TC., Miller A.C., (1991).** A link between biologically imported particulate organic nutrients and the detritus food web in reef communities. *Marine Biology*, **110**: 145-150.
- Rowe F.W.E., (1969).** A review of the family Holothuroidea (Holothurioidae: Aspidochirotida). *Bulletin of British Museum of Natural History, Zoology*, **18 (4)**: 119-170.
- Ricart A.M., Dalmau A., Pérez M., Romero J., (2015).** Effects of landscape configuration on the exchange of materials in seagrass ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, **532**: 89-100.

- Rico-Raimondino V., (1995).** Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. *Th. Univ Aix- Marseille II*. Fr. 1-248.
- Riera P., Richard P., (1996).** Isotopic determination of food sources of *Crassostrea gigas* along a trophic gradient in the estuarine bay of Marennes-Oléron. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **42**: 347-360.
- Robertson A.I., (1980).** The structure and organisation of an eelgrass fish fauna. *Oecologia*, **47**: 76-82.
- Rublee P.A., Roman M.R., (1982).** Decomposition of turtlegrass (*Thalassia testudinum* König) in flowing sea-water tanks and litterbags : compositional changes and comparison with natural particulate matter. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **58**: 47-58.
- Ruíz J.M., Romero J., (2001).** Effects of *In situ* experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*, **215**: 107-120.
- Ruíz J.M., Marin-Guirao L., Sandoval-Gil J.M., (2009).** Responses of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to in situ simulated salinity increase. *Botanica Marina*, **52**: 459-470.
- Ruocco N., Mutalipassi M., Pollio A., Costantini S., Costantini M., Zupo V., (2018).** First evidence of *Halomicronema metazoicum* (Cyanobacteria) free-living on *Posidonia oceanica* leaves. *PLoS ONE*, **13(10)** : e0204954.
- Samyn Y., Vandenspiegel D., Massin C., (2006).** Taxonomie des holothuries des Comores. *ABC Taxa* Vol., **1**: 1-130.
- Schaal G., (2009).** Structure et fonctionnement des réseaux trophiques associés aux écosystèmes littoraux rocheux en situation écologiques contrastées : approches isotopiques et biochimiques combinées. *These de Doctorat*. Université Pierre et Marie Curie (Paris).
- Sheffield G.G., Fay F.H., Feder H., Kelly B.P., (2001).** Laboratory digestion of prey and interpretation of walrus stomach contents. *Marine Mammal Science*, **17**: 310-330.
- Scherrer B., (1984).** Biostatistique. *Gaetan morin éditeur*, Chicoutimi, Québec, 1-850.
- Schoener T.W., (1970).** Non synchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology*, **51**: 408-418.
- Shi C., Dong S.L., Wang F., Gao Q.F., Tian X.L., (2013).** Effects of four fresh microalgae in diet on growth and energy budget of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture*, **416**: 296-301.
- Shi C., Dong S.L., Pei S., Wang F., Tian X.L., Gao Q.F., (2015).** Effects of diatom concentration in prepared feeds on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture Research*, **46**: 609-617.

Short F.T., Coles R.G., (2001). Global Seagrass Research Methods. Short, F.T. and Coles, R.G. (eds). Elsevier Science B.V., Amsterdam. 473pp.

Short FT, Coles RG and Pergent-Martini C (2001). Global seagrass distribution. In: Short FT and Coles RG (eds) Global Seagrass Methods, pp 5–30. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., Waycott, M., (2007). Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **350**: 3-20.

Smith E.P., (1982). Niche breadth, resource availability, and inference. *Ecology*, **63(6)**: 1675-1681.

Sicuro B., Levine J., (2011). Sea cucumber in the Mediterranean: apotential species foraquaculture in the Mediterranean. *Reviews in Fisheries Science*, **19**: 299-304.

Sicuro B, Piccinno M, Gai F, Abete MC, Danieli A, Dapra F, Mioletti S, Vilella S., (2012). Food quality and safety of Mediterranean sea cucumbers *Holothuria tubulosa* and *Holothuria polii* in southern Adriatic Sea. *Asian Journal of Anim Veterinary Advances*, **7**: 851-859.

