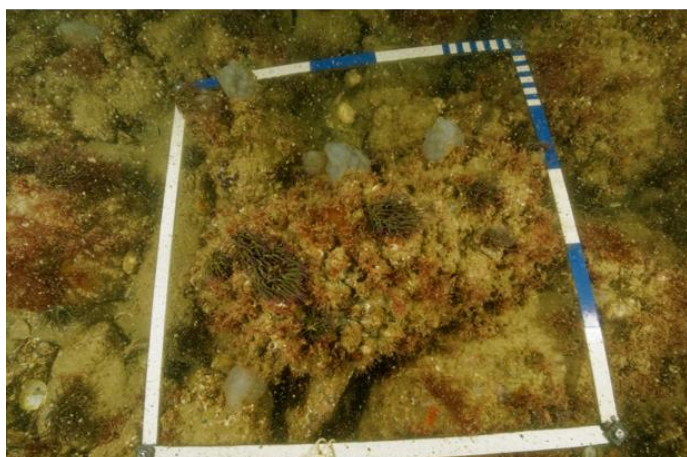




PLONGEURS NATURALISTES DE NORMANDIE

Association des Plongeurs Naturalistes de Normandie



État initial des habitats rocheux subtidaux des Iles Saint-Marcouf - dans le cadre de l'établissement d'une Zone de Protection Forte -

de Bettignies T, Bunel N, Lecarpentier A, Mansais M, Zammite C, Sichel F & Le Granché P



Etat initial des habitats rocheux subtidaux des Îles Saint-Marcouf – dans le cadre de l'établissement d'une Zone de Protection Forte.

La ZPF (Zone de Protection Forte) est une mesure (M003-NAT1B) de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), qui permet de diminuer très significativement voire de supprimer les principales pressions sur les enjeux écologiques (habitats et espèces marines) justifiant la protection forte, en réglementant fortement les activités humaines générant ces pressions. Les ZPF sont prioritairement instituées au sein d'aires marines protégées existantes (telles que les sites Natura 2000 ou les parcs naturels marins).

Les gestionnaires des sites Natura 2000 'Baie de Seine occidentale' désignés au titre de la Directive Habitat-Faune-Flore (DHFF) et Directive Oiseaux (DO) (respectivement FR2502020 et FR2510047) ont proposé une mesure réglementaire visant à garantir la tranquillité des oiseaux marins nicheurs sur les Iles Saint-Marcouf, inscrite dans le Document d'Objectifs approuvé en 2017. La Préfecture Maritime a mis en place cette mesure via un arrêté préfectoral en date du 24 Juillet 2019 (arrêté préfectoral N°70 PREMAR MANCHE/AEM/NP), qui remplit les critères d'une ZPF sur l'Archipel de Saint-Marcouf. L'OFB (Office Français de la Biodiversité) souhaite actualiser l'état des lieux des habitats rocheux subtidaux autour des Îles Saint Marcouf en 2020, au début de la mise en place des mesures de gestion M1 (mesures pêche) et M3 (zone de quiétude) du document d'objectifs des sites Natura 2000 (DOCOB).

Les PNN (Plongeurs Naturalistes de Normandie), en collaboration avec Thibaut de Bettignies (UMS PatriNat, OFB-CNRS-MNHN), se sont formés au protocole développé dans le cadre du programme NATURALG (pilote par l'UMS PatriNat) et l'ont mis en œuvre pour établir l'état initial des habitats rocheux subtidaux pour la mise en place d'une ZPF. Cette évaluation de l'état initial associée à une évaluation de l'état écologique des habitats rocheux subtidaux est l'objet du présent rapport.

Auteurs et affiliations :

de Bettignies T¹, Bunel N², Lecarpentier A², Mansais M², Zammite C^{1,3}, Sichel F^{2,4}, Le Granché P²

¹ UMS 2006 Patrimoine Naturel (PatriNat), OFB-CNRS-MNHN, Muséum national d'Histoire naturelle, Maison Buffon CP41, 36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris

² Association des Plongeurs Naturalistes de Normandie, 54 rue Marcel Paul, 50100 Cherbourg-en-Cotentin

³ ENSIL-ENSCI Ecole d'ingénieurs de Limoges, 16 rue Atlantis, 87280 Limoges

⁴ Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques

Référence du rapport :

de Bettignies T., Bunel N., Lecarpentier A., Mansais M., Zammite C., Sichel F. & Le Granché P. (2021) Etat initial des habitats rocheux subtidaux des Iles Saint-Marcouf – dans le cadre de l'établissement d'une Zone de Protection Forte. Rapport PNN-UMS PatriNat, Ed. Plongeurs Naturalistes de Normandie, 57 p.

