



Structure et dynamique des formations récifales à Sabellaria alveolata(L.) du delta de Fromentine

Master 2 Cartographie et Bioproduction des Ecosystèmes Marins promotion 2011-2012



Romain Cesbron

Maître de stage : Anne-Laure Barillé
Tuteurs : Laurent Barillé, Laurent Godet





Table des matières

I INTRODUCTION	3
I.1 Introduction générale	3
I.2 Etat des connaissances	3
a) Répartition géographique de Sabellaria alveolata	3
b) La baie de Bourgneuf et son delta de marée	4
c) Biologie de l'espèce	6
d) Dynamique récifale	9
I.3 Objectifs de l'étude	11
II MATERIELS ET METHODES	12
II.1 Etat de santé du récif	12
a) Méthode	12
b) Indice d'état de santé du récif	13
c) Etude sédimentaire	15
d) Traitement des données	16
II.2 Evolution historique	17
a) Dynamique spatio-temporelle du récif et des bancs de sable	17
b) Identification des cœurs de stabilité du récif	17
II.3 Fragmentation de l'habitat	18
a) Principe	18
b) Méthode et traitement	20
III RESULTATS	22
III.1 Etat de santé du récif	22
a) Evolution de l'état de santé du récif	22
b) Variabilité d'échantillonnage entre les groupes	33
c) Etude sédimentaire	34
III.2 Evolution historique du récif	37
a) Dynamique spatio-temporelle du récif et des bancs de sable	37
b) Identification des cœurs de stabilité du récif	37



III.3 Analyse de la fragmentation de l'habitat	40
a) Evolution des structures paysagères au cours du temps	40
b) Lien entre la stabilité et la fragmentation du récif	42
c) Lien entre l'état de santé et la fragmentation du récif	43
d) Lien entre la stabilité et les indices d'état de santé du récif	45
IV DISCUSSION	46
IV.1 Etat de santé du récif	46
a) Indice d'état de santé	46
b) Epibiontes	46
c) Sédimentologie	47
IV.2 Evolution historique	48
IV.3 Fragmentation de l'habitat	48
a) Evolution des structures paysagères au cours du temps	48
b) Lien entre la stabilité, les indices de fragmentation et l'état de santé du récif	49
V CONCLUSION	49
LISTE DES ILLUSTRATIONS	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53
ANNEXES	55
RESUME	58



I Introduction

I.1 Introduction générale

Bien souvent dans l'esprit des gens, le terme de récif est associé aux récifs coralliens des eaux tropicales. En réalité les récifs désignentdes bioconstructionssolides et massives créées par l'accumulation d'organismes, générant un changement dans la topographie du paysage et formant un habitat avec des limites bien définies qui contrastent avec les unités sédimentaires avoisinantes (Holt et al., 1998). Selon cette définition, de nombreuses espèces construisent des récifs, notamment les annélides polychètes de la famille des Sabellaridés. Sur la côte atlantique on rencontre deux espèces appartenant à cette famille : Sabellaria alveolata (L.) communément appelé hermelleset Sabellaria spinulosa (Leuckart) (Bernier & Gruet, 2011).Lorsque les conditions sont favorables, S. alveolata construit d'importants récifs au sein d'un environnement sableux dans la zone médiolittorale, tandis que S. spinulosa forme des récifs dans la zone subtidale et le bas de l'intertidal.En France, les récifs de S. alveolata, de la baie du Mont-Saint-Michel et ceux de la pointe de Noirmoutier jouxtant le delta de marée de Fromentine constituent les deux plus grandes formations récifales d'Europe. Ces récifs attirent de nombreuses espèces intertidales. Ils limitent l'érosion des côtes en brisant les vagues et en stabilisant le sédiment. Ce sont des habitatsremarquablesinscrits dans l'annexe 1 de la Directive Habitat de Natura 2000 (code 1170-4). Ils présentent donc un intérêt écologique et patrimonial, qu'il est important de d'étudier et préserver.

I.2 Etat des connaissances

a) Répartition géographique de Sabellaria alveolata

Les hermelles ont une distribution géographique Atlantique allant de la Manche occidentale pour sa limite nord aux côtes Mauritaniennes pour sa limite sud (Bernier& Gruet, 2011). En Europeils sont présents du sud de l'Ecosse aux côtes Marocaines (Lewis, 1964; Rullier & Amoureux, 1969 cités par Dubois, 2004) (Fig. 1 A). Bien que l'aire de répartition de cette espèce soit grande, les formations récifales bien développées comme celles de la Fosse ou du Mont-Saint-Michel sont rares; la plupart du temps *S. alveolata* élabore de petites constructions en placages sur des rochers (Fig. 1).



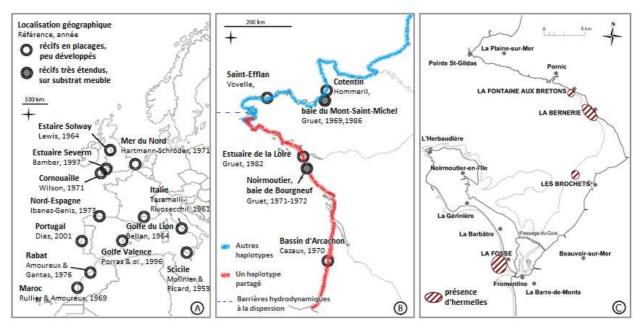


Figure 1: Principales régions d'Europe - A - et de France - B - où ont été signalés et décrits des récifs à *Sabellaria alveolata*, d'après Gruet (1982) modifiée et complétée par Dubois (2004) et distribution des haplotypes du gène mitochondrial codant pour la cytochrome oxydase I, d'après Rigal (2005) modifiée par Ayata (2010); C: localisation des principales formations de *S. alveolata* en baie de Bourgneuf (d'après Dubois, 2004).

En France lapopulation de *S.alveolata* se compose de 2 clades*génétiquementdifférents. Ayata (2010)distingue deux populations : l'uneoriginaire de la Gironde, possède un haplotype propre et un déficithaplotypique par rapport à l'autre population originaire de la Manche(Fig. 1 B). Les hermelles sont bien représentés en baie de Bourgneuf où l'on trouve de nombreuses formations en placage notamment sur les sites de la Fontaine aux Bretons de la Bernerie et du Port des Brochets (*Dubois et al.*, 2004)(Fig. 1C). Ces formations sont sans commune mesure avec celle de la Fosse située près du delta de marée de Fromentine et qui présente une véritable structure récifaleau sein d'un environnementsableux.

b) La baie de Bourgneuf et son delta de marée

Le récif de la Fosse fait partie intégrante de la baie de Bourgneuf et plus particulièrement de son delta de marée. La baie de Bourgneuf d'une superficie de 340 km² est une baie de type frisonne, c'est-à-dire qu'elle est dominée par la rencontre des flots provenant de part et d'autre d'une barrière naturelle ici l'île de Noirmoutier (Verger, 2005). Au nord entre la Pointe Saint-Gildas et l'Herbaudière(Fig. 1 C), la baie s'ouvre largement sur l'océansur près de 12 km² avec une section mouillée de 130 000 à 200 000 m²; tandis qu'au sud l'ouverture du goulet de Fromentine n'est que de 800m pour une section mouillée de 1 100 à 2 900 m² selon les marées (Barillé-Boyer, 1997).

Clades* = groupe phylogénetique ayant un ancètre commun.



La section mouillée du goulet étant plus étroite que celle de l'ouverture de la baie, les courants y sont assez violents pouvant atteindre 4 nœuds au flot. Lorsque les courants de flot provenant du sud et du nord de la baie se rencontrent, leurvitesse chute, générant ainsi une sédimentation accrue, nomméwantij, à l'origine du Gois (Verger, 2005). Au niveau du goulet, il y a une prédominance nette des courants de jusant drainant 60 000 000 m³ par rapport au flot qui entraîne dans la baie 16 000 000 m³ d'eau de mer en période de vives eaux moyennes (Verger, 2005). Cette dominance du jusant par rapport au flot explique la morphologie du delta de marée de Fromentine avec un delta de jusant bien développé.

Le delta de marée résulte de l'action conjointe de la houle et de la marée de part et d'autre d'un goulet d'étranglement fermant une baie ici la baie de Bourgneuf (Bernier & Gruet, 2011). Il se compose d'un delta de flot, d'un delta de jusant et d'un chenal principal (Fig.2). Le delta de marée est un environnement mobile qui évolue dans le temps, au gré de l'influence plus ou moins forte de la houle ou de la marée. En effet, pendant les périodes calmes où la marée tend à dominer, le chenal principal est alors stable et rectiligne; en revanche pendant les périodes de tempêtes c'est la houle de sud-ouest qui domine, générant une certaine instabilité du chenal principal qui va alors migrer en direction de la dérive dominante (Bernier & Gruet, 2011). C'est au sein de cet environnement mobile oùde grands bancs de sable se font et se défont, que se sont établis les récifs de la Fosse.



Figure 2: Organisation du delta de marée de Fromentine (photo IGN de 1982). En rouge les structures sédimentaires du delta de jusant; 1: chenal principal; 2: barres linéaires de bordure de chenal; 3: barres de déferlement; 4: plate-forme de déferlement; 5 lobe terminal; 6: chenal latéral de flot; 7: flèches littorales. En bleu les structures sédimentaires du delta de flot; 1: rampe de flot; 2: chenal de flot; 3: bouclier de jusant; 4: lobe de déversement; 5: flèche de jusant (Bernier& Gruet, 2011).



c) Biologie de l'espèce

Les hermelles sont des annélides, polychètes, appartenant à la famille des Sabellariidées. *Sabellaria alveolata* étant un annélide tubicole, présente une forte régionalisation des métamères, se divisant en 4 régions : la région antérieure, thoracique, abdominale et caudale (**Fig. 3**). Cette espèce grégaire, a une durée de vie moyenne de 4à 5 ans pouvant atteindre 8 à 10 ans (Wilson 1971; Gruet, 1982).

L'hermelle vit à l'intérieur d'un tube, construit à partir de grains de sédiments moyens compris entre 400 et 800 µm (Gruet, 1982). Les tubessont constitués de deux gaines concentriques (Fig. 3 C); une interne, mince d'origine organique, riche en souffre issu d'un système de tannage quinoniqueet l'autre externe arénacée constituée de grains de sable assemblés entre eux (Vovelle& Gail, 1965).Les grains de sable sont captés par des filaments tentaculaires (Orrhage,1978) (Fig. 3 A), puis acheminés jusqu'à un organe constructeur (Fig. 3 B)où des glandes sécrètent un ciment organique constitué de phosphore, calcium et magnésium, permettant de collerles grains entre eux par des pointes de ciment (Gruet*et al.*,1987).La nature chimique des grains de sable importe peu, seules la morphologie et la granulométrie des grains sont des facteurs déterminants pour la construction des tubes (Gruet &Bodeur, 1994). Gruet(1982) a mesuré une croissance verticale des tubes de 1 à 3 cm par mois, ceux-ci atteignant plusieurs décimètres de hauteur bien que l'hermelle ne mesure que 3 à 5 cm. En réalité seulement 15 cm de tubes correspondent à la zone de vie de l'animal, en dessous le tube est obstrué par de la matière organique en décomposition (Gruet 1982).

La construction des tubes et l'alimentation sont fortement influencées par la température. En effet, Gruet (1982) a démontré expérimentalement que l'activité des individus diminue dans une eau à 13°C. Un arrêt de l'alimentation et de la construction est observé *in situ* dans une eau entre 3 et 5°C; en revanche la reconstruction des tubes est plus rapide dans une eau plus chaude à 20°C. De plus, des températures fortement négatives pendant plusieurs jours comme lors de l'hiver 1984-85 ont un effet létal, entraînant la mort des individus situés sur le haut de la colonie ce qui engendre une modification de la morphologie du récif (Gruet & Baudet, 1997). Il existe peu de données concernant l'alimentation de cet annélide tubicole. Bernier & Gruet (1991) avaient estimé que le taux de filtration devait être faible d'environ et que *S. alveolata* se nourrissait de diatomées. Les récents travaux de Dubois *et al.* (2003, 2005, 2009) ont démontré que l'hermelle filtre de manière active les particules fines en suspension.

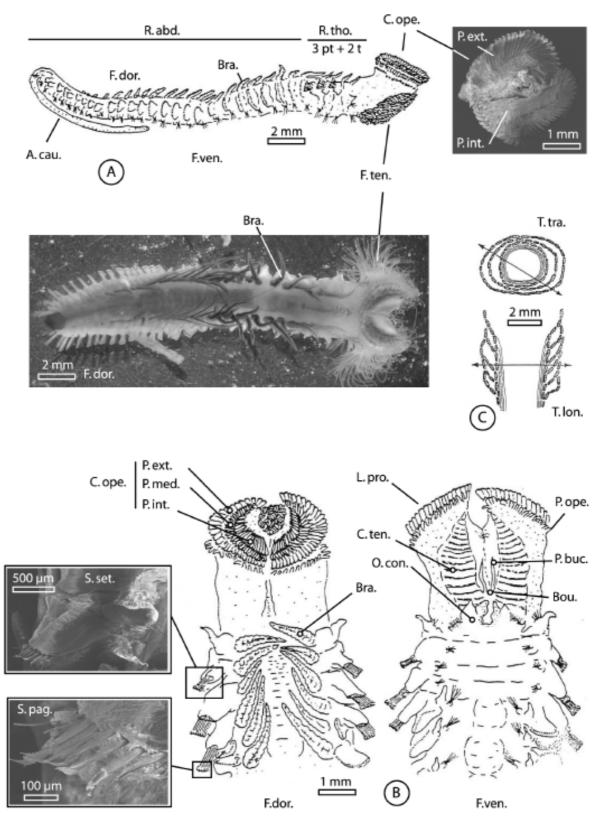


Figure 3: Description morpho-anatomique de l'espèce Sabellaria alveolata (Dubois 2004). A – vue de profil et vue dorsale : F.ven.= face ventral ; F.dor.= face dorsale ; R.abd.= région abdominale ; R.tho.= région thoracique (composée de 2 segments thoraciques – 2t – et 3 segments parathoraciques – 3pts-) ; C.ope.= couronne operculaire vue au MEB; F.ten.= filaments tentaculaires ; A.cau.= appendice caudal ; Bra= branchies. B – vue ventrale et dorsale de la région antérieure : L.pro.= lobe prostomial ; P.ope.= papilles operculaires ; P.ext.= palées extérieurs ; P.med.= palées médianes ; P.int.= palées internes ; P.buc= palpes buccaux ; Bou.= bouche ; O.con.= organe constructeur ; S.set= segment sétigère parathoracique ; S.pag.= soies en pagaie. C – tube arénacé : T.tra.= en coupe transversale ; T.lon.= en coupe longitudinale. Dessins Y. Gruet (1982) – Clichés MEB et loupe binoculaire S. Dubois.



Lesestond'un diamètre supérieur à 4 µm est capturé par les filaments tentaculairesgrâce au battement de cils regroupés sur celui-ci, puis transporté jusqu'à la bouche par un transport mucociliaire. Dubois *et al.* (2003), ont également étudié en laboratoire la filtration de l'organisme qui serait de 7,5.10⁻⁴ L.h.ind⁻¹, ce taux de filtration diminue de façon exponentielle lorsque la concentration en matière en suspension (MES) augmente mais cela ne nuit pas à la prise de nourriture car même en présence d'une concentration élevée de MES *Sabellaria alveolata* continue de s'alimenter.

Chez les hermelles, les sexes sont distincts et répartis au hasard dans la colonie avec un rapport de 1 (Gruet & Lassus, 1983). Les individus sont matures dès la première année, les mâles se distinguent par leur abdomen blanc tandis que les femelles ont un abdomen rose-violet, celles-ci gardent leur potentiel de reproduction au moins jusqu'à 5 ans (Gruet, 1982).Les gamètes sont produits et stockés dans la cavité cœlomique; la gamétogénèse permet une production de plus de 350 000 ovocytes par individu âgé de 2 à 3 ans (Gruet, 1982). Les pontes ont lieu toute l'année avec 2 grandes périodes de février à avril et de juin à août(Gruet 1982; Gruet & Lassus 1983).La reproduction est donc sexuée gonochorique (Wilson, 1968 b)et de type polytélique*(Clarck& Olive, 1973). Dubois (2003) a calculé la fécondité moyenne par femelle pour le récif du Mont-Saint-Michel, celle-ci est de 102 000 ovocytes. ind⁻¹, soit une fécondation d'un ovocyte sur trois. Une fois fécondés, les ovocytes se transforment en larves pélagiques trochophores, métatrochophores, puis se transforment en larves compétentes benthiques qui vont se fixer sur un substrat meuble ou de préférence sur les tubes d'hermelles adultes, ceux-ci ayant un effet chimiotactique sur les larves (Wilson, 1968 a). Avec une gamétogénèse permettant la production de gamètes en grande quantité quasiment toute l'année et une fécondité élevée, S. alveolatas'avère être une espèce à fort potentiel de recrutement.