Sloan N.A., (1979). Microhabitat and resource utilization in crytic rocky intertidal Echinoderms at Aldabra Atoll, Seychelles. *Marine Biology*, **54**: 269-279.

Sloan N.A., Von Bodungen B., (1980). Distribution and feeding of the sea cucumber *Isostichopus badionotus* in relation to shelter and sediment criteria of the Bermuda Plattorm. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **2 (3)**: 257-264.

Smiley S., (1994). Holothuroidea. In: E W. Harrison (eds.). *Microscopic Anatomy of Invertebrates*, **14**: 401-471. Wiley. New York.

Smith S.C., Whitehead H., (2000). The diet of Galapagos sperm whales *Physeter macrocephalus* as indicated by fecal sample analysis. *Marine Mammal Science*, **16**: 315-325.

Sonnenholzner J., (2003). Seasonal variation in the food composition of *Holothuria theeli* (holothuroidea: aspidochirotida) with observations on density and distribution patterns at the central coast of ecuador. *Bulletin of Marine Science*, **73(3)**: 527–543.

So J.J., Hamel J.F., Mercier A., (2010). Habitat utilisation, growth and predation of *Cucumaria frondosa*: implications for an emerging sea cucumber fishery. *Fisheries Management and Ecology*, **17**: 473-484.

Solan M., Cardinale B.J., Downing A.L., Engelhardt K.A.M., Ruesink J.L., Srivastava D.S. (2004). Extinction and ecosystem function in the marine benthos. *Science*, **306**: 1177-1180.

Sponheimer M., Robinson T., Ayliffe L., Roeder B., Hammer J., Passey B., West A., Cerling T., Dearing D., Ehleringer J., (2003). Nitrogen isotopes in

- mammalian herbivores: Hair $\delta^{15}\text{N}$ values from a controlled feeding study. *International Journal of Osteoarchaeology*, **13**: 80-87.
- Stamhuis E.J., Videler J.J., de Wilde P.A.W.J., (1998).** Optimal foraging in the thalassinidean shrimp *Callinassa subterranean* Improving food quality by grain size selection. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **228**: 197-208.
- Stonik V.A., Kalinin V.I., Avilov S.A., (1999).** Toxins from sea cucumbers (Holothuroids): Chemical structures, properties, taxonomic distribution, biosynthesis and evolution. *Journal of Natural Toxins*, **8**: 235-248.
- Stoppelli N., Peirano A., (1996).** Continuous flowering of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Bay of Monterosso al Mare (SP) (North-Western Mediterranean Sea). *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*, 60-61: 31-40.
- Sturaro N., Caut S., Gobert S., Bouquegneau J.M., Lepoint G., (2010).** Trophic diversity of idoteids (Crustacea, Isopoda) inhabiting the *Posidonia oceanica* litter. *Marine Biology*, **157**: 237-247.
- Tararam A.S., Mesquita H.S.L., Wakabara Y., Clóvis A.P., (1990).** Food ingestion and assimilation by *Hyale media* (Dana, 1853) (Crustacea - Amphipoda). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, **38** (1): 11-21.
- Telesca L., Belluscio A., Criscoli A., Ardizzone G., Apostolaki E.T., Frascchetti S., Gristina M., (2015).** Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports*, **5**: 12505.
- Tenore K.R., (1977).** Growth of *Capitella capitata* cultured on various levels of detritus derived from different sources. *Limnology and Oceanography*, **22**: 936-941.
- Tenore K.R., Hanson R.B., (1980).** Availability of different detritus with aging to a polychaete macroconsumer, *Capitella capitata*. *Limnology Oceanography*, **25**: 553-558.
- Tenore K.R., Rice D.L., (1980).** Trophic factors affecting secondary production of deposit-feeders. In: Tenore, K. R., Coull, B. C. (ed.) *Marine benthic dynamics*. University of South Carolina Press, Columbia, p. 325-340.
- Tenore K.R., Hanson R.B., McClain J., Maccubbin A.E., Hodson R.E., (1984).** Changes in composition and nutritional value to a benthic deposit feeder of decomposing detritus pools. *Bull. Mar. Sci.* 35, 299-311.
- Thelin L., Boudouresque C.F., (1985).** *Posidonia oceanica* flowering and fruiting recent data from an international inquiry. *Posidonia Newsletter*, Fr., **1** (1) : 5-14.
- Thayer G.W., Bjorndal K.A., Ogden J.C., Williams S.L., Joseph C., Bay T., (1984).** Role of Larger Herbivores Seagrass Communities. *Estuaries*, 7: 351-376.
- Thor P., Dam H.G., Rogers D.R., (2003).** Fate of organic carbon released from decomposing copepod fecal pellets in relation to bacterial production and ectoenzymatic activity. *Aquatic Microbial Ecology*, 33: 279-288.