Copyright des photographies de couverture :

Michel Mansais, PNN

L'Association des Plongeurs Naturalistes de Normandie – PNN



L'association des Plongeurs Naturalistes de Normandie a pour objet d'étudier et de promouvoir la connaissance des milieux aquatiques et en particulier du milieu marin, notamment : mener des études et inventaires faunistiques et floristiques, contribuer à l'information écologique et scientifique du grand public, organiser des manifestations culturelles telles que conférences, expositions, etc.

L'association conduit des missions d'inventaires biologiques sur différents sites de Normandie pour le compte d'organismes publics comme la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL) de Normandie, le Syndicat Mixte des espaces littoraux de la Manche (SyMEL) ou la Cellule d'Expertise Scientifique de la Côte d'Albâtre (CESCA).

Créée en 1995 sous le nom « les Plongeurs Naturalistes de Tatihou », l'association regroupe une vingtaine de membres plongeurs autonomes et porteurs d'une expertise naturaliste ou scientifique sur le milieu marin attestée par leur activité professionnelle ou par une certification de la FFESSM.

En savoir plus : lespnn.fr, association.pnn@orange.fr

L'UMS Patrimoine Naturel – PatriNat

Centre d'expertise et de données sur la nature



Depuis janvier 2017, l'Unité Mixte de Service Patrimoine naturel assure des missions d'expertise et de gestion des connaissances pour ses trois tutelles, que sont le l'Office français de la biodiversité (OFB), le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Son objectif est de fournir une expertise fondée sur la collecte et l'analyse de données de la biodiversité et de la géodiversité présentes sur le territoire français, et sur la maîtrise et l'apport de nouvelles connaissances en écologie, sciences de l'évolution et anthropologie.

Cette expertise, établie sur une approche scientifique, doit contribuer à faire émerger les questions et à proposer les réponses permettant d'améliorer les politiques publiques portant sur la biodiversité, la géodiversité et leurs relations avec les sociétés et les humains.

En savoir plus : patrinat.fr, thibaut.de-bettignies@mnhn.fr

SOMMAIRE

I – INTRODUCTION	5
II – MATÉRIELS ET MÉTHODES	9
1 Préparation de la mission.....	9
2 Matériel.....	11
3 Méthodes	11
III – RÉSULTATS	17
1 Transects – Laminaires.....	17
2 IVTL-Atl. – Macrofaune sessile.....	18
3 Transect – Macrofaune vagile	21
4 Quadrat – Flore (Macroalgue).....	23
5 Photo-Quadrat – Multi-taxa	26
6 Compléments d’inventaire visuel.....	30
IV – DISCUSSION	35
V – REMERCIEMENTS	42
VI – BIBLIOGRAPHIE	42
VII – ANNEXES	46

I – INTRODUCTION

Les sites marins Natura 2000 « Baie de Seine occidentale DO et DHFF » couvrent une superficie de plus de 450 km² dans la partie occidentale de la baie de Seine. Ces deux sites se superposent, à l'exception d'une bande côtière entre Grandcamp-Maisy et Vierville-sur-Mer (~10 km²), prise en compte par la DHFF mais non par la DO (Fig. 1). De grands bancs sableux disposés parallèles à la côte (jusqu'à 10 m d'élévation) parcourent ces sites (Toison, 2013). Ces sites sont caractérisés par la dominance de l'habitat d'intérêt communautaire « Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine » (code UE : 1110, couverture > 90 %) pour une profondeur moyenne relativement faible (estimée à 13 m). L'habitat d'intérêt communautaire « Récifs » (code UE : 1170) est caractérisé par un certain nombre de platiers rocheux et les îles Saint-Marcouf. Il est relativement minoritaire à l'échelle des sites (couverture de ~ 5 %) mais contribue néanmoins à la richesse générale des sites (FSD

[FR2502020](#)). Ces sites sont assez abrités de la houle dominante mais soumis à un hydrodynamisme important lié aux courants de marée (FSD [FR2502020](#)), et sous l'influence des apports continentaux des eaux de la Vire, Taute et Douve qui convergent dans la baie des Veys (Toison, 2013).