Le recrutement dépend de la durée de vie pélagique des larves et de leur présence à proximité de récifs ou substrats durs. Bien qu'étudiée par Wilson(1968 b) et Dubois(2003) la présence des larves d'hermelles dans la colonne d'eau est mal connue.Pour Dubois (2003) la durée de vie pélagique serait d'au moins 6 semaines allant jusqu'à 8 mois pour Wilson (1968 b).SelonBhaud& Gruet(1984),il existe deux niveaux de contrôle de la présence larvaire dans la colonne d'eau.Le premier niveau de contrôle est la température qui doit être supérieure à 15°C (Curtis, 1973). Le second niveau de contrôle est la nourriture qui agit sur l'intensité du développement larvaire, ce niveau est qualitatif et se manifeste par une forte périodicité de la nourriture.Seule la quantité de nourriture disponible détermine la présence et la densité des larves, étant donné queles conditions de température sont quasiment toujours respectéescar



seules des températures inférieures à 15°C ne permettent pas aux larves d'atteindre le stade compétant (fixation sur le substrat) (Curtis, 1973). Aucun suivi larvaire ou modélisation du nuage larvaire de *S. alveolata* n'a été réalisé pour le récif de la Fosse comme ce fut le cas dans la baie de Mont-Saint-Michel par Dubois(2003), ou Ayata*et al.*(2009). Or le recrutement en jeunes individus est un facteur déterminant dans la dynamique récifale.

d) Dynamique récifale

Les hermelles peuvent construire deux types de formations, en placage sur l'estran rocheux, ou constituer des formations récifales au sein d'un environnement sableux. L'établissement de l'uneou l'autre de ces formations dépend du contexte hydro-sédimentaire et du recrutement en larves compétentes.

En France, les principales études sur la dynamique des récifs d'hermelles ont été réalisées sur le récif du Mont-Saint-Michel et celui de la Fosse d'abord par Gruet, (1971-72,1982), puis par Dubois(2003), Dubois *et al.* (2004). Concernant les formations en placage, ces auteurs ont identifié qu'elles n'étaient présentes que sur des côtes battues, mixtes (à la fois rocheuse et sableuse), entre le niveau des basses mers de mortes eaux (BMME) et celui des pleines mers de mortes eaux (PMME). Les formations récifales bien développées sont présentes sur les côtes sableuses abritées et présentent une très forte densité d'individus compris entre 15 000 et 60 000 individus au m² Gruet (1971-72, 1984). Ces formations ne dépassent jamais le niveau moyen de la marée, c'est-à-dire entre les basses mers de vives eaux (BMVE) et juste au-dessus des BMME, dans le médiolittoral inférieur. Les travaux de Gruet (1971-72, 1984) repris par Dubois (2003, 2004) ont permis d'identifier différentes phases de la dynamique récifale (**Fig. 4**).

Les formations s'établissent à la suite d'une phase d'implantation primaire des larves compétentes sur un substrat dur. Puis une phase de développement caractérisé par la présence de structures en boules isolées (BI) qui se développent et deviennent coalescentes, forment ainsi des structures coalescentes (SC). Lorsque les SC sont jointives sur plusieurs m², on parlealors de structures en platier (P). La présence de ces structures témoigne de l'évolution ultime du récif avec près de 35 000 individus au m². Le récif est alors dans une phase de stagnation, la croissance verticale étant limitée par l'hydrodynamisme.

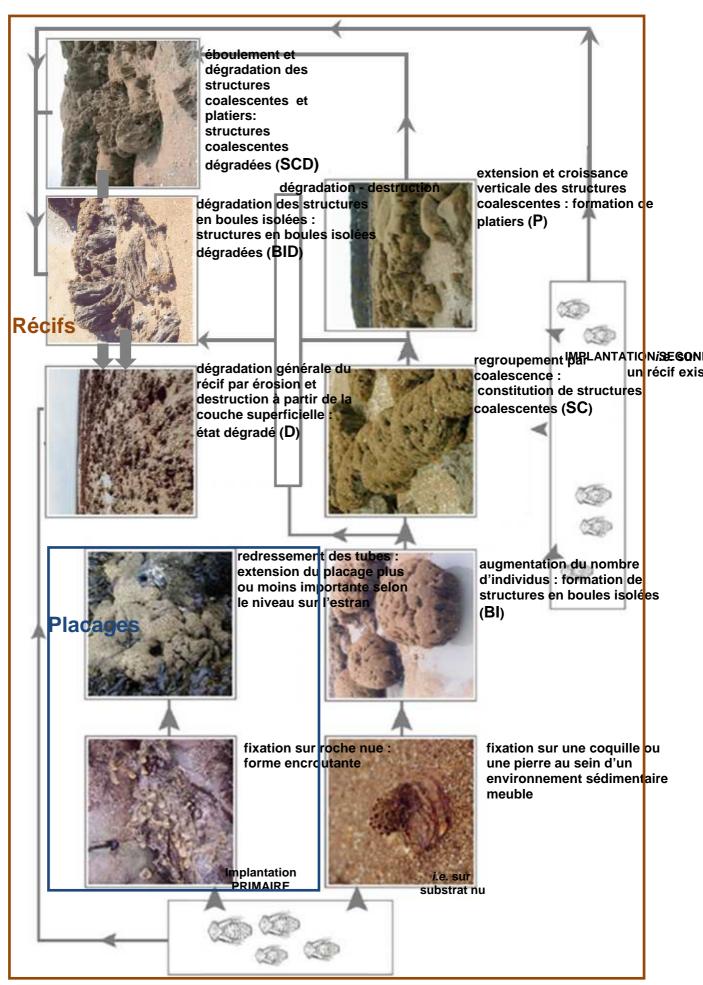


Figure 4: Différentes étapes de la dynamique récifale des structures en placage et des formations étendues sur substrat meuble. Complété et modifié par Dubois (2004), d'après Gruet (1972).



En effet à partir d'une certaine hauteur d'environ 2m par rapport au substrat, l'agitation au niveau de l'animal n'est plus suffisante pour permettre la mise en suspension du sédiment et l'évacuation des déchets métaboliques. Enfin une phase de dégradation voir de destruction est observée, cette phase se traduit par un envasement et une destruction des tubes qui prennent alors un aspect grisâtre, souvent recouvert par des épibiontes (huîtres, moules, ulves). Si le recrutement est suffisant, ce qui est généralement le cas, il peut y avoir une phase d'implantation secondaire sur le récif dégradé renouvelant ainsi le cycle.

La dynamique récifale influence le cortège faunistique associé au récif. Celui-ci étant principalement constitué d'une faune caractéristique des fentes et microcavités de la roche infralittorale (Gruet, 1971-1972). Ainsi sur le dessus du récif ou sur les zones dégradées une augmentation de l'endofaune avec notamment *Corophiumvolutator*(Pallas, 1766) et de l'épifaune avec *Mytilus*(L.) ou *Balanus*(L.) a été constatée par Gruet (1982).

I.3 Objectifs de l'étude

Trois principaux objectifs complémentaires mais néanmoins distincts sontfixés dans cette étude, chacun d'entre eux forment un chapitre du rapport.

- 1) Le premier objectif est de réaliser un état des lieux actualisé du récif de la Fosse par rapport aux mesures obtenuesen 2002 (Dubois et al., 2004). Pour ce faire le protocole de Dubois et al., (2004)a été appliqué afin d'observerin situ un certain nombre de paramètres, liés à la dynamique récifale, pour ensuite produire des cartes retraçant l'état de santé du récif de la Fosse.
- 2) Le second objectif consiste à poursuivre le suivi de l'évolution historique du récif et des bancs de sable et à identifier les zones récifales les plus stables dans le temps (cœurs de récif). Ce travail de détourage et de numérisation des récifs et bancs de sable a été réaliséà partir d'images aériennes ou satellitales.
- 3) Le dernier objectif consiste à étudier la fragmentation du récif à l'aide d'indices paysagers, calculés pour le récif préalablement numérisé à différentes dates. Ce travail vise à étudier la structure paysagère du récif à différentes dates et à établir un lien entre la structure du récif et les paramètres étudiés dans les chapitres précédents.



IIMatériels et méthodes

II.1Etat de santé du récif

a) Méthode

Afin de pouvoir comparer l'état de santé du récif entre 2002 et 2012, le protocole élaboré par Dubois *et al.*(2004) a été appliqué lors de cette étude.

- ➤ Le récif de la Fosse a d'abord été détouré et numérisé à partir d'une image hyperspectralerécente du récif (programme régional GERRICO, 2009), préalablement géoréférencée en Lambert II carto Paris (borne monde).
- ➤ Un maillage de 50m par 50m, qui reprend les mêmes mailles qu'en 2002, a ensuite été appliqué sur la photo aérienne et le récif numérisé.
- Les mailles contenant du récif ont été sélectionnées et géolocalisées. Les coordonnées géographiques de chaque mailleont étécalculées pour construire la stratégie d'observation *in situ*.
- ➤ Sur le terrain, le 5 et 6 Avril 2012à marée basse (coeff. 87 et 101), un observateur se positionne sur le centre de chaque maille (50 m X 50 m)grâce à un GPS. Lorsque le récif recouvre plus de 10% de la surface de la maille les informations suivantes sont notées :
 - pourcentage de récif recouvrant la zone ;
 - pourcentage de recouvrement desdifférentes structures récifales BI, SC, BID, SCD, D
 (voire I.2 d);
 - nature du sédiment environnant ; déterminée à vue suivant sa nature (sable, vase ...) sa taille (fin, moyen ou grossier) et son degré d'envasement (propre ou envasé);
 - degré de fragmentation définit par Duboiset al. (2004) Fig. 5;

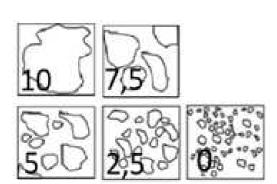


Figure 5: Schéma du degré de fragmentation (Dubois et al., 2004)

- Degré 10 : récif composé d'un seul gros bloc.
- _ Degré 7,5 : récif composé de plusieurs gros blocs.
- Degré 5 : récif composé de blocs de taille variée.
- _ Degré 2,5 : récif composé de blocs petits et moyens.
- _ Degré 0 : récif composé de très petits blocs.



Pour chaque maille échantillonnée, 3 quadrats de 1 m² sont posés au hasard sur le récif de façon à obtenir des informations sur (Annexe 2, photo 5):

- la hauteur du récif;
- le pourcentage de recouvrement et la densité d'huîtres ;
- le pourcentage de recouvrement et la densité de moules ;
- le pourcentage de recouvrement des ulves ;

A partir des informations recueillies sur le terrain, des cartes thématiques de chacun des paramètres observés sur le récif de la Fosse ont pu être réalisées. Le logiciel MapInfo® a été utilisé pour le détourage du récif, la création du maillage de 50 m par 50 m et la réalisation des cartes thématiques pour chacun des paramètres observés.

Concernant la hauteur moyenne du récif par rapport au substrat une interpolationen utilisant une technique de pondération de l'inverse de la distance (inverse distance weighted : IDW) a été effectuée pour les données de 2002 et 2012. Cette interpolation IDW a été réalisée sous MapInfo®. Elle détermine la valeur des mailles en calculant une moyenne pondérée à partir des valeurs des points du voisinage. La pondération est inversement proportionnelle à la distance séparant le centre de la cellule des points du voisinage. Une carte de la différence de hauteur du récif entre 2002 et 2012 a également été réalisée. Cette carte est issue de la soustraction entre la hauteur moyenne de 2012 et celle de 2002;un résultat positif traduit un exhaussement du récif, tandis qu'un résultat négatifindique un ensablement de celui-ci, lorsque le résultat est nul il n'y a pas eu d'évolution.

Les paramètres observés ont également permis de réaliser un indice d'état de santé du récif.

b) Indice d'état de santé du récif

L'indice d'état de santé défini par Dubois *et al.*(2004) intègre, des variables structurales, traduisant la dynamique récifale et des variables biologiques que sont les taux de recouvrement des épibiontes, traduisant et influençant la dégradation du récif.L'indice d'état de santé IS est calculé de la façon suivante :

$$IS = DF + (BI + SC - D - BID - SCD - RM - RH - RU) \times R$$



Avec:

DF = degré de fragmentation (de 0 à 10)

BI = pourcentage de recouvrement des boules isolées

SC = pourcentage de recouvrement des structures coalescentes

D = pourcentage de recouvrement de l'état dégradé

BID = pourcentage de recouvrement des boules isolées dégradées

SCD = pourcentage de recouvrement des structures coalescentes dégradées

RM = pourcentage de recouvrement des moules

RH = pourcentage de recouvrement des huîtres

RU = pourcentage de recouvrement des ulves

R = pourcentage de récif au sein de la maille de 50 m².

Chaque pourcentage de recouvrement est divisé par 10 afin de normaliser les valeurs de 1 à 10. Le degré de fragmentation étant compris entre 0 et 10, chacun des facteurs de l'indice d'état de santé est donc compris entre 0 et 10.

En 2002 l'indice d'état de santé du récif avait été normalisé par Dubois *et al.*(2004) afin d'obtenir des valeurs comprises entre -10 et 20. Depuis, Desroy*et al.* (2011) ont repris la formule de Dubois *et al.*(2004) pour l'appliquer au récif du Mont-Saint-Michel, sans normaliser les données afin que celles-ci correspondent à un indice de statut écologique (ecologicalquality ratios : EQR). L'EQR est un indice mis en place par la DCE (directive cadre sur l'eau) correspondant au rapport entre la valeur observée du paramètre biologique ou de l'indice considéré et la valeur de ce paramètre ou indice dans les « conditions de référence ». Les données terrain de Dubois *et al.*(2004) ont donc été reprises afin de calculer l'indice d'état de santé de 2002 qui servira alors d'EQR de référence pouvant être comparé à l'indice d'état de santé de 2012. Lorsque les valeurs de l'indice sont comprises entre 20 et 110 elles indiquent un bon état de santé du récif ; entre 2,5 et 20 l'état de santé est qualifié d'intermédiaire et de 2,5 à -200 l'état de santé est dit mauvais (**Tableau1**).

Tableau 1: Valeurs du statut écologique (Ecologique Quality Ratio : EQR) associé à l'indice d'état de santé (IS). D'après Desroy et al. (2011)

	DE 0	DE 3.5	DF	DF 10
	DF = 0	DF = 2,5	DF = 5	DF = 10
Valeurs	BI + SC =0	BI + SC,	BI + SC = 7	BI + SC = 10
des paramètres	- D - BID - SCD = -10	- D - BID - SCD,	- D - BID - SCD = -3	-D-BID-SCD=0
	- RM - RU - RH = -10	- RM - RU - RH = 0	- RM - RU - RH = -1	- RM - RU - RH = 0
	R = 10	R = variable	R = 5	R = 10
EQR	-200	2,5	20	110
Statut écologique	tatut écologique Mauvais		médiaire	Bon



c) Etude sédimentaire

Lors de la sortie de terrain sur le récif de la Fosse le 5 et 6 avril 2012 des carottes de sédiments ont été prélevées le long de 3 transectsau milieu et de part et d'autre du récif(Fig.6). Les carottes ont été réaliséesà l'aide de carottiers de 6 cm de diamètre sur une profondeur de 20 cm, soit un volume prélevéde 565,5 cm³ (Annexe 2 : photo 8). Les carottes de sédiment sont prélevées dans une maille sur deux le long du transect, elles sont donc prélevées tous les 100 m (exceptée la carotte G16 qui a été prélevée à la place de F16). Initialement 27 carottes devaient être prélevées soit 9 par transects ; seulement 24 prélèvements ont pu être réalisés, les mailles situées les plus à l'ouest étant immergées lors de notre passage.

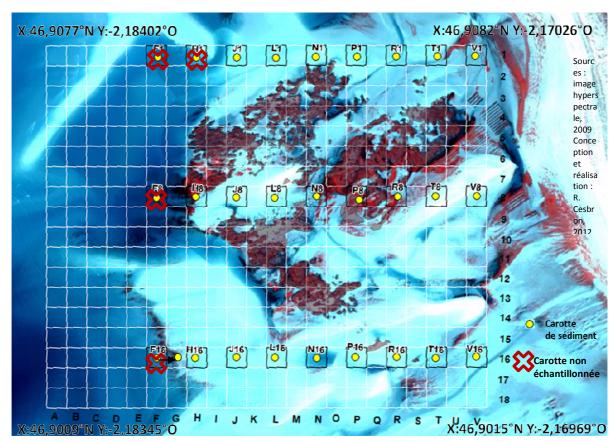


Figure 6: Situation géographique des carottes sédimentaires prélevées le long de trois transects situés sur les lignes 1, 8 et 16 du quadrillage de 50m X 50m appliqué sur l'image hyperspectrale de 2009 du récif de la Fosse. Les croix rouges indiquent les carottes initialement prévues, non échantillonnées car immergées lors de notre passage. Les coordonnées X et Y indiquent la longitude et la latitude en degré, du centre des mailles situées aux quatre coins du quadrillage.