- Thorne R.S.J., Williams P., Cao Y., (1999).** The influence of the data transformations on biological monitoring studies using macroinvertebrates. *Water Research*, **33**: 343-350.
- Tieszen L.L., Boutton T.W., Tesdahl K.G., Slade N.A. (1983).** Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*, **57**: 32-37.
- Toral-Granda V., (2006).** Situation biologique et commerciale des concombres de mer des familles Holothroidae et Stichopodidae. *CITES Workshop on the conservation of sea cucumbers*, Lima (Perou). (Doc 16). 32p.
- Toral Granda V., Lovatelli A., Vasconcellos M., (2008).** Sea cucumbers. A global review on fishery and trade. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 516. Rome, 319 pp.
- Toral-Granda V., Lovatelli A., Vasconcellos M., (2009).** Etat des stocks et commerce mondial des holothuries. *Bulletin de la CPS La bêche-de-mer*, **28** : 4-6.
- Toscano A., Bentivegna F., Cirino P., (1992).** Holothurians responses to attack by the tonnid gastropod *Tonna galea*. In: Echinoderm research. Scalera-Liaci L., Canicatti C., (eds)., p. 204. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Traer K., (1979).** The consumption of *Posidonia oceanica* Delile by Echinoids at the isle of Ischia. In: *Proc. Eur. Colloquium on Echinoderms*, Brussels, 3-8 Sept. 241-244.
- Trefz S., (1958).** The physiology of digestion of *Holothuria atra* Jaeger with special reference to its role in the ecology of coral reefs. *Ph.D. Thesis, Univ. of Hawaii*, Honolulu: 1-149.
- Tripoteau L., (2015).** Valorisation des coproduits de l'holothurie *Cucumaria frondosa* par l'étude d'extraits bioactifs et approche écotoxicologique des métabolites secondaires relargués en situation de stress. *These de Doctorat*. Université de Bretagne-Sud. 1-226.
- Trystram C., (2016).** Ecologie trophique de poissons prédateurs et contribution à l'étude des réseaux trophiques marins aux abords de La Réunion. *These de Doctorat*. Biologie animale. Université de la Réunion. 1-344.
- UrbanRich J., Nordby E., Andreassen I.J., Wassmann P., (1999).** Contribution by mesozooplankton fecal pellets to the carbon flux on Nordvestbanken, north Norwegian shelf in 1994. *Sarsia*, **84**: 253-264.
- Uthicke S., (1999).** Sediment bioturbation and impact of feeding activity of *Holothuria (Halodeima) atra* and *Stichopus chloronotus*, two sediment feeding holothurians, at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Bulletin of Marine Science*, **64**: 129-141.
- Uthicke S., (2001a).** Nutrient regeneration by abundant coral reef holothurians. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **265**: 153-170.
- Uthicke S., (2001b).** Interactions between sediment-feeders and microalgae on coral reefs: Grazing losses versus production enhancement. *Marine Ecology Progress Series*, **210**: 125-138.