Au laboratoire, chaque prélèvement de sédimentsa été placé à l'étuve pendant 48h, pesé pour obtenir son poids total puis tamisé à l'eau sur un tamis de 63 μ m pour éliminer les particules de pélites inférieur à 63 μ m. A la suite du premier tamisage, le sédiment est de nouveau placé 48h à l'étuve puis pesé pour ainsi en déduire la fraction de pélites contenus dans le sédiment. Un second tamisage est ensuite réalisé sur des tamis de 2000, 1600, 1250, 1000, 800, 630, 500, 400, 315, 250, 160, 125, 100 et 63 μ m.



Chaque refus de tamis est pesé afin d'établir des histogrammes de poids ainsi que des courbes granulométriques cumulatives. A l'aide d'une macro d'EXCEL® – GRADISTAT® – la nature, la granulométrie et le classement des sédiments ont été caractérisés.

d) Traitement des données

Afin de comparer les techniques d'échantillonnage entre les groupes, le 6 avril 2012 sur le récif de la Fosse, trois groupes ont échantillonné 4 mêmes mailles selon la méthode vue précédemment (Cf. II.1 a). Ensuite chacun des paramètres structuraux du récif (recouvrement des différentes structures, fragmentation et indice d'état de santé) ont été comparés entre les groupes pour l'ensemble des mailles, grâce à des ANOVA ou un Kruskal-Wallisréalisésous Sigmastat®. Cette étude nous renseigne sur la variabilité d'échantillonnage entre les groupes pour chacun des paramètres observés.

Pour comparer les données entre 2002 et 2012, les mailles communes aux deux dates ont été sélectionnéessous MapInfo®, réunies dans une même table puis exportées sous Excel® et Sigmastat® pour le traitement statistique (**Fig.7**). Sous Sigmastat®, un test t appareillé a été réalisé pour les valeurs suivant la loi normale. Lorsque celles-ci ne suivent pas la loi normale un test de Wilcoxon a été effectué.

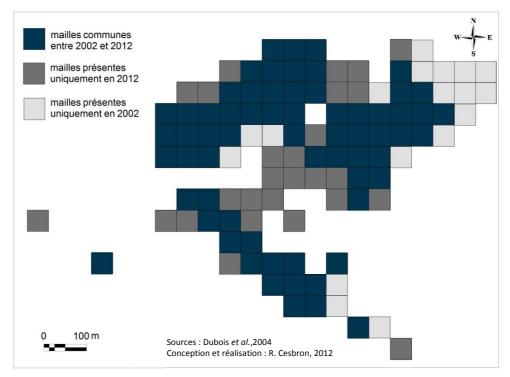


Figure 7: Mailles de 50 m par 50 m échantillonnées en 2002 (Dubois *et al.*, 2004) et 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine (65 mailles communes au deux dates, 83 mailles en 2002 et 92 en 2012).



II.2 Evolution historique

a) Dynamique spatio-temporelledu récif et des bancs de sable

Comprendre et interpréter la dynamique récifale actuelle nécessite une connaissance de l'évolution historique du récif. La dynamique spatio-temporelle du récif étant liée au transport sédimentaire et à l'orientation des chenaux (Bernier & Gruet,2011), il semble indispensable de retracer l'évolution historique des bancs de sable. Duboiset al.(2004), ont réalisé le premier travail sur la dynamique récifale, alors que Bernier & Gruet(2011)ont étudié l'évolution des bancs de sable émergés à marée basse et celle du chenal principal du delta de marée.

Afin de poursuivre l'évolution historique du récif et des bancs de sable, les orthophotos IGN de 1950, 2000 et 2002 utilisées par Dubois *et al.*(2004) ont été reprises ainsi que la carte de Gruet (1982) pour l'année 1972-73. Pour ces dates, le récif et les bancs de sable émergés à marée basse ont été de nouveau numérisés. Pour les autres dates, le récif et les bancs de sable ont été numérisés à partir d'orthophotos IGN allant du 1/25 000au 1/40 000pour les années 1966,1982 et 2009. Concernant les années 1991, 1996, 1998 et 2002, 2005 la numérisation a été réalisée à partir d'images satellites SPOT d'une résolution respective de 20 et 10 m. Le géoréférencement des photos, la numérisation et l'élaboration des cartes ont été réalisées sous MapInfo®. La carte de 1972-74 résulte d'une compilation de la carte de 1972-1973 (Gruet, 1982) avec l'orthophoto IGN de 1974 d'une échelle de 1/4 000.

b) Identification des cœurs de stabilité du récif

Sabellaria alveolata présente de nombreuses similitudes avecLanice conchilega (Pallas, 1766), annélidepolychète sédentaire, vivant à l'intérieur d'un tube constitué de grains de sable agglomérés et formant des récifs subtidaux appelé banquettes à Lanice. Comme l'ont démontré Callawayet al., (2010) ainsi que Godet et al., (2011), pour les banquettes à Lanice, certaines portions de récif sont présentes plusieurs années consécutives, il est alors possible d'identifier différents niveaux de stabilité en fonction de la présence ou non d'une portion de récif sur plusieurs dates. Cette méthode a été appliquée au récif de la Fosse, les couches de récif numérisées de 1950, 1982, 2000 et 2009 ont été superposées les unes aux autres afin d'obtenir 7 niveaux de stabilité (Tableau 2). Ces dates ont été choisies car elles ont une résolution spatiale proche allant d'1/25 000à 1/30 000et couvrent une grande période de temps.



Tableau 2 : Calcul des différents niveaux de stabilité. Le X indique les dates pour lesquelles une portion de récif est présente.

1950	1982	2000	2009	niveau de stabilité
Χ				1
	Χ			1
		Х		1
			Χ	1
Χ			Χ	2
Χ		Χ		3
	Χ		Χ	3
Χ	Χ			4
	Χ	Χ		4
		Χ	Χ	4
Х	Χ		Χ	5
Χ		Х	Χ	5
Χ	Χ	Χ		6
	Χ	Χ	Χ	6
Χ	Х	Χ	Χ	7

II.3 Fragmentation de l'habitat

a) Principe

L'analyse paysagère est une technique généralement appliquée aux paysages terrestres, toutefois quelques applications ont eu lieu dans le domaine marin notamment lors destravaux de Godet et al. (2011) sur les banquettes à Lanice conchilega. À partir des couches de récif préalablement numérisées pour différentes dates, il est possible d'étudier la fragmentation du récif de la Fosse (Godet et al., 2011). Les récifs numérisés ont été quadrillés avec un maillage de 50 m par 50 m identique à celui appliqué pour l'analyse de l'état de santé du récif. Les mailles contenant du récif sont ensuite découpées puis exportées sous Fragstats®, qui est un logiciel gratuit d'analyse paysagère. Ce logiciel calcule des indices paysagers pour chaque patch* de récifs présent dans une maille. Sept indices ont été sélectionnés pour étudier la fragmentation du récif, ils sont présentés dans le tableau 3.



Tableau 3: Indices paysagers sélectionnés pour l'analyse de la fragmentation du récif (d'après Mc Garigal et al. 2002).

INDICE	DEFINITION	FORMULE	INTERPRETATION
Aire totale des patchs (CA)	Somme des aires (m²) de l'ensembledes classes de patchs, divisée par 10 000 (pour convertir en ha).	= aire des patchsij	Surface recouverte par le récif dans chaque maille (ha).
Nombre de patchs (NP)	Nombre de patchs dans une maille.	= nombre de patchs NP 1, sans limites	Nombre de fragment de récif dans une maille.
Périmètres des patchs (TE)	Somme des périmètres de l'ensemble des classes de patchs (m) présents dans une maille.	= périmètres de laclasse i	Périmètre des portions de récif présentes dans une maille (m).
Périmètresnormalisés des patchs (NLSI)	Somme des périmètres de la classe i (en nombre de cellules), normalisée par le périmètre minimal et maximal de la classe i. 0 ≤ NLSI ≤ 1 = 0 : lorsqu'un seul patch compact = 1 : lorsque plusieurs patchs désagrégés	périmètre total de la classe i périmètre minimal de la classe i périmètre maximal de la classe i	Forme et nombre de portions de récifs au sein d'une maille. Lorsque NLSI = 0 une seule portion de récif compacte. Si NLSI proches de 1 plusieurs portions de récif désagrégées.
Extension moyenne des patchs (GYRATE)	Distance moyenne (m) entre chaque pixel dans le patch et le centroïde du patch. GYRATE ≥ 0, sans limites.	= distance entre le pixel ijr et le centre ij du patch Z = nombre de cellules dans le patch	Extension moyenne des portions de récif par rapport au centre de ceuxci (m).
Contiguïté moyenne des patchs (CONTIG)	Moyenne des valeurs de contiguïté des cellules pour chaquepatch au sein d'une maille. 0 ≤ CONTIG ≤ 1 = 0 : lorsque les patchssont très éloignés = 1 : lorsque les patchsse touchent	contige = valeur de la contiguïté du pixel r dans le patchij V = somme des valeurs dans un modèle de 3 x 3 pixels = aire des patchs ij en nombre de cellules	Contigüité, connectivité moyenne entre les portions de récifs. Lorsque CONTIG proche de 0 les portions de récif sont éloignées les unes des autres. Lorsque CONTIG est proche de 1 les portions de récif sont proches.
Forme moyenne des patchs (SHAPE)	Périmètre du patch divisé par le périmètre minimal possible pour la même surface de patch ; le périmètre minimal possible étant un carré. =1: lorsque le patch est très compact	= périmètre du patchij, en nombre de cellules m = périmètre minimal possible du patchij, en nombre de cellules	Renseigne sur la forme moyenne des portions de récif au sein de chaque maille. Plus la forme est simple et compacte (proche d'un carré) plus SHAPE sera proche de 1.



b) Méthode et traitement

Quatre grandes questions se posent à partir de l'étude de la fragmentation de l'habitat:

Question 1 : Comment les structures paysagères du récif ont-elles évolué dans le temps entre les années 1950 et 2009?

Afin de répondre à cette question les indices paysagers ont été calculés sous Fragstats® pour le récif en 1950, 1982, 2000 et 2009. Ensuite pour chacune des dates, les moyennes desindices CA, NP, NLSI, TE, GYRATE, SHAPE, CONTIG ont été calculées sous EXCEL®. Puis la comparaison des moyennes des indices entre chaque année a été réaliséesous Sigmastat®grâce à une ANOVA, lorsque les échantillons suivaient la loi normale et dans le cas contraire grâce à un test de Kruskal-Wallis.

Question 2: Les zones les plus stables sont-elles caractérisées par des structures spatiales particulières (liens entre la stabilité et la fragmentation)?

Pour l'étude du lien entre la stabilité et la fragmentation, les indices paysagers ont été calculés pour les mailles du récif en 2009 (image la plus récente) et pour les mailles de la carte de stabilité réalisée précédemment (Cf. II.2 b). La stabilité moyennepar maille (STAB) a été calculéeselon la formule suivante :

STAB= ∑ (aire totale (CA) x niveau de stabilité)/nombre de niveaux de stabilité

Ensuite sous Access®un croisement des mailles communes entre la carte de la stabilité et celle du récif en 2009 a été réalisé, puis dans une même table unemise en commundes indices de fragmentation de 2009 avec la stabilité moyenne a été effectuée. Afin d'identifier le lien entre l'indice de stabilité moyen et les différents indices de fragmentation, des régressions linéaires multiples ont été effectuées sous R®. Deux modèles ont été testés, l'un dit « explicatif » qui classe les indices de fragmentation en fonction d'une explication croissante de la stabilité moyenne, l'autre « prédictif » qui cherche la meilleurecombinaisond'indice de fragmentation pour prédire la stabilité.Une régression linéaire simple a également été réalisée entre l'indice de fragmentation qui explique le mieux la variabilité et la stabilité moyenne.



Question 3 :Les zones en plus ou moins bon état de santé sont-elles caractérisées par des structures spatiales particulières(lien entre l'état de santé et la fragmentation) ?

Le lien entre l'état de santé du récif et la fragmentation a été étudié à partir des indices de fragmentation obtenus sous Fragstats® pour la carte du récif de 2009 et l'indice d'état de santé du récif actuel calculé précédemment (Cf. II.1 b). Sous Access®, les mailles communes entre la carte de l'état de santé du récifet les mailles de 2009 ont ensuite étéréunies dans une même table. Puis sous R®, des régressions linéaires multiples (modèles prédictifs et explicatifs) ont été réalisées pour comprendre quelles sont les liens entre l'indice d'état de santé du récif et les indices de fragmentation. Une régression linéaire simple a ensuite été réalisée entre l'indice de fragmentation qui explique le mieux la variabilité et l'indice d'état de santé.

Question 4 :Les zones les plus stables sont-elles caractérisées par des paramètres de l'état de santé du récif (lien entre l'indice de stabilité et chacun des critères de l'état de santé) ?

Enfin pour l'étude du lien entre l'indice de stabilité (STAB) et chacun des critères de l'état de santé, les mailles communes entre ces deux tables ont été réunies sous Access®. Puis sous R®, des régressions linéaires multiples (modèles prédictifs et explicatifs) ont été réalisées pour comprendre quels sont les liens entre l'indice de stabilité (STAB) et chacun des critères de l'état de santé. Une régression linéaire simple a été réalisée entre la variable de l'état de santé qui explique le mieux la variabilité et la stabilité moyenne.



III Résultats

III.1Etat de santé du récif

a) Evolution de l'état de santé du récif

Les différentes mesures prises sur le récif de la Fosse le 5 et 6 avril 2012 sont présentées ici sous forme de cartes systématiques et comparées à celles réalisées en 2002 (Dubois *et al.*, 2004). Lors de la campagne de 2012, 92 stations ont été observées (**Fig. 8**) sur les 3 grandes parties du récif de la Fosse. De nouvelles formations récifales ont été identifiées à l'ouest des trois grandes parties du récif. L'une de ces formations située la plus à l'ouest du récif aux coordonnées suivantes 46,90105°N 2,18188°O n'a pu être échantillonnée car située en dehors du maillage préalablement établi et à moitié immergée lors de notre passage (Annexe 2 : photo 4). En 2002 Dubois *et al.* (2004) avaient observé 83 stations, le récif est donc plus étendu que par le passé.

• Etat structural du récif.

L'étude du degré de fragmentation (**Fig. 9**)révèleune fragmentation accrue - degré de fragmentation de 2,5 à 0 - dans la partie centrale du récif à l'intersection des 3 grandes parties du récif. La fragmentation est également importante au nord-est de la partie n°2 ainsi qu'au sudouest pour les mailles de la partie n°3 les plus exposées à la houle. Les mailles situées au centre des parties 1, 2 et 3 sont moins fragmentées. En effet ce sont dans ces zones qu'un degré de fragmentation de 10, témoignant de la présence de platier, a été observé. Dans l'ensemble le degré de fragmentation n'a pas évolué depuis 2002. Il n'y a pas de différences significatives au seuil de 5% entre la moyenne du degré de fragmentation de 2002 (5,85) et celle de 2012 (5,96). De même le pourcentage de récif au sein des mailles de 50 m par 50 m n'a pas varié entre 2002 et 2012. En 2002 la moyenne du recouvrement du récif au sein des mailles était de 43%, actuellement elle est de 45%.

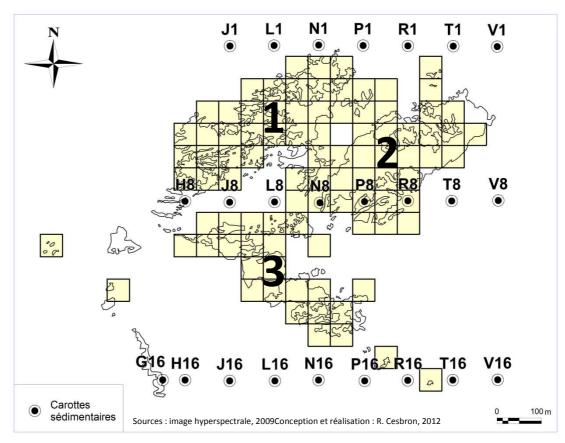


Figure 9 :Situation géographique des 92 stations observées et échantillonnées et des 24 carottes sédimentaires prélevées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine. Les numéros 1, 2, 3 indiquent les trois grandes parties qui composent le récif et auxquelles le texte fait référence.

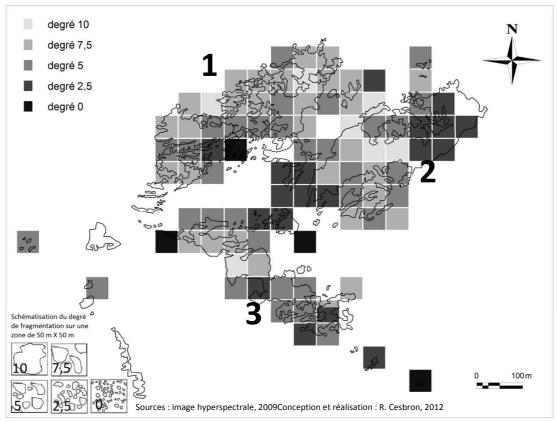


Figure 8 : Fragmentation du récif sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine. Degré 10 : 1 seul gros bloc de récif – Degré 7,5 : plusieurs gros blocs de récif – Degré 5 : plusieurs blocs de tailles variées – Degré 2,5 : nombreux blocs petits et moyens – Degré 0 : uniquement des très petits blocs récifaux.



En revanche le pourcentage de recouvrement des différentes structures à quant à lui évolué entre 2002 et 2012. Le taux de recouvrement moyen des structures en boules isolées et structures coalescentes était respectivement de 6,8 et 68,1% en 2002; il est passé à 4,9 et 58,3% en 2012. Il y a significativement moins de structures en boules isolées (P= 0,012) et de structures coalescentes (P= 0,037) en 2012 qu'en 2002. Les cartes du recouvrement, des structures coalescentes (Fig. 10), des boules isolées (Fig. 11) et des structures dégradées (Fig. 12) sont parfaitement corréler entre elles. Ainsi la partie n°3 du récif présente le plus de structures coalescentes avec un recouvrement allant de 60 à 100% pour la plupart des mailles, les états dégradés étant peu présents et principalement localisés aux extrémités nord-ouest et sud-est de cette partie. La partie n°2 est dégradée à son extrémité ouest, tandis qu'au nord-ouest et au sudouest le recouvrement des boules isolées est important recouvrant de 40 à 100% des mailles. La partie n°1 semble se diviser de part et d'autre d'un axe nord sud, matérialisé par un recouvrement de l'état dégradé compris entre 80 et 100%. La portion de récif située à l'est de cet axe présente peu d'état dégradé, avec un recouvrement de 1 à 20% des mailles et un important recouvrement de structures coalescentes, recouvrant 80 à 100% des mailles. Tandis que la portion de récif située à l'ouest de l'axe est fortement dégradée avec de nombreuses mailles recouvertes par 80 à 100% d'états dégradés, sans structures coalescentes ou boules isolées.

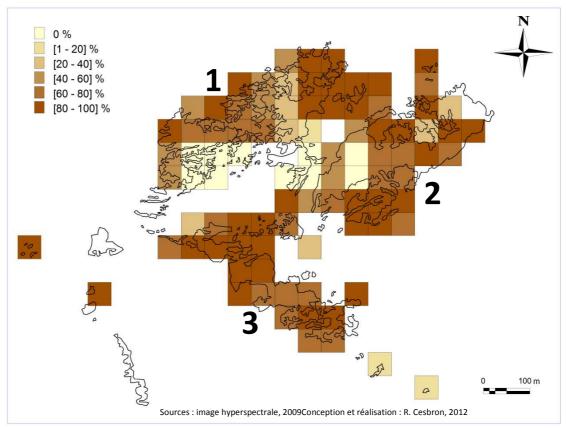


Figure 10: Taux de recouvrement des structures coalescentes sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.

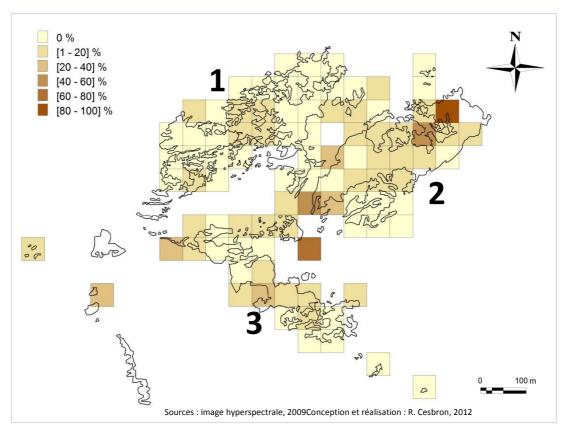


Figure 11: Taux de recouvrement des structures en boules isolées sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.

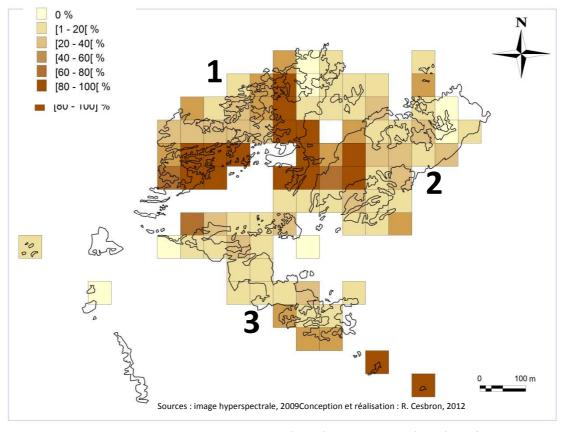


Figure 12: Taux de recouvrement des structures dégradées - boules isolées dégradées, structures coalescentes dégradées et état dégradé - sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.



• Colonisation par les épibiontes

La présence d'épibiontes tels que les moules, les huîtres ou les ulves est susceptible d'influencer la croissance et la dynamique récifale en participant à la dégradation du récif (Dubois *et al.*, 2004). En 2012, des ulves ont été observées sur 54% des mailles avec 26% des mailles recouvertes par 1 à 10%; 12% recouvertes par 10 à 20%; 14% recouvertes par 20 à 40% et 2% recouvertes par 40 à 60% d'ulves (**Fig. 13**). Les ulves sont principalement localiser entre les 3 grandes parties du récif et au sud-est des parties n° 2 et 3, dans les zones abritées de l'action de la houle. Le recouvrement en ulves est significativement plus important en 2012 ou la moyenne du recouvrement est de 7% par rapport à 2002 où elle était de 2% (P=< 0,001).

Les moules sont présentes sur une vingtaine de mailles mais ont un recouvrement supérieur à 1% pourseulement 13 mailles (Fig. 14 et 15). En effet les individus observés étant souvent petits, voir juvéniles, seules des densités élevées de moules contribuent à un recouvrement conséquent. C'est le cas pour les mailles situées au sud-est de la partie n° 3 ou des densités de moules allant de 100 à 500 individus au m² représentent un recouvrement de 10 à 20% de la maille. En 2002, le recouvrement moyen des moules au sein des mailles était de 0,8%, en 2012 il est de 1%. Le recouvrement moyen des moules est significativement supérieur en 2012 par rapport à 2002 (P=0,001) ce qui n'est pas le cas pour la densité moyenne.

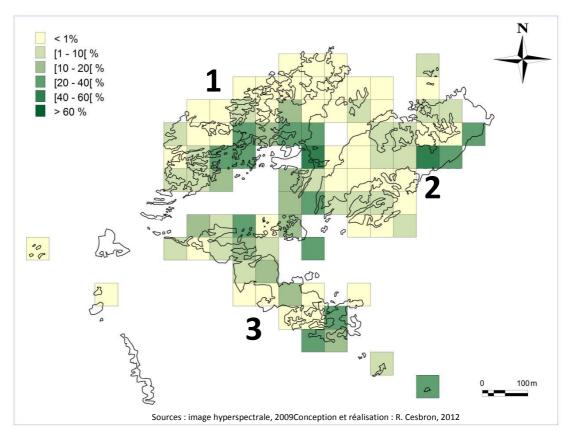


Figure 13: Taux de recouvrement moyen des ulves *Ulva*sp. par mètre carré sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.

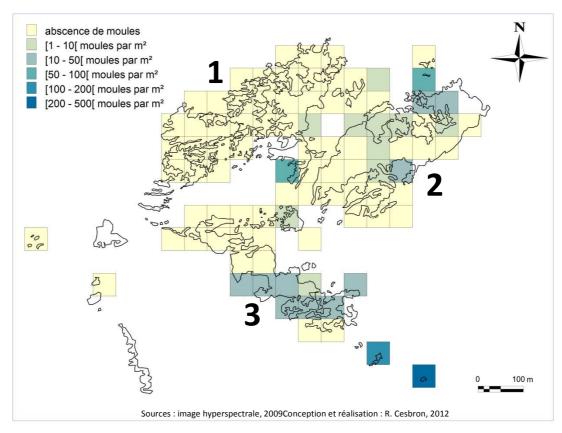


Figure 14: Densité moyenne de moules *Mytilus edulis* par mètre carré sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.

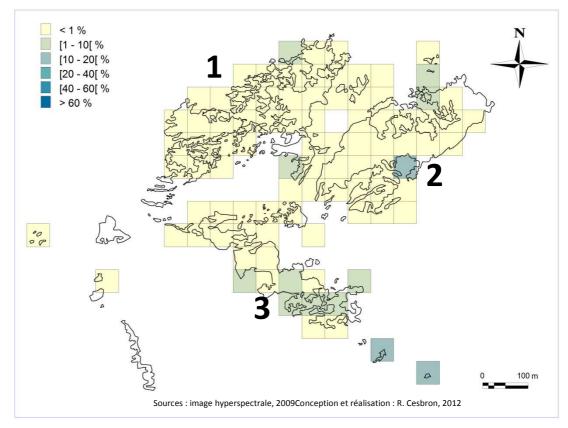


Figure 15: Taux de recouvrement moyen de moules *Mytilus edulis* par mètre carré sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.

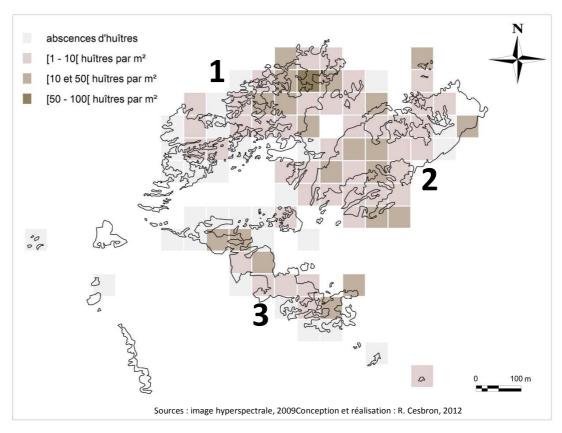


Figure 16: Densité moyenne d'huîtres *Crassostrea gigas* par mètre carré sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.

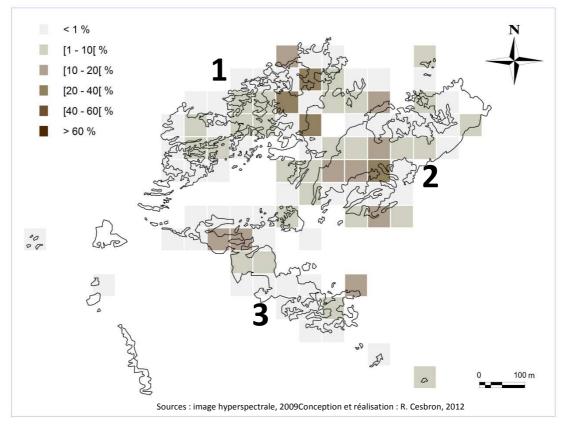


Figure 17: Taux de recouvrement moyen d'huîtres *Crassostrea gigas* par mètre carré sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.



Les huîtres sont présentes de façon homogène sur 69% des mailles. 46% des mailles observées contiennent entre 1 et 10 individus au m², 22% entre 10 et 50 huîtres au m² et seulement une maille possède une densité d'huîtres comprise entre 50 et 100 individus au m² (Fig. 16). Le taux de recouvrement moyen des huîtres est faible, il n'excède pas 40% et un recouvrement supérieur à 1% est observé pour 44% des mailles (Fig. 17). 29% des mailles sont recouvertes par 1 à 10% d'huîtres, 10% recouvertes par 10 à 20% d'individus et 4% des mailles sont recouvertes par 20 à 40% d'huîtres. Il n'y a pas de différence significative entre la moyenne du taux de recouvrement de 2002 et de 2012. En revanche il y avait significativement plus d'huîtres au sein des mailles en 2002 qu'en 2012 (P = 0,003). En 2002 la densité moyenne était de 28 individus par m² alors qu'en 2012 elle est de 8 individus par m². Cette différence de densité sans toutefois qu'il y ait une différence de recouvrement, peut s'expliquer par une forte densité de juvéniles relevée *in situ* en 2002 (Dubois *et al.*, 2004).

Indice d'état de santé du récif

Les paramètres vus précédemment, à savoir le degré de fragmentation, l'état structural du récif et le taux de recouvrement par les épibiontes ont été réunis dans un indice afin d'établir des cartes de l'état de santé du récif de la Fosse pour les années 2002 (Fig. 18) et 2012 (Fig. 19). Depuis 2002 l'état de santé du récif s'est détérioré (P= 0,031). En 2002 l'indice d'état de santé moyen d'une valeur de 24 était qualifié de bon par l'EQR (EcologicalQuality Ratios), en 2012 celui-ci est passé à une valeur de 14étant qualifié d'état écologique intermédiaire. En 2002 seulement 6 mailles présentaient un mauvais état écologique, actuellement 20 mailles ont un mauvais statut écologique. Les mailles présentant un mauvais état de santé en 2012 sont principalement localisées entre les 3 grandes parties du récif et le long d'un axe nord-sud situé au centre de la partie n°1 et à l'extrémité sud-ouest de la partie n° 2. Ces mailles possédant un mauvais état de santé sont fortement corrélées aux mailles présentant unrecouvrement des structures dégradées de plus de 80%. La partie n°1 du récif possède le plus de mailles en mauvais état de santé. Actuellement la moitié est de la partie n°1 est en meilleur état que la partie ouest, ce qui n'était pas le cas en 2002. Malgré la régression de surface du récif entre 2002 et 2012 au nord-est de la partie n°2, cette zone semble en meilleur état de santé que le sud-ouest de cette partie. La partie n°3 du récif est en meilleur état de santé que les 2 autres parties. Depuis 2002 elle s'est étendue de l'est vers l'ouest mais une partie du récif située au sud a disparu, les mailles sud restantes, présentent un mauvais état de santé.

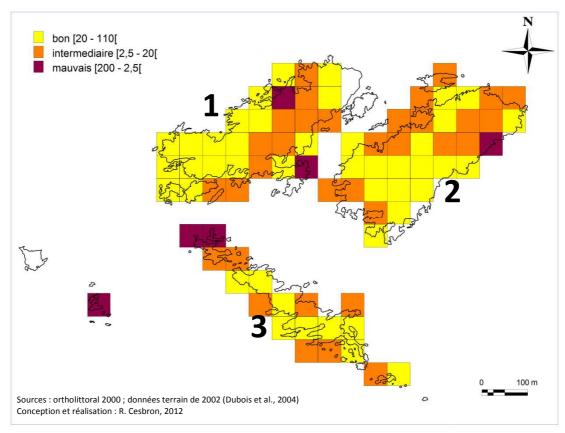


Figure 18: Indice d'état de santé du récif en 2002 sur les stations observées sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine d'après les données terrain de 2002 (Dubois et al., 2004).

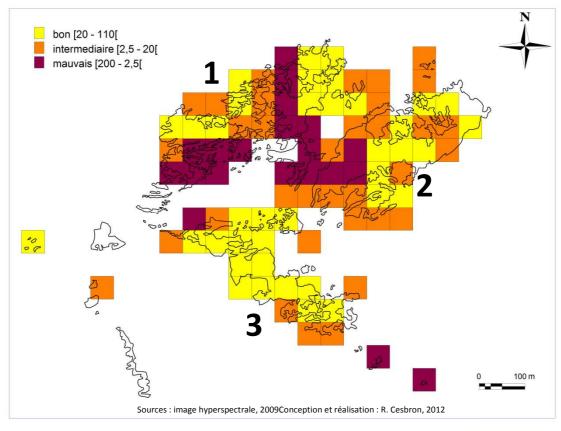


Figure 19:Indice d'état de santé du récif en 2012 sur les stations observéessur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.

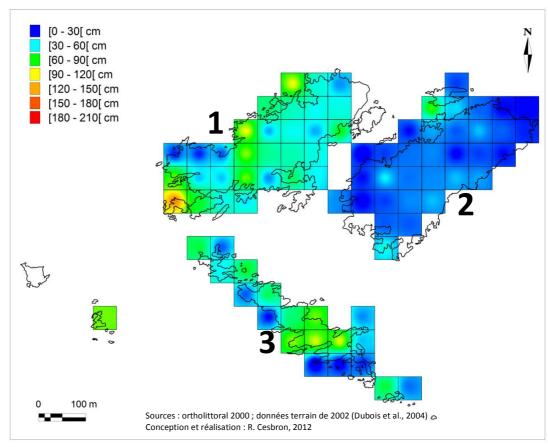


Figure 20: Hauteur moyenne du récif par rapport au substrat, réalisée par interpolation IDW (Inverse Distance Weighted) pour les stations observées en 2002 par Dubois *et al.*(2004) sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.

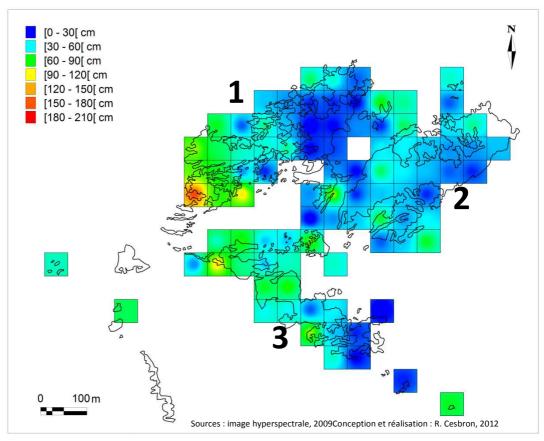


Figure 21: Hauteur moyenne du récif par rapport au substrat, réalisée par interpolation IDW (Inverse Distance Weighted)pour les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.