- Uthicke S., Klumpp D.W., (1997).** Ammonium excretion by holothurians enhances production and turnover in benthic diatom communities. *In: Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium*, Panama, H.A. Lessios & I.G. Macintyre (eds.), Balboa: Smithsonian Tropical Research Institute, **1**: 873-876.
- Uthicke S., Klumpp D.W., (1998).** Microbenthos community production in sediments of a near shore coral reef: seasonal variation and response to ammonium recycled by holothurians. *Marine Ecology Progress Series*, **16**: 1-11.
- Uthicke S., Karez R., (1999).** Sediment patch selectivity in tropical sea cucumbers (Holothurioidea: Aspidochirotida) analyzed with multiple choice experiments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **236 (1)**: 69-87.
- Uthicke S., Welch D., Benzie J.A.H., (2004).** Slow Growth and Lack of Recovery in Overfished Holothurians on the Great Barrier Reef: Evidence from DNA Fingerprints and Repeated Large-Scale Surveys. *Conservation Biology*, **18**: 1395-1404.
- Valentine J.F., Heck, K.L., (1999).** Seagrass herbivory: Evidence for the continued grazing of marine grasses. *Marine Ecology Progress Series*, **176**: 291-302.
- Valentine J. F., Duffy J.E., (2006).** The central role of grazing in seagrass ecology. *In: Larkum, A. W. D., Orth, R. J., Duarte, C. M. (Eds.), Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, 463-501.
- Van der Ben D., (1971).** Les épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* Delile sur les côtes françaises de la Méditerranée. Institut Royal des sciences Naturelles de Belgique, Mémoires, 168:101.
- Vanderklift M.A., Ponsard S., (2003).** Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*, **136**: 169-182.
- Vander Zanden M.J., Rasmussen J.B., (1999).** Primary consumer $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*, **80**: 1395-1404.
- Van Dyck S., Gerbaux P., Flammang P. (2009).** Elucidation of molecular diversity and body distribution of saponins in the sea cucumber *Holothuria forskali* (Echinodermata) by mass spectrometry. *Comparative Biochemistry and Physiology B: Biochemistry and Molecular Biology*, **152**: 124-134.
- Van Tussenbroek B.I., Soissons L.M., Bouma T.J., Asmus R., Auby I., Brun F.G., Cardoso P.G., Desroy N., Fournier J., Ganthy F., Garmendia J.M., Godet L., Grilo T.F., Kadel P., Ondiviela B., (2016).** Pollen limitation may be a common Allee effect in marine hydrophilous plants: implications for decline and recovery in seagrasses. *Oecologia*, **182 (2)**: 595-609.
- Vassalloa P., Chiara P., Rovere A., Montefalcone M., Morri C., Bianchia C.N., (2013).** The value of the seagrass *Posidonia oceanica*: A natural capital assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 75(1-2): 157-167.

- Verlaque M., (1981).** Preliminary data on some *Posidonia oceanica* feeders. *Rapport de la commission internationale de la mer méditerranéenne*, **27(2)**: 20-21.
- Vermeulen S., Sturaro N., Gobert S., Bouqueneau J.M., Lepoint G., (2011).** Potential early indicators of anthropogenically derived nutrients: a multiscale stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, **422**: 9-22.
- Vicente V.P., Arroyo-Aguilu J.A., Rivera J.A., (1980).** Thalassia as a food source: importance and potential in the marine and terrestrial environments. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, **64 (1)**: 107-120.
- Vizzini S., (2009).** Analysis of the trophic role of Mediterranean seagrasses in marine coastal ecosystems: a review. *Botanica Marina*, **52 (5)**: 383-393.
- Walker D.I., Pergent G., Fazi S., (2001).** Seagrass decomposition. In: SHORT F.T. & COLE R.G. (eds). *Global Seagrass Research Methods*: 313-324. Elsevier Scientific Publishers B.V., Amsterdam.
- Wangeluve D., (2007).** Effets de la transplantation sur la biométrie et sur la dynamique des nutriments, du carbone et de la chlorophylle de *Posidonia océanica* (L.) Delile. *Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université de Liège*. 1-196.
- Webb K.L., D'Elia C.F., Dupaul W.D., (1977).** Biomass and nutrition flux measurements on *Holothuria atra* populations on windward reef flats at Enewetak, Marshall Islands. Proceedings of the 3rd International Coral Reef Symposium, Miami, Florida, D.L. Taylor (ed), Miami: University of Florida, **1**: 410-415.
- Wellman C.H., Osterloff P.L., Mohuddin U., (2003).** Fragments of the earliest land plants. *Nature*, **425**: 282-285.
- Wetherbee B.M., Gruber H.S., Cortes E., (1990).** Diet, Feeding Habitat, Digestion, and Consumption in Sharks, with Special Reference to the Lemon Sharks, *Negaprion brevirostris*. *NOAA Technical Report*, **90**: 29-47.
- Whitlatch R.B., (1974).** Food resource partitioning in the deposit feeding polychaete *Pectinaria gouldii*. *Biological Bulletin*, **147**: 227-235.
- Wittmann K.J., (1984).** Temporal and morphological variations of growth in a natural sand of *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Marine ecology*, **5(4)**: 301-316.
- Wolkenhauer S.M., Uthicke S., Burridge C., Skewes T., Pitcher R., (2010).** The ecological role of *Holothuria scabra* (Echinodermata: Holothuroidea) within subtropical seagrass beds. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **90**: 215-223.