Hauteur du récif par rapport au substrat

La hauteur du récif par rapport au substrat est également un paramètre pris en compte lors des campagnes d'échantillonnage de 2002 (**Fig. 20**) et 2012 (**Fig. 21**). L'interpolation IDW (Inverse Distance Weishted) permet de pondéré la hauteur de chaque maille par rapport à celles aux alentours, ce qui homogénéise la hauteur du récif. Le sud-ouest de la partie n°1 est la zone la plus élevé du récif et ce pour 2002 et 2012. En 2002 la partie n°3 du récif est plus élevée que la partie n°1 et la partie n°2 qui est la plus basse. En 2012 la partie n°3 du récif reste globalement plus haute que les autres parties. La partie n°1 se divise en deux, avec au sud-ouest un récif élevé d'une hauteur comprise entre 60 et 180 cm et au nord-est un récif bas, d'environ 30 cm de haut. La partie n°2 semble s'être exhaussée depuis 2002 et présente une hauteur comprise entre 30 et 60 cm pour la plupart de ces mailles.

La figure 22 révèle la différence de hauteur du récif entre 2002 et 2012. La partie n°2 du récif présente le plus de mailles qui se sont exhaussées depuis 2002. La différence de hauteur du récif entre 2012 et 2002 est négative, pour la portion de récif située au nord-est de la partie n°1, cette zone s'est donc ensablée contrairement à la zone sud-ouest de la partie 1 qui s'est exhaussée. Pour la partie n°3 la zone située au nord-ouest s'est exhaussée tandis que la partie sud-est s'est ensablée.

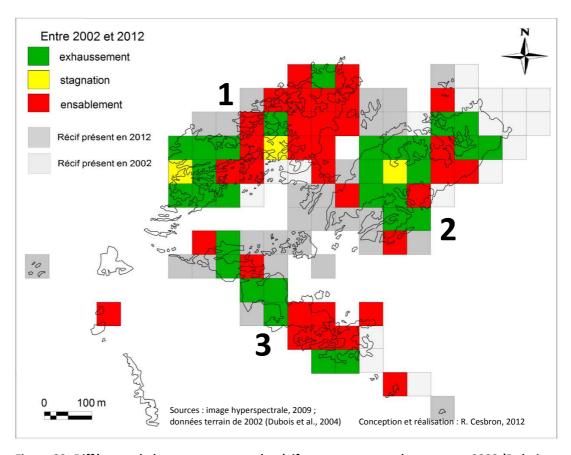


Figure 22: Différence de hauteur moyenne du récif par rapport au substrat entre 2002 (Dubois *et al.,* 2004) et 2012 sur le récif de la Fosse, delta de marée de Fromentine.



b) Variabilité d'échantillonnage entre les groupes

Les relevés de fragmentation et de pourcentage de recouvrement des différentes structures récifales, effectués au centre des mailles de 50 m par 50 m, peuvent dépendre de l'observateur. La variabilité d'échantillonnage a donc été testée entre 3 groupes sur 4 mailles pour chacun des facteurs estimé au centre de la maille (recouvrement des différentes structures, fragmentation) et pour l'indice d'état de santé (Fig. 23). L'étude de la variabilité d'échantillonnage entre les groupes révèle que les moyennes des facteurs étudiés varient peu entre chaquegroupe. Malgré de légères variations de moyennes pour les facteurs étudiés, les moyennes de l'indice d'état de santé sont quasiment identiques pour l'ensemble des groupes. De plus il n'y a pas de différence significative entre les groupes pour chacun des facteurs échantillonnés au centre des mailles.

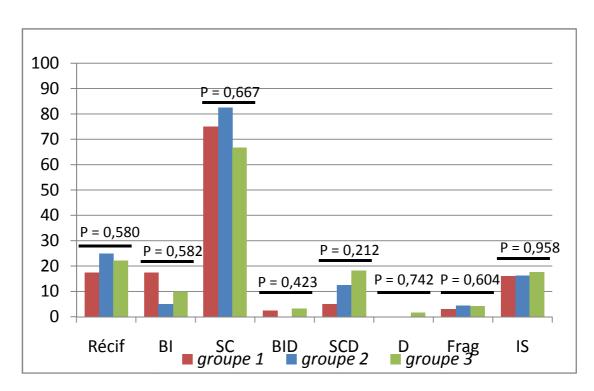


Figure 23: Moyenne des états structuraux du récif, du degré de fragmentation et de l'indice d'état de santé échantillonnés pour chacun des trois groupes sur quatre mêmes mailles. Récif = % de récif; BI = % de boules isolées; SC = % de structures coalescentes; BID = % de boules isolées dégradées; SCD = % structures coalescentes dégradées; D = % état dégradé; Frag = degré de fragmentation; IS = indice d'état de santé.



c) Etude sédimentaire

La nature du sédiment et sa granulométrie jouent un rôle essentiel dans la dynamique récifale. Ces paramètres ont d'abord été observés à l'œil nu sur les 92 mailles échantillonnées puis étudiés en laboratoire pour 24 carottes sédimentaires prélevées le long de trois transects.

Les mailles observées sont en majorité (49%) constituées d'un sable moyen à grossier propre et d'un sable fin propre (38%), 8% des mailles sont recouvertes par un sable fin envasé et seulement 5% des mailles sont recouvertes de graviers ou cailloutis (**Fig. 24**). Il semble y avoir un gradient sédimentaire allant du nord-ouest vers le sud-est avec au nord-ouest un sable moyen à grossier propre et au sud-est un sable fin propre. Les mailles envasées sont principalement localisées au centre du récif le long d'un axe est-ouest.

Pour les sédiments prélevés à l'aide des carottes sédimentaires, le profil des courbes granulométrique (**Fig. 25**) ainsi que celui des histogrammes (**Fig. 26**) révèlent une majorité de sable fin (50%), 33% de sable moyen et 17% de sable grossier. Les observations et les prélèvements de sédiment faits sur le terrain sont corrélés, les mailles N8, P8 et R8, observées à l'œil nu et les carottes du même nom présentent la même nature et granulométrie du sédiment à l'exception de R8 qui est mal classé et présente à la fois des sédiments grossiers et fins. Le granoclassement des grains de sable est hétérogène avec 17% des carottes sédimentaires mal triées, 37% ayant un classement moyen, 29% assez bien triées et 17% bien triées. La plupart des sédiments moyennement triés à mal triés présentent un pic de pourcentage de fraction compris entre 400 μm et 800 μm. Ce pic correspond à la granulométrie optimale des grains de sable pour la construction des tubes d'hermelles (Gruet, 1982).

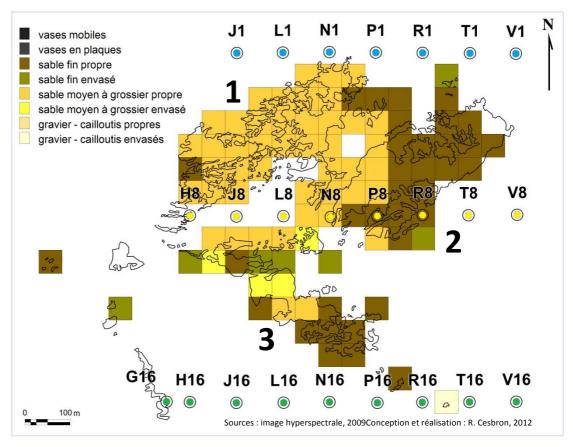


Figure 24: Nature des sédiments jouxtant les blocs récifaux des stations observées et appellation des carottes sédimentaires prélevées le long des transects de la ligne 1 (rond bleu), ligne 8 (rond jaune), ligne 16 (rond vert). en 2012 aux abords du récif de la Fosse, delta de Fromentine.

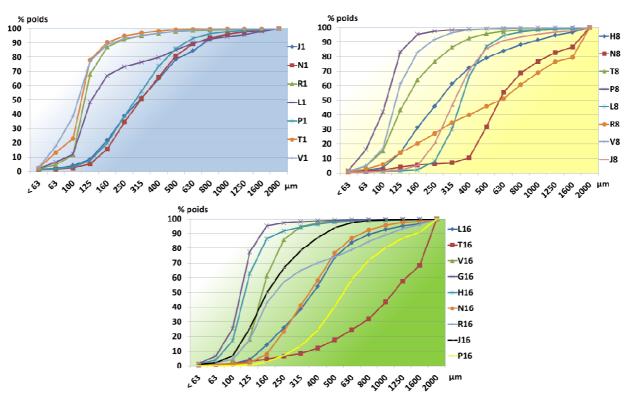


Figure 25: Courbes granulométriques du pourcentage de poids cumulé des sédimentaires prélevées le long des transects de la ligne 1 (fond bleu), ligne 8 (fond jaune), ligne 16 (fond vert).

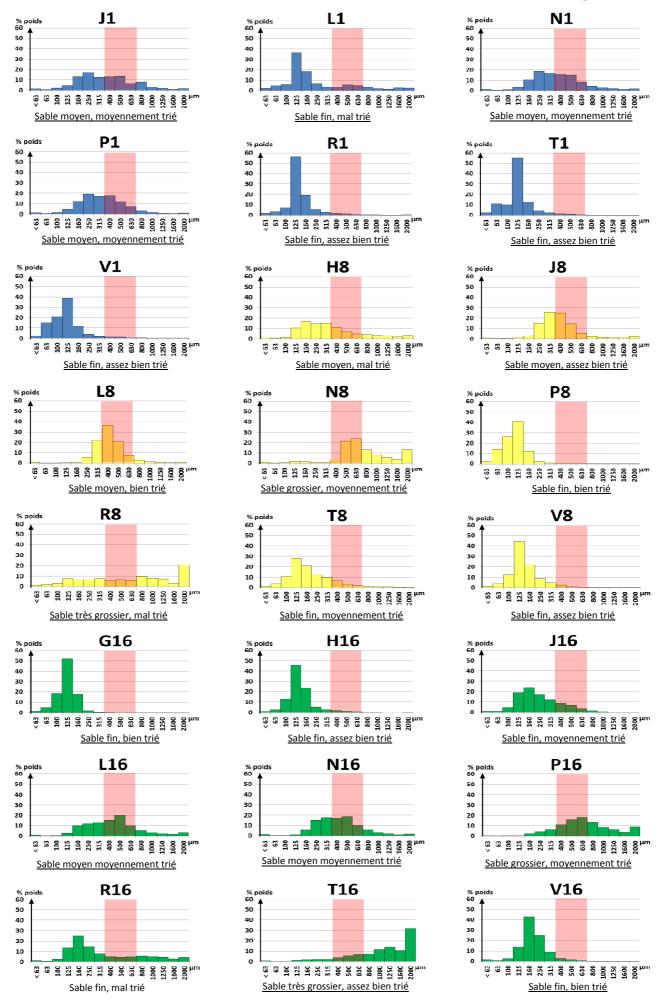


Figure 26: Histogrammes des fractions sédimentaires exprimées en % de poids pour chacune des carottes prélevées aux abords du récif le long de 3 transects (lignes 1, 8, 16). La granulométrie optimale pour la construction des tubes est représenté en rose.



III.2 Evolution historique du récif

a) Dynamique spatio-temporelle du récif et des bancs de sable

La numérisation d'orthophotos et de cartes du récif et des bancs de sable couvrant une période de 60 ans a permis de retracer l'évolution historique du récif (**Fig. 27**). De 1950 à 1982 des formations récifales à *S. alveolata* étaient présentes de la pointe de l'île de Noirmoutier au sud du récif actuel. Ces formations ont progressivement disparu suite au changement d'orientation du chenal principal qui est passé d'une orientation SE-NO à une orientation E-O. Dans la même période les grands bancs de sable épars qui constituaient le delta de marée se sont réunis pour former une plus grande structure, le banc du Braillard.

Le trait de côte a également évolué depuis 1950, il a progressé vers le sud-ouest engloutissant le récif de la pointe de Noirmoutier sous la dune entre 1972-74 et 1982. Alors que les récifs situés les plus au sud disparaissaient suite au changement d'orientation du chenal, à la remobilisation des bancs de sable et à l'avancé du trait de côte, les récifs que l'on connaît actuellement, situés plus au nord, se sont développés et étendus de 1950 à 1996. Depuis 1996 le récif décroit, sa surface diminue et est passée de 14 ha en 2000 à 11 ha en 2012 (**Fig. 27 B**). Des bouchots étaient présents au nord du récif en 1966 mais ont rapidement disparu, ensevelis sous un banc de sable. De 1982 à 2009, l'orientation du chenal principal et la morphologie du banc de sable du Braillard a peu évolué. Le chenal principal remonte légèrement vers le nord-ouest tandis que le banc du Braillard s'étend de plus en plus d'est en ouest. Des tables ostréicoles ont également été implantées à proximité du récif en 2000 et ont progressivement été laissées à l'abandon et ensevelies. En 2009 il ne subsistait plus que quelques tables encore exploitées, actuellement toutes les tables ont été ensevelies sous le sable (Annexe 2 : photo 2)

b) Identification des cœurs de stabilité du récif

Les couches de récifs numérisées pour les années 1950, 1982, 2000 et 2009 ont été superposées afin d'identifier les zones les plus stables dans le temps (Fig. 28). Celles-ci sont représentées en noir sur la figure 28 et ont un niveau de stabilité de 7. Ces portions de récifs sont présentes depuis 1950, elles constituent le cœur du récif à partir duquel celui-ci s'est étendu.La croissance du récif est exponentielle, la surface totale des niveaux de stabilité est passée de 0,4 ha pour le niveau7 à 16 ha pour le niveau 1.

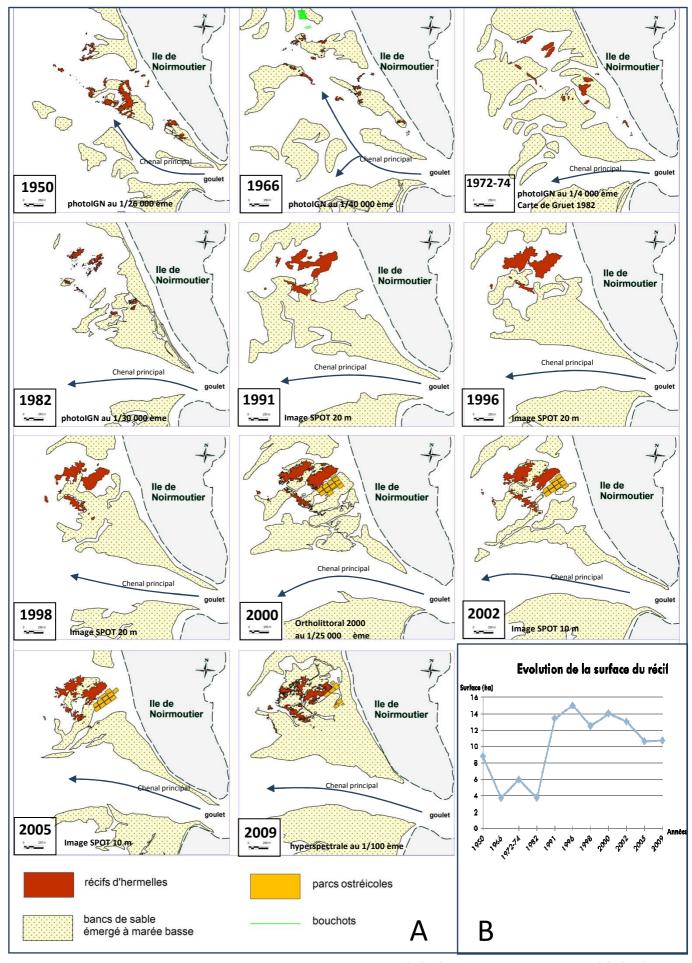
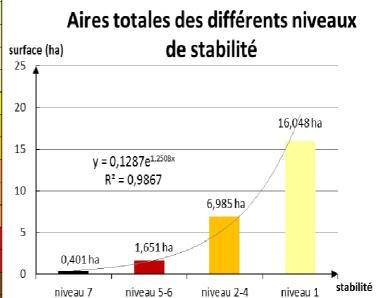


Figure 27: A : dynamique spatio-temporelle des bancs de sable et des récifs d'hermelles de la Fosse, modifié d'après Dubois *et al.* (2004) pour les années 1950, 2000, 2002 et Gruet (1982) pour l'année 1972-1974. Cartes au 1/50 000 ème. B : évolution de la surface de récif aux différentes dates étudiées.



1950	1982	2000	2009	niveau de stabilité	aire ha
×				1	7,186
	Х			1	0,477
		х		1	5,406
			Х	1	2,980
Х			Х	2	0,093
Х		Х		3	0,247
	х		х	3	0,092
Х	х			4	0,446
	х	Х		4	0,684
		Х	Х	4	5,423
Х	Х		Х	5	0,018
Х		Х	Х	5	0,028
Х	х	Х		6	0,149
	Х	Х	Х	6	1,457
×	х	x	×	7	0,401



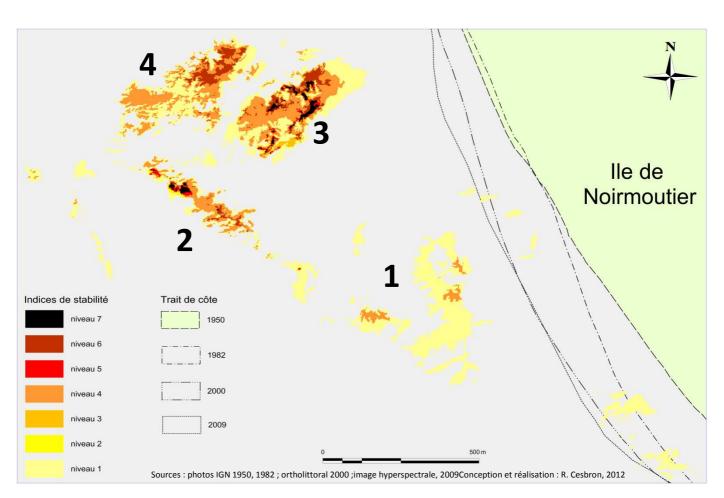


Figure 28 : Carte des différents niveaux de stabilité et de l'évolution du trait de côte entre 1950 et 2009. Tableau et histogramme des surfaces de récifs en fonction du niveau de stabilité.



La partie n°1 du récif est la plus ancienne et correspond dans sa grande majorité au récif de 1950. Cette partie a un niveau de stabilité faible car elle a rapidement disparu suite à l'avancée du trait de côte qui dès 1982 se retrouvait au niveau des blocs de récif les plus au sud. Les parties 2 et 3 ainsi qu'un petit bloc de récif situé entre les parties 2 et 3, présentent des cœurs de stabilité d'un niveau 7 autour desquels le récif s'est étendu. La partie n°4 est la plus récente et s'est développée à partir de portions de récif ayant un niveau de stabilité de 6. Dans la zone étudie (**Fig. 28**), le trait de côte ne cesse de progresser vers l'ouest, empiétantenviron 200 m d'estran depuis 1950.

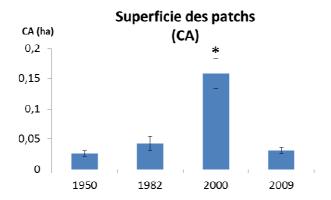
III.3 Analyse de la fragmentation de l'habitat

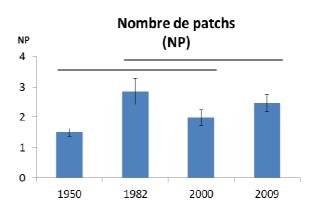
a) Evolution des structures paysagères au cours du temps

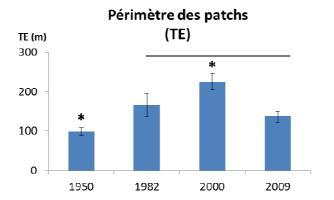
La première question qui se pose dans cette étude de la fragmentation de l'habitat est : quelle est l'évolution des structures paysagères au cours du temps ? Afin de répondre à cette question, les moyennes des indices paysagers ont été calculées pour les années 1950, 1982, 2000 et 2009, puis comparées entre elles (Fig. 29). Aucune évolution linéaire des structures paysagères au cours du temps n'a pu être démontrée, toutefois certaines dattes comme 2000 ressortent du lot.

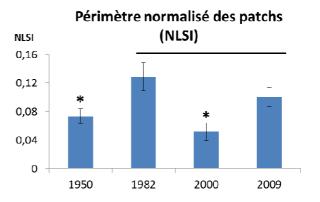
En 2000 l'aire moyenne des patchs (CA), leur périmètre (TE), leur extension moyenne (GYRATE_MN) et la contiguïté du récif au sein des patchs (CONTIG_MN) sont plus grands et significativement différents des autres années. Le périmètre des patchs normalisé (NLSI) est également significativement différent des autres années mais a une valeur moyenne inférieure à 1950,1982 et 2009 ce qui indique un périmètre des patchspeu découpés. Il n'y a pas de différence significative entre le nombre de patchs (NP) en 2000 et 1950. Il y a en moyenne 2 patchs par mailles. En 2000, les fragments de récif (patch) sont donc peu nombreux, très étendus, peu découpés avec une aire et un périmètre importants.Les indices paysagers semblent indiquer qu'en 2000 le récif était bien développé et peu fragmenté.

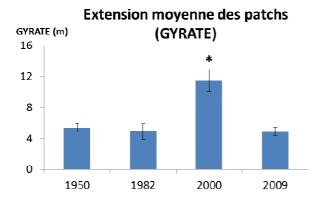


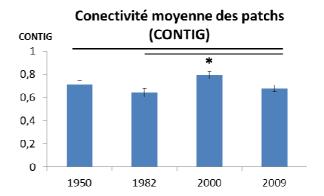












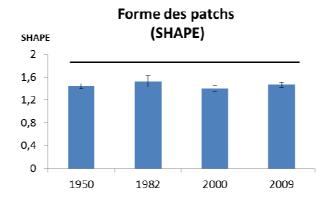


Figure 29: Moyennes des indices paysagers aux différentes dates étudiées : 1950, 1982, 2000, 2009. L'astérisque indique les moyennes significativement différentes pour un seuil alpha de 0,05 ; le trait entre deux moyennes indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes.



En 1982 et 2009 NP, NLSI, TE et CONTIG_MN sont significativement différents de 1950 et 2000. Les valeurs élevées des moyennes des indices NP, NLSI, TE et faibles pour CONTIG_MN indiquent qu'il y a beaucoup de fragments de récifs au sein des mailles, que ces récifs sont très découpés avec peu de connectivité entre eux. Ceci est moins important en 2009 qu'en 1982 car NP, NLSI, TE ont des valeurs plus faibles et CONTIG_MN est plus élevé en 2009 qu'en 1982. Il n'y a pas de différence significative entre 1950, 1982 et 2009 pour l'aire (CA) et l'extension moyenne des patchs (GYRATE) qui ont des valeurs plus faibles qu'en 2000. Les années 1982 et 2009 présentent des similitudes concernant la structure du récif décrite par les indices paysagers. Ceux-ci semblent indiquer une fragmentation du récif, qui est légèrement plus importante en 1982 qu'en 2009.

En 1950 CA, NP et TE présentent les plus faibles moyennes, TE et NLSI diffèrent des autres années, NLSI est légèrement plus élevé qu'en 2000, NP diffère de 1982 et 2009 et est plus faible qu'en 2000. Les faibles valeurs de CA, NP, TE et NLSI indiquent que le récif en 1950 présente peu de fragment récifaux, ceux-ci sont peu découpés mais ont un périmètre et une aire faibles. Le récif en 1950 semble être à un état intermédiaire, moins fragmenté qu'en 1982 et 2009 mais plus qu'en 2000.

Pour toutes les années il n'a pas été observé de différence significative entre la forme moyenne des patchs (SHAPE_MN).

b) Lien entre la stabilité et la fragmentation du récif

Suite au calculdes différents niveaux de stabilité (Cf. III.2 b), une seconde question se pose quant à l'étude de la fragmentation de l'habitat : quelle est le lien entre la stabilité du récif et la structure paysagère de celui-ci ? La stabilité moyenne et les indices paysagers ont été calculés pour chacune des mailles du récif en 2009 selon deux types de régressions linéaires qui ont permis de mettre en évidence le lien entre les indices paysagers et la stabilité.

• La régression linéaire multiple basée sur le modèle prédictif renseigne sur la meilleure combinaison d'indices paysagers pouvant expliquer la stabilité moyenne. Ici le nombre de patchs (NP) et l'aire totale des patchs (CA) expliquent 64% de la variabilité de la stabilité moyenne (STAB) (**Tableau 4 : Q2modèle prédictif**). CA étant très significatif au seuil de 0,1% pour un P < 2 et NP significatif au seuil de 5% pour un P = 0,0104.



• La régression linéaire multiple basée sur le modèleexplicatifclasse les indices paysagersen fonction de leur explication de la stabilité. Ici l'aire totale des patchs (CA) explique mieux la stabilité moyenne (STAB) que l'extension moyenne des patchs (GYRATE) et le périmètre des patchs (TE) (Tableau 4 : Q2modèleexplicatif). Tous les indices paysagers sont significatifs, à l'exception de l'indice de forme (SHAPE).

Pour les deux modèles de régression linéaire multiple l'aire totale des patchs (CA) explique le mieux la stabilité moyenne. Une régression linéaire a donc été effectuée entre la stabilité (STAB) et l'aire totale des patchs (CA)(Tableau 4: Q2régression linéaire). Cette régression linéaire forme une droite de coefficienta proche de 1 avec un R² de 0,62. Il y a donc une forte corrélation entre la stabilité et l'aire totale des patchs. Plus l'aire des récifs au sein d'une maille sera grande plus ça pérennité dans le temps (stabilité) sera élevée.

c) Lien entre l'état de santé et la fragmentation du récif

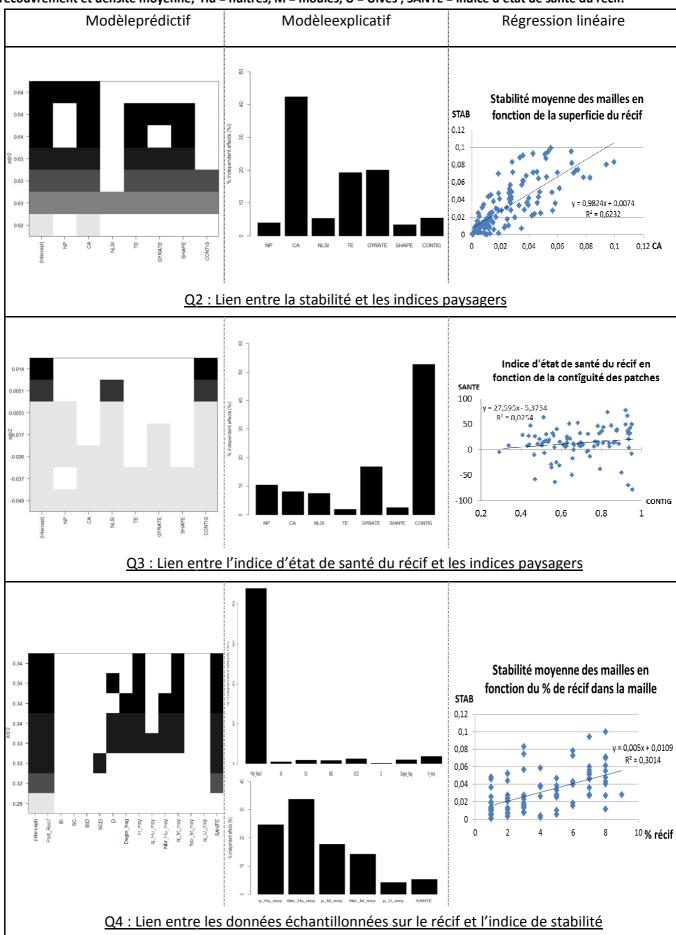
Il s'agit ensuite de définir si les structures spatiales déterminent l'état de santé des récifs? Afin de répondre à cette question, des régressions linéaires multiples ont été réalisées pour l'indice d'état de santé de 2012, en fonction des indices paysagers, calculés pour les mailles contenant du récif en 2009.

- La régression linéaire multiple basée sur le modèle prédictif indique que la contiguïté entre les patchs (CONTIG) explique le mieux la variabilité de l'indice d'état de santé (SANTE) (**Tableau 4 : Q3 modèle prédictif**). Toutefois la contiguïté (CONTIG) n'explique que 1,4% de la variabilité de l'état de santé (SANTE) ce qui n'est pas significatif.
- La régression linéaire multiple basée sur le modèle explicatif indique que la contiguïté entre les patchs (CONTIG) explique mieux l'indice d'état de santé (SANTE) que l'extension moyenne des patchs (GYRATE) et le nombre de patchs (NP) (Tableau 4 : Q3 modèle explicatif). Toutefois aucun des indices paysagersn'expliquent de manière significative l'indice d'état de santé du récif.

Pour les deux modèles de régression linéaire multiple la contiguïté entre les patchs (CONTIG) explique le mieux l'indice d'état de santé mais n'est pas significatif. Une régression linéaire a été réalisée entre l'indice d'état (SANTE) et la contiguïté entre les patchs (CONTIG)(Tableau 4: Q3régression linéaire). La régression linéaire révèle qu'il y a peu de corrélation entre l'indice d'état de santé et la contiguïté des patchs.



Tableau 4: Analyse de la fragmentation du récif de la Fosse. Pour Q2 et Q3 : NP, CA, NLSI, TE, GYRATE, SHAPE et CONTIG = indices paysagers (voir Tableau 3). Pour Q4 Part_Récif = % de récif ; BI, SC, BID, SCD, D = recouvrement des différentes structures récifales (voire II.1 b) ; Degre_frag = degré de fragmentation ; H_moy = hauteur moyenne ; R et Nbr _ moy = recouvrement et densité moyenne, Hu = huîtres, M = moules, U = Ulves ; SANTE = indice d'état de santé du récif.





En effet les points sont dispersés autour de la droite de régression qui présente un R² important. Bien que la contiguïté des patchs explique une partie de la variabilité de l'indice d'état de santé, celle-ci n'explique pas significativement l'indice d'état de santé. Il n'y a donc pas de lien entre les indices paysagers et l'indice d'état de santé du récif.

d) Lien entre la stabilité et les indices d'état de santé du récif

La quatrième et dernière question qui se pose dans cette étude de la fragmentation de l'habitat est : quel est le lien entre la stabilité moyenne et les paramètres relevés sur le terrain qui ont servi à réaliserl'état de santé du récif en 2012 ? Pour répondre à cette question, deux types de régressions linéaires ont été réalisées entre la stabilité moyenne et les paramètres relevés sur le terrain en 2012.

- La régression linéaire multiple basée sur le modèle prédictif indique que le pourcentage de récif au sein des mailles(Part_Recif), la hauteur moyenne (H_moy), le recouvrement moyen des moules (R_M_moy) et l'indice d'état de santé (SANTE) expliquent à 34,11% la variabilité de la stabilité moyenne des mailles (STAB) (**Tableau 4 : Q4 modèle prédictif**). Le pourcentage de récif au sein des mailles (Part_Recif) est très significatif au seuil de 0,1% pour un P = 2.64 et l'indice d'état de santé (SANTE) est significatif au seuil de 5% pour un P = 0,023.
- La régression linéaire multiple basée sur le modèle explicatif indique que le pourcentage de récif au sein des mailles(Part_Recif) explique mieux la stabilité moyenne (STAB) que le nombre et le recouvrement moyen des huîtres (Nbr_Hu_moy et R_Hu_moy) (**Tableau 4 : Q4 modèle explicatif**). SeulsPart_Recif et Nbr_Hu_moy sont significatifs au seuil de 5%.

Pour les deux modèles de régression linéaire multiple le pourcentage de récif au sein des mailles(Part_Recif) explique le mieux la stabilité moyenne. Une régression linéaire a donc été effectuée entre la stabilité (STAB) et le pourcentage de récif au sein des mailles(Part_Recif)(Tableau 4 : Q4régression linéaire). Cette régression linéaire forme une droite avec un R² de 0,30. Il y a donc une corrélation entre la stabilité et le pourcentage de récif au sein des mailles. Plus le pourcentage de récif occupant une maille sera grand plus la stabilité moyenne au sein de cette maille sera élevée.