- Wotton R.S., Malmqvist B., (2001).** Feces in Aquatic Ecosystems: Feeding animals transform organic matter into fecal pellets, which sink or are transported horizontally by currents; these fluxes relocate organic matter in aquatic ecosystems. *BioScience*, **51 (7)**: 537-544.
- Xie X., Zhao W., Yang M., Zhao S., Wei J., (2017).** Beneficial effects of benthic diatoms on growth and physiological performance in juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture international*, **25 (1)**: 287-302.
- Yamanouti T., (1939).** Ecological and physiological studies on the holothurians in the coral reef of Palao Islands. *Palao Tropical Biological Studies*, **4**: 603-636.
- Yamanouchi T., (1956).** The daily activity rhythms of the holothurians in the coral reefs of the Palao Islands. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, **5 (3)**: 347-362.
- Yingst J., (1974).** The utilization of organic detritus and associated microorganisms by *Parastichopus parvimensis*, a benthic deposit-feeding holothurian. *PhD. Thesis, Univ. South California*: 1-154.
- Yingst J.Y., (1976).** The utilization of organic matter in shallow marine sediments by an epibenthic deposit-feeding holothurian. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **23**: 55-69.
- Yingst J., (1982).** Factors influencing rates of sediment ingestion by *Parastichopus parvimensis* (Clark), an epibenthic deposit-feeding Holothurian. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **14**: 119-134.
- Yu Z., Zhou Y., Yang H., Ma Y., Hu C., (2014).** Survival, growth, food availability and assimilation efficiency of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* bottom-cultured under a fish farm in southern China. *Aquaculture*, **426-427**: 238-248.
- Yu Z., Yang H., Hamel J.F., Mercier A., (2015).** Larval, juvenile, and adult predators. In: *The Sea Cucumber Apostichopus japonicus: History, Biology and Aquaculture*, H. Yang et al. (eds.). London: Academic Press, 243-256.
- Yuan X., Zhou Y., Mao, Y. (2015).** *Apostichopus japonicus*: A key species in integrated polyculture systems. In: *The Sea Cucumber Apostichopus japonicus: History, Biology and Aquaculture*, H. Yang et al. (eds.). London: Academic Press, 323-332.
- Yokoyama H., (2013).** Growth and food source of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured below fish cages: potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, **372**: 28-38.
- Yoon W.D., Marty J.C., Sylvain D., Nival P., (1996).** Degradation of faecal pellets in *Pegea confoederata* (Salpidae, Thaliacea) and its implications in the vertical flux of organic matter. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **203**: 147-177.
- Zapata O., Mcmillan C., (1979).** Phenolic acids in seagrasses. *Aquatic Botany*, **7**: 307-317.

Zieman J.C., Macko S.A., Mills A.L., (1984). Role of seagrasses and mangroves in estuarine food webs: temporal and spatial changes in stable isotope composition and amino acid content during decomposition. *Bulletin of Marine Science*, **35**: 380-392.

Zimmer M., Danko J.P., Pennings S.C., Danford A.R., Carefoot T.H., Ziegler A., Uglow R.F., (2002). Cellulose digestion and phenol oxidation in coastal isopods (Crustacea: Isopoda). *Marine Biology*, **140**: 1207-1213.

Zimmerman R., Gibson R., Harrington J., (1979). Herbivory and detritivory among gammaridean amphipods from a Florida seagrass community. *Marine Biology*, **54**: 41-47.

Zupo V., Fresi E., (1984). A study of the food web of the *Posidonia oceanica* ecosystem: analysis of the gut contents of Echinoderms. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edit., *GIS Posidonie publ.*, Fr., **1** : 373-379.

Documents consultés

Benhamidi., (2002). Analyse microbiologique et physique-chimique des deux rejets de complexe laitier de sidi Saada de Relizane et de l'unité de l'hydrolyse de Mostaganem. *Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie ; Université de Mostaganem*. 1-69.

Sites internet utilisés

<http://www.citypopulation.de/php/algeria-admin.php>

<https://www.mio.univ-amu.fr/gisposidonie>

ANNEXES

Travaux scientifiques

I- Publications (full paper)

II.1. Publication parus dans une revue internationale

Belbachir N., Mezali K., Soualili D.L., (2014). Selective feeding behaviour in some aspidochirotid holothurians (Echinodermata: Holothuroidea) at Stidia, Mostaganem Province, Algeria. *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, **34**: 34-37.

Belbachir N., Mezali K., (2018). Food preferences of four aspidochirotid holothurians species (Holothuroidea: Echinodermata) inhabiting the *Posidonia oceanica* meadow of Mostaganem area (Algeria). *SPC Bêche-de-mer Information Bulletin*, **38**: 55-59.

II.2. Articles soumis à publication

II.2.1. Résumé de l'Article soumis (full paper) et accepté (sous presse) à la revue *Vie et Milieu (Life & environment)*

FIRST RECORD OF POSIDONIA OCEANICA FLOWERING AND FRUITING IN THE SOUTHWESTERN MEDITERRANEAN SEA (MOSTAGANEM, ALGERIA).

N. BELBACHIR^{1,2,}, K. MEZALI²*

¹*Department of Biology, Faculty of Natural Sciences and life, Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, 27000, BP 300, Algeria*

²*Protection, valorization of coastal marine resources and molecular systematic laboratory, Department of Marine Sciences and Aquaculture, Faculty of Natural Sciences and life, Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, 27000, BP 300, Algeria*

** Corresponding author: belbachirnoredine@hotmail.fr*

***Posidonia oceanica* flowering**

ABSTRACT

Posidonia oceanica (L.) Delile (1813) flowering, and more particularly fruiting are a rarely observed phenomenon in the Algerian coast. During two spaced surveys, inflorescences were observed in wrecks at Stidia station (coastal area of Mostaganem, Algeria). Inflorescences from the first prospecting (November 6, 2017) bears only flowers. Each inflorescence carries between one and four spikelets, with an axis length ranging between 24mm and 27mm; the majority of the examined spikelets carry two to three flowers. The latter are 56.2% to 78.6% hermaphrodite and 21.4% to 43.8% are male. The inflorescences of the second prospecting (January 8, 2018) bear aborted fruits and ovaries. Each inflorescence carries between two and four spikelets, with an axis length ranging between 20mm and 33mm. The spikelets of the second prospecting carry a single fruit, sometimes two and some do not carry any. The fruit length is between 7mm and 15mm.

The aim of this work is to provide the first data collected on *Posidonia oceanica* flowering and fruiting phenomenon on the Algerian west coast (Mostaganem); thus, offering the possibility to describe the morphology of the inflorescences and fruits. The collected data show some similarities to those obtained in different regions of the Mediterranean Sea.

Key words Marine magnoliophyte, *Posidonia oceanica*, Inflorescence, spikelet, flower, fruit, Algerian basin.