IV Discussion

IV.1 Etat de santé du récif

a) Indice d'état de santé

La présente étude a mis en évidence une dégradation du récif de la Fosse par rapport aux mesures effectuées en 2002, par Dubois et *al.*(2004)et ce malgré une extension du récif vers l'ouest. En effet une partie des mailles situées les plus à l'est du récif ont disparuentre 2002 et 2012, en revanche de nouvelles formations récifales se sont apparus au niveau des mailles situées les plus au large et au centre des trois grandes parties du récif. Toutefois les mailles situées au centre des trois grandes partiesprésentent un mauvais indice d'état de santé traduit par une fragmentation importante, un fort taux de recouvrement des structures dégradées et des ulves. Le mauvais état de santé de ces mailles est probablement dû à un faible hydrodynamisme généré par les récifs de bordures qui font office de barrière à la houle et aux courants littoraux. L'hydrodynamisme n'étant pas suffisant pour remettre en suspension les grains de sable et évacuer les biopépôts, les mailles situées au centre du récif se sont alors ensablées et envasées. De plus, depuis quelques années une dune de sable se forme entre la partie n°1 et 2 du récif ensevelissant les formations récifales du centre du récif et celles du nordest de la partie n°1.

b) Epibiontes

La présence d'épibiontes traduit une certaine dégradation du récif et influence également son évolution future (Dubois *et al.*, 2004). Sur le récif de la Fosse, les pourcentages de recouvrement des épibiontes sont relativement faibles. En ce qui concerne les moules (*Mytilusedulis*) et les huîtres (*Crassostrea gigas*), il n'excède pas 40% et les individus sont principalement des juvéniles. Actuellement peu de pêcheurs à pieds fréquentent le site du récif de la Fosse, étant donné les faibles quantités d'huîtres et moules rencontrées. La présence de fortes densités de ces espèces peut attirer des pêcheurs à pied, ce qui a terme risque d'endommager le récif comme ce fut le cas pour le récif du Mont-Saint-Michel (Dubois, 2003). En revanche la colonisation du récif par les ulvesqui est plus importante en 2012 qu'en 2002 peut constituer une menace quant au devenir du récif, en provoquant une réduction du recrutement



ce qui à terme peut causer des dommages importants quant à la structure du récif (Dubois*et al.*,2006).

c) Sédimentologie

Au vu des nouvelles formations rencontrées à l'ouest du récif, les conditions hydrosédimentaires semblent favorables au maintien et au développement de celui-ci. En effet les sédiments observés au pied des formations récifales sont majoritairement constitués de sable moyen à grossier, mal ou moyennement triécorrespondant à une gamme de taille de 400 à 800 μm, ce qui est la granulométrie optimale pour la construction des tubes d'hermelles (Gruet, 1982). Les sédiments prélevés aux abords du récif sont quant à eux majoritairement constitués de sédiment fin. Un tri sédimentaire est alors effectué par les hermelles via la construction de leur tube, se traduisant par une accumulation de sédiments moyens d'une granulo métrie optimale à proximité du récif. Il y a un double mouvement des sédiments ;les bancs de sable alimentent le récif en sable fin à moyen qui servent à la construction des tubes ; lorsque ceux-ci sont détruitsles sédimentsmoyens d'une granulométrie optimalle sont alors remis en suspension et servent de nouveau à la construction des tubes et du récif (Gruet, 1982). Les récifs d'hermelles peuvent stocker une quantité considérable de sédiments, Gruet(1982) a estimé qu'un récif au stade platier d'une surface de 3 700 m² immobilise entre 4 000 et 6 000 m³de sable. Actuellement le récif de la Fosse s'étend sur environ 11 ha, il immobiliserait donc 119 000 m³ de sable.

Malgré des conditions hydro-sédimentaires favorables au maintien du récif, les formations récifales sont fortement dépendantes du recrutement en larves compétentes. Si celui-ci n'est pas suffisant pour combler les espaces entre les tubes, certaines structures risquent de s'effondrer et de se dégrader par la suite. Cependant plusieurs auteurs (Wilson, 1970 ; Gruet, 1982) ont montré que le recrutement en larves compétentes de *S. alveolata* était cyclique et qu'un recrutement massif de juvéniles avait lieu tous les 3 ou 4 ans. Si les conditions hydrosédimentaires sont maintenues et qu'un tel recrutement se produit d'ici quelques années l'état de santé du récif pourrait rapidement s'améliorer.



IV.2 Evolution historique

Aplus ou moins long terme, c'est l'orientation du chenal principal du delta de marée qui influence le devenir des formations récifales. Depuis que celui-ci est orienté vers l'ouest les formations récifales que l'on connaît actuellement se sont développées et le banc de sable du Braillard ainsi que le trait de côte de Noirmoutier ont progressé vers le large. L'accumulation de sable au niveau du banc du Braillard est à l'origine de l'ensablement du récif et de toute la plateforme de déferlement qui s'exhausse, faisant ainsi progresser le trait de côte vers le large. Les formations récifales se trouvant les plus proches de la plage se retrouvent alors plus souvent exondées et finissent par disparaître ensevelies sous le sable. C'est pourquoi depuis 2000, le récif progresse vers le large. Cependant l'avenir du récif à long terme ne semble pas menacé. Un tel évènements'est déjà produit par le passé entre 1950 et 1982, le récif situé au sud de la Fosse a disparu suite à l'avancé du trait de côte, le récif s'est alors développé de façon exponentielle à partir de petites portions présentes au nord (cœurs de stabilité). L'expansion rapide du récif à partir des cœurs de stabilité témoigne d'une grande capacité d'adaptation des hermelles à leur environnement.

IV.3 Fragmentation de l'habitat

a) Evolution des structures paysagères au cours du temps

L'évolution des structures paysagères au cours du temps a permis de mettre en évidence une structure du récif propre à chacune des dates. Ainsi d'après l'étude des indices paysagers, le récif, en 1950 présentait peu de formations récifales mais celles-ci étaient peu fragmentées et de petites tailles, en 2000 il était bien développé et peu fragmenté ;en 1982 et 2009 le récif semble plus fragmenté car les formations récifales sont nombreuses, de petites tailles et très découpées. Ces résultats sont à mettre en relation avec l'étude de l'évolution historique pour les dates en question. En 1950 le récif s'étend de la pointe de la Fosse au récif actuel et occupait une surface de 9 ha, les formations récifalessont de petites tailles et très dispersées. En 1982 la surface du récif a diminué, celui-ci s'étend alors sur 4 ha avec de nombreuses formationsfragmentées. En 2000 le récif occupe une superficie de 14 ha et les trois grandes parties du récif ne sont pas fragmentées. En 2009 la surface du récif a diminué et n'occupe plus que 11 ha et les trois grandes parties du récif se fragmentent. Il y a donc une bonne corrélation entre les indices paysagers, le calcul des surfaces de récif etl'observationde l'évolution historique du récif.



b) Lien entre la stabilité, les indices de fragmentation et l'état de santé du récif

L'étude du lien entre la stabilité du récif et la fragmentation a révélé des résultats semblables à ceux de l'étude du lien entre les données échantillonnées et la stabilité du récif. En effet, il s'avère que les mailles ayant un pourcentage de recouvrement du récif ou une surface de récif (CA) élevés sont les plus stables dans le temps. La similitude des résultats calculés à l'aide de paramètres acquis de manière différente tend à attester qu'il y a une forte corrélation entre l'aire du récif dans la maille et sa stabilité dans le temps. Il serait intéressant de valider ce travail en l'extrapolant à d'autres récifs d'hermelles ou d'annélides tubicoles ce qui permettrait par la suite de prédireles zones de récif les plus stables à partir d'une simple numérisation du récif. En revanche aucune relation n'a pu être trouvée entre l'indice d'état de santé et les indices paysagers.

V Conclusion

Actuellement le récif de la Fosse présente un état de santé intermédiaire, moins bon qu'en 2002. Le centre et la partie nord du récif sont en déclin, caractérisés par des structures dégradées et un recouvrement en épibiontes (surtout des ulves) à la suite d'un ensablement de cette zone. Malgré ce déclin apparent, de nouveaux récifs se forment plus au large, les conditions hydro-sédimentaires semblent donc favorables au maintien et au développement du récifsur le long terme. L'évolution historique du récif et des bancs de sable a révélé que ces formations récifales sont sous influence du delta de marée et des changements d'orientation de son chenal principal. En 60 ans, le récif a beaucoup évolué, l'extension du récif s'est faite de façon exponentielle autour de cœurs de stabilité. Les parties de récif les plus stables dans le temps sont caractérisées par une surface récifale importante. Outre les paramètres abiotiques étudiés, le devenir du récif dépend également du recrutement, or il existe peu de données sur celui-ci pour le récif de la Fosse. Il serait donc intéressant de compléter cette étude par un suivi larvaire permettant de déterminer la quantité de larves émises, la direction et la dispersion du nuage larvaire ainsi que sa persistance au-dessus du récif. Il semble également important de déterminer l'impact du dragage du chenal de Fromentine sur le récif et l'ensablement progressif de la plateforme de déferlement (banc du Braillard).



Liste des illustrations

Tableaux

D'après Desroy et al. (2011)------14

Tableau 1: Valeurs du statut écologique (Ecologique Quality Ratio : EQR) associé à l'indice d'état de santé (IS).

Tableau 2 : Calcul des différents niveaux de stabilité18
Tableau 3: Indices paysagers sélectionnés pour l'analyse de la fragmentation du récif (d'après Mc Garigal et al.
2002)
Tableau 4: Analyse de la fragmentation du récif de la Fosse. Pour Q2 et Q3 : NP, CA, NLSI, TE, GYRATE, SHAPE et
CONTIG = indices paysagers (voir Tableau 3). Pour Q4 Part_Récif = % de récif ; BI, SC, BID, SCD, D =
recouvrement des différentes structures récifales (voire II.1 b) ; Degre_frag = degré de fragmentation ;
H_moy = hauteur moyenne ; R et Nbr _ moy = recouvrement et densité moyenne, Hu = huîtres, M = moules
U = Ulves ; SANTE = indice d'état de santé du récif44
Figures
Figure 1: Principales régions d'Europe - A - et de France - B - où ont été signalés et décrits des récifs à Sabellaria
alveolata, d'après Gruet (1982) modifiée et complétée par Dubois (2004) et distribution des haplotypes du
gène mitochondrial codant pour la cytochrome oxydase I, d'après Rigal (2005) modifiée par Ayata (2010);
C : localisation des principales formations de S. alveolata en baie de Bourgneuf (d'après Dubois, 2004)
Figure 2: Organisation du delta de marée de Fromentine (photo IGN de 1982). En rouge les structures
sédimentaires du delta de jusant; 1: chenal principal; 2: barres linéaires de bordure de chenal; 3: barres de
déferlement; 4: plate-forme de déferlement; 5 lobe terminal; 6: chenal latéral de flot ; 7: flèches littorales.
En bleu les structures sédimentaires du delta de flot ; 1 : rampe de flot ; 2 : chenal de flot ; 3 : bouclier de
jusant ; 4 : lobe de déversement ; 5 : flèche de jusant (Bernier& Gruet, 2011)
Figure 3: Description morpho-anatomique de l'espèce Sabellaria alveolata (Dubois 2004). A – vue de profil et vue
dorsale : F.ven.= face ventral ; F.dor.= face dorsale ; R.abd.= région abdominale ; R.tho.= région thoracique
(composée de 2 segments thoraciques – 2t – et 3 segments parathoraciques - 3pts-) ; C.ope.= couronne
operculaire vue au MEB ; F.ten.= filaments tentaculaires ; A.cau.= appendice caudal ; Bra= branchies. B – vue
ventrale et dorsale de la région antérieure : L.pro.= lobe prostomial ; P.ope.= papilles operculaires ; P.ext.=
palées extérieurs ; P.med.= palées médianes ; P.int.= palées internes ; P.buc= palpes buccaux ; Bou.=
bouche ; O.con.= organe constructeur ; S.set= segment sétigère parathoracique ; S.pag.= soies en pagaie. C -
tube arénacé : T.tra.= en coupe transversale ; T.lon.= en coupe longitudinale. Dessins Y. Gruet (1982) –
Clichés MEB et loupe binoculaire S. Dubois
Figure 4: Différentes étapes de la dynamique récifale des structures en placage et des formations étendues sur
substrat meuble. Complété et modifié par Dubois (2004), d'après Gruet (1972)10
Figure 5: Schéma du degré de fragmentation (Dubois et al., 2004)12



Figure 6: Situation géographique des carottes sédimentaires prélevées le long de trois transects situés sur les
lignes 1, 8 et 16 du quadrillage de 50m X 50m appliqué sur l'image hyperspectrale de 2009 du récif de la
Fosse. Les croix rouges indiquent les carottes initialement prévues, non échantillonnées car immergées lors
de notre passage. Les coordonnées X et Y indiquent la longitude et la latitude en degré, du centre des
mailles situées aux quatre coins du quadrillage15
Figure 7: Mailles de 50 m par 50 m échantillonnées en 2002 (Dubois et al., 2004) et 2012 sur le récif de la Fosse,
delta de Fromentine (65 mailles communes au deux dates, 83 mailles en 2002 et 92 en 2012)16
Figure 9 : Fragmentation du récif sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.
Degré 10 : 1 seul gros bloc de récif – Degré 7,5 : plusieurs gros blocs de récif – Degré 5 : plusieurs blocs de
tailles variées – Degré 2,5 : nombreux blocs petits et moyens – Degré 0 : uniquement des très petits blocs
récifaux23
Figure 8 : Situation géographique des 92 stations observées et échantillonnées et des 24 carottes sédimentaires
prélevées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine. Les numéros 1, 2, 3 indiquent les trois
grandes parties qui composent le récif et auxquelles le texte fait référence23
Figure 10: Taux de recouvrement des structures coalescentes sur les stations observées en 2012 sur le récif de la
Fosse, delta de Fromentine24
Figure 11: Taux de recouvrement des structures en boules isolées sur les stations observées en 2012 sur le récif de
la Fosse, delta de Fromentine25
Figure 12: Taux de recouvrement des structures dégradées - boules isolées dégradées, structures coalescentes
dégradées et état dégradé - sur les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine.
25
Figure 13: Taux de recouvrement moyen des ulves <i>Ulva</i> sp. par mètre carré sur les stations observées en 2012 sur
le récif de la Fosse, delta de Fromentine26
Figure 14: Densité moyenne de moules <i>Mytilus edulis</i> par mètre carré sur les stations observées en 2012 sur le
récif de la Fosse, delta de Fromentine27
Figure 15: Taux de recouvrement moyen de moules <i>Mytilus edulis</i> par mètre carré sur les stations observées en
2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine27
Figure 16: Densité moyenne d'huîtres <i>Crassostrea gigas</i> par mètre carré sur les stations observées en 2012 sur le
récif de la Fosse, delta de Fromentine28
Figure 17: Taux de recouvrement moyen d'huîtres <i>Crassostrea gigas</i> par mètre carré sur les stations observées en
2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine28
Figure 18: Indice d'état de santé du récif en 2002 sur les stations observées sur le récif de la Fosse, delta de
Fromentine d'après les données terrain de 2002 (Dubois et <i>al.</i> , 2004) 30
Figure 19: Indice d'état de santé du récif en 2012 sur les stations observées sur le récif de la Fosse, delta de
Fromentine30
Figure 20: Hauteur moyenne du récif par rapport au substrat, réalisée par interpolation IDW (Inverse Distance
Weighted) pour les stations observées en 2002 par Dubois et al. (2004) sur le récif de la Fosse, delta de
Fromentine 31
Figure 21: Hauteur moyenne du récif par rapport au substrat, réalisée par interpolation IDW (Inverse Distance
Weighted) pour les stations observées en 2012 sur le récif de la Fosse, delta de Fromentine31



Figure 22: Difference de nauteur moyenne du recif par rapport au substrat entre 2002 (Dubois <i>et al.,</i> 2004) et 2012
sur le récif de la Fosse, delta de marée de Fromentine32
Figure 23: Moyenne des états structuraux du récif, du degré de fragmentation et de l'indice d'état de santé
échantillonnés pour chacun des trois groupes sur quatre mêmes mailles. Récif = % de récif ; BI = % de boules
isolées ; SC = % de structures coalescentes ; BID = % de boules isolées dégradées ; SCD = % structures
coalescentes dégradées ; D = % état dégradé ; Frag = degré de fragmentation ; IS = indice d'état de santé 33
Figure 24: Nature des sédiments jouxtant les blocs récifaux des stations observées et appellation des carottes
sédimentaires prélevées le long des transects de la ligne 1 (rond bleu), ligne 8 (rond jaune), ligne 16 (rond
vert). en 2012 aux abords du récif de la Fosse, delta de Fromentine35
Figure 25: Courbes granulométriques du pourcentage de poids cumulé des sédimentaires prélevées le long des
transects de la ligne 1 (fond bleu), ligne 8 (fond jaune), ligne 16 (fond vert)35
Figure 26: Histogrammes des fractions sédimentaires exprimées en % de poids pour chacune des carottes
prélevées aux abords du récif le long de 3 transects (lignes 1, 8, 16). La granulométrie optimale pour la
construction des tubes est représenté en rose36
Figure 27: A : dynamique spatio-temporelle des bancs de sable et des récifs d'hermelles de la Fosse, modifié
d'après Dubois <i>et al.</i> (2004) pour les années 1950, 2000, 2002 et Gruet (1982) pour l'année 1972-1974.
Cartes au 1/50 000 ème. B : évolution de la surface de récif aux différentes dates étudiées38
Figure 28 : Carte des différents niveaux de stabilité et de l'évolution du trait de côte entre 1950 et 2009. Tableau
et histogramme des surfaces de récifs en fonction du niveau de stabilité39
Figure 29: Moyennes des indices paysagers aux différentes dates étudiées : 1950, 1982, 2000, 2009. L'astérisque
indique les moyennes significativement différentes pour un seuil alpha de 0,05 ; le trait entre deux
moyennes indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes41