II.2.2. Résumé de l'Article soumis (full paper) à la revue **Acta Adriatica**

SEASONAL VARIATION OF THE DIET OF FOUR ASPIDOCHIROTID HOLOTHURIANS SPECIES (HOLOTHUROIDEA: ECHINODERMATA) INHABITING THE POSIDONIA OCEANICA MEADOW OF MOSTAGANEM AREA (ALGERIA)

Nor Eddine BELBACHIR^{1,2} and Karim MEZALI²

¹*Department of Biology,*

²*Protection, valorization of coastal marine resources and molecular systematic laboratory, Department of Marine Sciences and Aquaculture, Faculty of Natural Sciences and life, Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, 27000, BP 227, Algeria*

* *Corresponding author: belbachirnoredine@hotmail.fr*

ABSTRACT

A study of the diet of four aspidochirotid holothurians species [*Holothuria poli* (Delle Chiaje, 1824), *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1791), *Holothuria forskali* (Delle Chiaje, 1823) and *Holothuria sanctori* (Delle Chiaje, 1823)] originating from the southwestern Mediterranean Sea (Stidia, Mostaganem) was carried out at – 3m depth during four seasons in order to have an idea of the variations of the different trophic sources used and appreciated by these benthic invertebrates. Our results show that the holothurians species feed on plant fraction (diatoms, cyanophytes, macrophytes algae, alive and dead leaves of *Posidonia phanerogam*) and animal fraction (foraminifera, crustaceans, sponges ossicles, nematodes and bivalve shells). However, Diatoms constitute the most consumed food source by holothurians; the greatest rates are obtained for *H. poli* (37.99% in spring). It is during summer that the holothurians consume great proportions of cyanophytes; while a high consumption of algae is reported in spring. The dead/alive *Posidonia* leaves are also consumed by *H. tubulosa*, but with low proportions. *Holothuria tubulosa* and *H. forskali* consumes the most of the *Posidonia* dead leaves (13.33% in spring and 14% in winter respectively), whereas it is *H. forskali* that consumes the most *Posidonia* alive leaves (7.33% in autumn). Regarding the animal fraction, it is *H. poli* that consumes more foraminifera (20% in autumn), even if this food item is not well appreciated (Ivlev index: 0.1). All holothurians consumes relatively large amounts of sponges ossicles and this in a preferential manner. Crustaceans are widely consumed in spring by all holothurians, while nematodes and molluscan bivalve shells are less consumed. The obtained results showed that there is some overlap in the trophic niche between *H. poli* and *H. tubulosa* and between *H. forskali* and *H. sanctori*.

Key words: Aspidochirotid holothurians; Selective feeding; Niche; *Posidonia* meadow; Diatoms; Electivity index; Algerian basin.

II.2.3. Article soumis à la revue Belgian Journal of Zoology

EFFECTS OF ANTHROPIC ACTIVITY ON ISOTOPIC NICHES OF SEA CUCUMBERS (HOLOTHUROIDEA: ECHINODERMATA) LIVING WITHIN A POSIDONIA OCEANICA BED IN THE SOUTHWESTERN MEDITERRANEAN SEA (MOSTAGANEM, ALGERIA)

Nor Eddine Belbachir*¹ Gilles Lepoint² & Karim Mezali¹

*Corresponding author : belbachirnoreddine@hotmail.fr

¹Protection, Valorization of marine and coastal resources and molecular systematic laboratory. Department of marine Sciences and Aquaculture, Faculty of Natural Sciences and Life, University Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, BP 227, Algeria. ²MARE Centre, Laboratory of Oceanology, UR FOCUS, University of Liège, Belgium.