Références Bibliographiques

- AYATA, S.-D., ELLIEN, C., DUMAS, F., DUBOIS, S. & THIEBAUT, E., (2009). Modelling larval dispersal and settlement of the reef-building polychaete *Sabellaria alveolata*: role of hydroclimatic processes on the sustainability of biogenic reefs. *Continental ShelfResearch*, 29:1605–1623.
- AYATA S.-D. (2010). Importance relative des facteurs hydroclimatiques et des traits d'histoire de vie sur la dispersion larvaire et la connectivité à différents échelles spatiales (Manche, Golfe Gascogne). Thèse de l'Université Pierre et marie Curie, Paris, 386p.
- BARILLE-BOYER A.-L., HAURE J.& BAUD J.-P., (1997). L'ostréiculture en baie de Bourgneuf. Relation entre la croissance des huîtres *Crassostrea gigas* et le milieu naturel : Synthèse de 1986 à 1995. Rapports Scientifique et Techniques de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER, 173 p.
- BERNIER P. & GRUET Y., (2011). ENVIRONNEMENT LITTORAL Sédimentation et Biodiversité de l'Estran île de Noirmoutier (Vendée), *Documents des Laboratoires de Géologie*, Lyon H.S.10, 2011, 163p. 68 fig., 33 pl.
- CALLAWAY R., DESROY N., DUBOIS S., FOURNIER J., FROST M., GODET L., HENDRICK V. & RABAUT M., (2010). Ephemeral bio-engineers or reef-building Polychaetes: how stable are aggregations of the tube worm *Laniceconchilega* (Pallas, 1766)? *Society for Integrative and Comparative Biology*, vol. 50-2, pp. 237-250.
- CLARK R.B. & OLIVER P.J.W., (1973). Recent advances in polychaete endocrinology and reproductive biology. *Oceanography and Marine Biology*, Annual Review, 11: 175-222.
- CURTIS L.A., (1973). Aspects of the life cycle of *Sabellaria vulgaris* Verril (Polychaeta :Sabellariidae) in Delaware Bay. Thesis of the Faculty of University of Delaware : 236 pp.
- DESROY N., DUBOIS S., FOURNIER J., RICQUIERS L., LE MAO P., GUERIN L., GERLA D., ROUGERIE M.& LEGENDRE A., (2011). The conservation status of *Sabellaria alveolata* (L.) (Polychaeta: Sabellariidae) reefs in the Bay of Mont-Saint-Michel. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*, 21: 462–471
- DUBOIS S., (2003). Ecologie des formations récifales à *Sabellaria alveolata* (L.) : valeur fonctionnelle et patrimoniale. Thèse de Doctorat du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 203 p.
- DUBOIS S., BARILLÉ L. & RETIÈRE C.,(2003). Efficiency of particle retention and clearance rate in thepolychaete Sabellaria alveolata L. *ComptesRendusBiologies*, 326:413–421.
- DUBOIS S., BARILLE L., BARILLE A.-L. &GRUET Y.,(2004). Conditions de préservation des formations récifales à *Sabellaria alveolata* (L.) en baie de Bourgneuf. Rapport pour la Direction Régionale de l'Environnement des Pays de la Loire, 48 p.
- DUBOIS S., BARILLÉ L., COGNIE B. & BENINGER P.G., (2005). Particle capture and processing mechanisms in *Sabellaria alveolata* (Polychaeta: Sabellariidae). *Marine Ecology-Progress Series*, 301:159-171.
- DUBOIS S., COMMITO J.A., OLIVIER F. & RETIERE C., (2006). Effects of epibionts on *Sabellaria alveolata* (L.) biogenic reefs and their associated fauna in the Bay of Mont Saint-Michel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68:635-646.
- DUBOIS S., BARILLE L. & COGNIE B., (2009). Feeding response of the polychaete *Sabellaria alveolata* (Sabellariidae) to changes in seston concentration. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom*, 376: 94-101.
- GODET L., FOURNIER J., JAFFRE M. & DESROY N.,(2011). Influence of stability and fragmentation of a worm-reef on benthic macrofauna. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 92: 472–479.
- GRUET Y., (1971-1972). Morphologie, croissance et faune associée des récifs de *Sabellaria alveolata* (Linné) de la Bernerie-en-Retz (Loire-Atlantique), *Thétys*, volume 3(2): 321-380.



- GRUET Y., (1982).Recherches sur l'écologie des « récifs » d'Hermelles édifiés par l'annélide polychète *Sabellaria alveolata* (Linné). Thèse de l'Université des Sciences et Techniques de Nantes : 238pp.
- GRUET Y. & LASSUS P., (1983). Contribution à l'étude de la biologie reproductive d'une population naturelle de l'Annélide Polychète *Sabellaria alveolata* (Linné), *Annales de l'institut Océanographique*., Paris, Tome 52 (2): 127-140.
- GRUET Y., VOVELLE J. & GRASSET M.,(1987). Composante biominérale du ciment du tube chez *Sabellaria alveolata* (L.), Annélide Polychète. *Canadian Journal of Zoology*, 65(4): 837-842.
- GRUET Y. & BODEUR Y., (1994). Sélection des grains de sable selon leur nature et leur forme par *Sabellaria alveolata* Linné (Polychète, Sabellariidé) lors de la reconstruction

Conférence internationale Polychètes. *Mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 162 : 425-432.

- GRUET Y. & BAUDET J., (1997). Mortalitésmassivessubles par les populations du Polychète *Sabellaria alveolata* (Linné) du delta de marrée de Fromentine (Vendée) suite à des froids exceptionnels. *Bulletin de la Société des sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, 19 : 19-28.
- HOLT T.J., REES E.I., HAWKINS S.J. & SEED R.,(1998).Biogenic reefs.An overview of dynamic and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs. Scottish Association for Marine Science (UK Marine SACS Project): 170 pp.
- ORRHAGE L.,(1978). On the structure and evolution of the anterior end of the Sabellariidae (polychaetaSedentaria). With some remarks on the general organization of the polychaete brain. ZoologisheJahrbücher Anatomie, 100: 343-374.
- VOVELLE J. & GAIL F.,(1965). Le tube de *Sabellaria alveolata*(L.) Annélide Polychète Hermillidae et sont ciment. Etude écologique, expérimentale, histologique et histochimique. *Arch. Zool.* Exp. Gén. 106: 1-187.
- WILSON D.P., (1968 a). The settlement behavior of the larvae of Sabellaria alveolata (L.). Journal of Marine Biological Association of United Kingdom, 48: 387-435.
- WILSON D.P., (1968 b). Some aspects of the development of eggs and larvae of *Sabellaria alveolata*(L.). *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom*, 48: 367-386.
- WILSON D.P.,(1970). Additional observations on larval growth and settlement of *Sabellaria alveolata*. *Journal of Marine Biological Associaton of United Kingdom*, 50: 1-31.
- WILSON D.P.,(1971). Sabellaria colonies at Duckpool, North Cornwall, 1961-1970. *Journal of Marine Biological Associaton of United Kingdom*, 51: 509-580.



Annexe 1: références et choix des données exploitées

Exploitable	Disponible	Date	Heure	Coeficient	h marée basse	Produit	Résolution ou échelle	Source	Référence
	non	21/05/2010	10:34:00	58	17:49	orthophoto	0,5 m	Site IGN	2010_FD 85_C_50 n°2193
	non	21/05/2010	10:40:00	58	17:49	orthophoto	0,5 m	Site IGN	2010_FD 85_C_50 n°2199
non	oui	01/01/2009			haute	orthophoto		Site géopal	
oui b+h	oui	22/09/2009		93 ou 87	7:07 ou 19:20	hyperspectrale	1/100	Actimar	QL_Noirmoutier_R745_B550_20090922
non	oui	23/06/2006	15:38:36		haute	orthophoto		Site géopal	
oui h	oui	12/08/2001	16:29:00	44	17:16	orthophoto	1/25 000	Site IGN	2001_FD 85_C_25000 n°2092
oui b+h	oui	30/07/2000	08:29:00	88	11:00:00	ortholittoral	1/25 000	ortholittoral 2000	2000_FR 5414_C_25000 n°36
	non	01/07/1999	09:54:26	77	13:26	orthophoto	1/30 000	Site IGN	1999_F_1024-1126_P_30000 n°68
	non	27/05/1997				orthophoto	1/25 000	Site IGN	1997_FD 85_C_25000 n°105
	non	07/06/1996				orthophoto	1/40 000	Site IGN	1996_FR 5153_C_40000 n°2
	non	23/07/1992				orthophoto	1/25 000	Site IGN	1992_IFN 85_P_25000 n°128
	non	13/07/1990				orthophoto	1/20 000	Site IGN	1990_FD 79-85 C_C_20000 n°537
	non	20/09/1989				orthophoto	1/40 000	Site IGN	1989_FR 4503_C_40000 n°2
oui b+h	oui	18/04/1984				orthophoto	1/30 000	Site IGN	1984_F 1025-1425_P_30000 n°51
oui b+h	oui	04/06/1905				orthophoto	1/30 000	IGN	
	non	15/05/1979				orthophoto	1/30 000	Site IGN	1979_F 1025-1425_P_30000 n°125
non	oui	10/08/1977				orthophoto	1/20 000	Site IGN	1977_FR 2889 LOT 5_P_20000 n°834
	non	22/05/1975				orthophoto	1/20 000	Site IGN	1975_CDP 8080_P_20000 n°3880
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8201
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8202
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8204
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8206
oui h	oui	19/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8207
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8209
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8386
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8384
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8382
oui h	oui	18/04/1974				orthophoto	1/4 000	Site IGN	1974_CDP 6100_P_4000 n°8380
non	oui	03/09/1971				orthophoto	1/30 000	Site IGN	1971_F 1025-1325_P_30000 n°100
oui b+h	oui	22/07/1968				orthophoto	1/40 000	Site IGN	1968_F 1025-1325_P_40000 n°39
non	oui	10/05/1967				orthophoto	1/25 000	Site IGN	1967_F 1024-1025_P_25000 n°20
oui b+h	oui	19/09/1966				orthophoto	1/40 000	Site IGN	1966_F 1024-1025_P_40000 n°21
	non	22/09/1962				orthophoto	1/20 000	Site IGN	1962_CDP 1982_P_20000 n°8449
non	oui	26/09/1960				orthophoto	1/8 000	Site IGN	1960_CDP 1608_P_8000 n°1242
non	oui	15/06/1958				orthophoto	1/25 000	Site IGN	1958_F 1025-1225_P_25000 n°38
oui b+h	oui	15/05/1950				orthophoto	1/26 000	Site IGN	1950_F 1025-1325_P_26000 n°260
oui b	oui	15/05/1950				orthophoto	1/26 000	Site IGN	1950_F 1025-1325_P_26000 n°286
	non	08/07/1945				orthophoto	1/40 000	Site IGN	1945_FRANCE SUD-OUEST 7105_P_40000 n°
				_					
oui b+h	oui	08/09/2009		84	13:58:00	SPOT 5	10 m	Spot image	5 032-254/7 09/09/08 11:22:36 1 J
oui b+h		22/07/2008		80	14:28	SPOT 2	20 m	Spot image	2 031-254 08-07-22 11:13:41 1 X
oui b	oui	02/06/2007		74	12:38	SPOT 2	20 m	Spot image	2 032-254 07-06-02 11:23:29 2 X
non	oui	06/09/2006		77	10:37	SPOT 2	20 m	Spot image	2 031-254 06-09-06 10:58:50 1 X
oui b+h	oui	18/09/2005		107	11:57	SPOT 5	10 m	Spot image	5 032 255 05 09 18 11 30 02 1 J
oui b+h	oui	24/09/2002		82	13:34	SPOT 5	10 m	Spot image	5 032 255 02 09 24 10 55 15 2 J
non	oui	23/12/1999		104	11:13	SPOT1	20 m	Spot image	1 032 55 99 12 23 11 24 28 2 X
oui b+h	oui	21/09/1998		89	12:24	SPOT2	20 m	Spot image	1 032 255 98 09 21 11 32 33 2 X
oui b+h	oui	17/10/1997		115	11:36	SPOT2	20 m	Spot image	2 032 255 97 10 17 11 20 41 2 X
oui b+h	oui	21/07/1996		64	15:16	SPOT2	20 m	Spot image	2 033 255 96 07 21 11 30 42 2 X
oui b	oui	20/08/1993		110	13:35	SPOT2	20 m	Spot image	2 032 255 93 08 20 11 33 14 1 X
oui b+h	oui	28/08/1991	11:37:05	89	13:39	SPOT2	20 m	Spot image	2 031 255 91 08 28 11 37 05 2 X

donnée acquise

donnée non exploitable

donnée exploitable, mauvaise qualité

donnée exploitable, mauvaise qualité

donnée exploitable, mauvaise qualité

donnée exploitée

donnée exploitée

b : bancs de sable bien visible

h : récif d'hermelles bien visible



Annexe 2: annexe photographique

- Vue d'ensemble des formations récifales se développant sur substrat meuble, 1 structures coalescentes et platiers bien développés (site de la Fosse, Avril 2012) Anciennes tables ostréicoles situées au sud est du récif, abandonnées et **(2**) ensevelies (site de la Fosse, Avril 2012) Formation récifale située le plus au sud du récif, fortement dégradée, éboulée en son centre et recouverte d'Ulves et de moules Mytulusedulis (site de la Fosse, Avril 2012) Formation récifale récemment formée, située au large à l'ouest du récif 4 (site de la Fosse, Avril 2012) Quadrat de 1 m² utilisé pour déterminer le pourcentage de recouvrement et la (5)densité moyenne des épibiontes (site de la Fosse, Avril 2012) Tubes de Sabellaria alveolata en partie bouchés, envasés par des déchets (6) métaboliques (site de la Fosse, Avril 2012) Formation récifale en platier bien développé, haut d'environ 1 m 80 (site de la Fosse, Avril 2012)
- Carottier permettant de prélever des échantillons de sédiments, ici l'échantillon H8. En arrière-plan on aperçoit la formation récifale ayant été échantillonnée la plus au large (site de la Fosse, Avril 2012)



Annexe 2: annexe photographique





Résumé

Sabellaria alveolata communément appelé hermelle, est un polychète vivant dans un tube constitué de grains de sable agglomérés entre eux par l'organisme. Cet annélide tubicole grégaire, est présent des côtes Mauritaniennes à la Manche occidentale et forme des colonies en placages sur les rochers, ou plus rarement de véritables formations récifales sur substrat meuble. En France le récif de la Fosse est la deuxième plus grande formation récifale d'Europe après celle du Mont-Saint-Michel. Ce récif classé Natura 2000 a une valeur patrimoniale, c'est également une source de biodiversité au sein d'un environnement meuble. Lors de cette étude, un état de santé actualisé du récif a été réalisé et comparé aux données de 2002 effectuées par Dubois et al. (2004). Pour ce faire, le protocole de Dubois et al. (2004), qui consiste à échantillonnerin situ un certain nombre de paramètres sur le récif préalablement découpé en mailles de 50 m par 50 m, a été appliqué. L'évolution historique du récif et des bancs de sable ainsi que la stabilité du récif dans le temps a également été étudié à partir d'orthophotos et d'images satellitales allant de 1950 à 2009. Enfin la fragmentation de l'habitat a été calculée par des indices paysagers pour des mailles de récif numérisées à différentes dates. Ces travaux ont révélés une détérioration de l'état de santé du récif de la Fosse par rapport aux données de 2002, ainsi qu'une réduction de la surface de celuici d'environ 3 ha malgré une extension vers l'ouest. L'évolution du récif serait liée à celle du delta de marée or depuis 1982 la plateforme de déferlement ne cesse de s'ensabler, exhaussant ainsi toute la zone ce qui génère une progression vers l'ouest du trait de côte et du récif. L'analyse de la fragmentation de l'habitat a permis d'établir une relation entre la stabilité moyenne du récif dans le temps et les mailles possédant une aire et un recouvrement de récif importants. Actuellement le récif semble se dégrader, toutefois de nouvelles formation récifales se développent plus à l'ouest. L'avenir du récif sur le long terme ne semble pas menacé. Il serait intéressant de compléter cette étude par un suivi larvaire et une étude d'impact du dragage du chenal de Fromentine sur le récif.

Mots clefs : récif ; hermelle ; Sabellaria alveolata ; indice d'état de santé ; fragmentation

Abstract

Sabellaria alveolata commonly known as honeycomb worm, is a polychaete living in a tube consisting of agglomerated sand. This tubicolous and gregariousannelid, is present between Mauritaniats and the Western Channel; it builds veneer colonies on the rocks, or more rarely reef formations on soft substrate. In France, Fosse reef is the second largest reef in Europe after the Mont-Saint-Michel. This reef classified Natura 2000 has significant heritage value, it is also a source of biodiversity within a sandy environment. In this study an updated health status index of the reef was performed and compared with data from 2002 obtained by Dubois et al. (2004) based in a mesh grid of 50 m to 50 m. The historical evolution of reef and sand banks and the stability of the reef over time have also been studied from orthophotos and satellites images from 1950 to 2009. Finally, the fragmentation of the habitat was estimated using landscape indices. The results revealed a deterioration of the health of the reef compared to 2002, and a reduction of the surface of about 3 ha despite an extension to the west. The evolution of the reef is linked to the orientation of the tidal delta yet. Since 1982 there was a strong sedimentation of the flood platform, rising up the entire area and a progression of sand dunes was observed towards the west coastline and the reef. The analysis of habitat fragmentation indicated a link between the temporal stability of the reef,the mesh area and a large reef recovery. Currently, new reef formation are growing to the west and the future of the reef does not seem threatened. It would be interesting to complete this study by monitoring larval recruitment and the impact of the dredging of the Fromentinechannel.

Key words: reef; honeycomb worm; Sabellaria alveolata; health statue index; fragmentation