ABSTRACT

Among the fauna inhabiting the *Posidonia oceanica* seagrass meadow, holothurians are particularly abundant and provide essential ecological roles, including the organic matter recycling within seagrass sediments. This study aims to investigate the trophic niche of four aspidochirotid holothurians [*Holothuria poli* (Delle Chiaje, 1824), *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1791), *Holothuria sanctori* (Delle Chiaje, 1823) and *Holothuria forskali* (Delle Chiaje, 1823)] inhabiting *P. oceanica* meadows, through the measurement of nitrogen and carbon stable isotope ratios. Two shallow and contrasting sites of the littoral region of Mostaganem (west Algeria) were chosen. The first site located in Stidia and is weakly impacted by human activities. The second site located in Salamandre and is highly impacted by human activities (industries, harbor facilities). High values of $\delta^{15}\text{N}$ in holothurians and their food sources were observed at both sites. This highlights that the site of Stidia is also impacted by human activity (agriculture) despite the presence of a relatively healthy seagrass meadow. Stable isotope mixing models demonstrated the importance of algal material in holothurians diets. Interestingly, the contribution of *P. oceanica* to the holothurians diet was limited which contrast with previous findings. The fact that these seagrass meadows are growing on rocks with limited soft sediment availability explain probably the low contribution of seagrass material and the high contribution of ^{13}C depleted material (epiphytes, epilithic or phytoplanktonic material). The stable isotope approach did not reveal dietary differences between species and the four holothurians species exhibited significant isotopic niche overlap. However, niche sizes differ between species showing more variable individual trophic diversity in some species. In addition, the four species display different life habits and micro-habitats that may explain their co-existence in the *Posidonia oceanica* seagrass meadow.

KEYWORDS. Echinodermata, holothuroids, stable isotopes, Mediterranean.

Isabelle Schon : ischoen@naturalsciences.be

II.3. Communication en relation avec le sujet de thèse (Participation aux séminaires nationales)

Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM
Faculté des Sciences de la Nature & de la Vie (SNV)

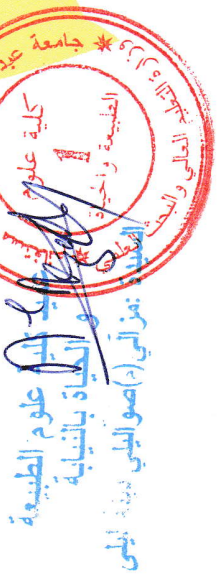
Attestation de Participation

Le Comité d'Organisation des VIII^{èmes} Journées Nationales des Sciences de la Nature & de la Vie qui se ont déroulées les 9 et 10 mai 2018 à Mostaganem, atteste que

Mme, Mlle, **M. Nor Eddine Belbachir** a participé aux JNSNV 2018 avec une Communication Orale intitulée : Ségrégation et stratégie alimentaire des holothuries aspidochirotés (Holothuroidea : Echinodermata) de la région de Stidia (Mostaganem)

Avec comme co-auteur: Karim Mezali

Pr. Dina Lila SOUALIH
Doyenne de la Faculté



Pr. Mohamed GHAFFOUR
Président du Comité d'Organisation



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis –Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture



Attestation de participation

Je soussignée, Présidente du Comité d'Organisation, certifie que **BELBACHIR Noredidine** a participé au séminaire intitulé les premières *journées des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture*, qui ont eu lieu à Mostaganem les 22 et 23 octobre 2014, avec une communication AFFICHEE intitulée :

«Comportement trophique chez *Holothuria (l.) poli* inféodée aux herbiers de *posidonie* de la cote de Mostaganem».

Co-auteurs : SOUALILI D.L. ; MEZALI K.

Fait à Mostaganem le 23/10/2014



La présidente du comité d'organisation
Dr. SOUALILI D.L.



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Attestation de Participation

Le Comité d'organisation des VII^{èmes} Journées Scientifiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie organisées, les 26 et 27 Avril 2017

Atteste que

M. BELBACHIR Noredidine a présenté une communication Orale intitulée :

«Place de la Posidonie dans le régime alimentaire des holothuries aspidochirotes (Holothuroidea : Echinodermata) de la frange côtière de Mostaganem (Algérie)»

Avec les Co-auteurs: MEZALI Karim et SOUALILI Dina Lila

Pr LOTMANI Brahim
Président du Comité Scientifique



الحظ
السيد: المشعل بن الواسع
عميد كلية علوم الطبيعة والحياة
بالتفاني

Pr GHAFFOUR Mohamed
Président du Comité d'Organisation



السيد: غفور محمد
نائب عميد مكلف لما بعد التخرج
والباحث العلمي والبيانات
الخارجية
بالتفاني