Un grand nombre d'oiseaux marins fréquentent ces sites, du fait de la présence d'importants sites de nidification : les îles Saint-Marcouf, les falaises du Bessin occidental et l'île de Tatihou (Toison, 2013). En effet, la plus importante colonie française de Grands Cormorans niche sur les îles Saint-Marcouf (497 couples nicheurs en 2019) (Debout, 2020) et de nombreuses espèces d'oiseaux en migration, en estivage ou en hivernage fréquentent ce secteur occidental de la baie de Seine (Mouettes pygmées et mélanocéphale, Goélands cendré, argenté et marin en hivernage, macreuses noires, plongeurs, grèbes, harles huppés et alcidés (Toison, 2013).

FACADE MANCHE MER DU NORD

Zone spéciale de conservation et Zone de protection spéciale : Baie de Seine Occidentale

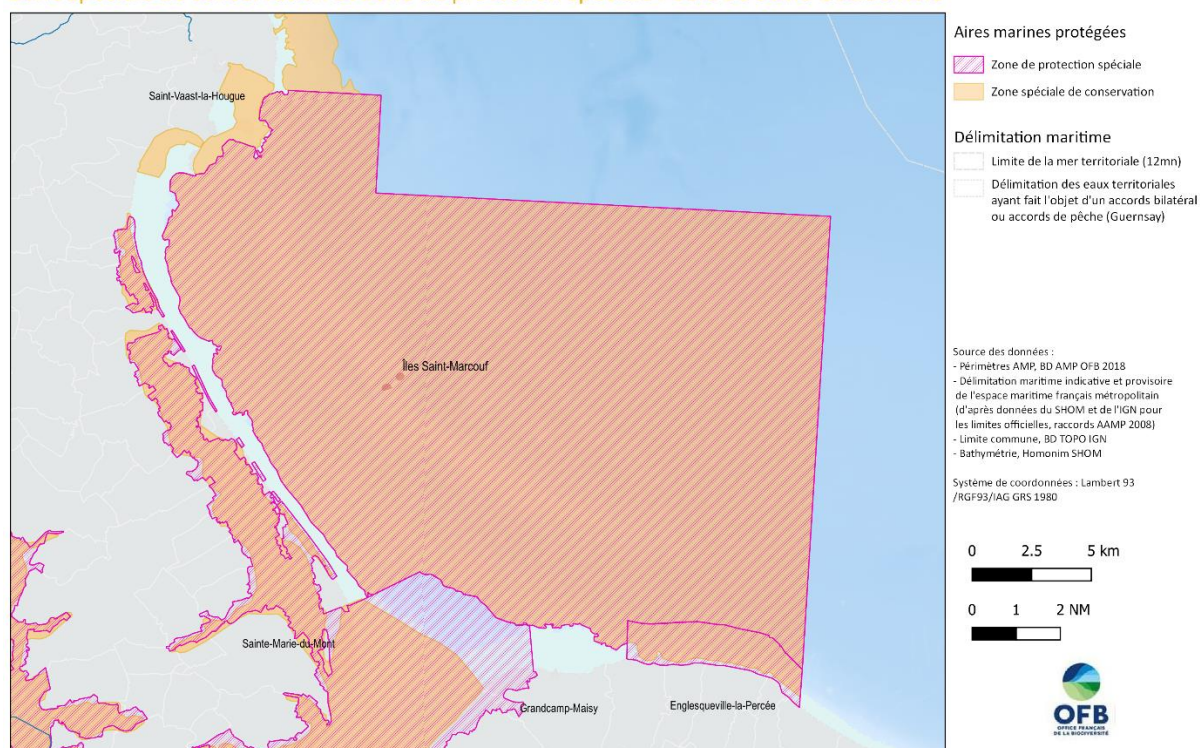


Fig. 1 : Baie de Seine Occidentale (ZPS/ZSC) © Sonia Carrier - OFB 2020



Fig. 2 : Colonies de Cormorans et Archipel des Iles St-Marcouf © P. Le Granché.

Les Iles Saint-Marcouf (Ile du Large et Ile de Terre) sont situées à 7 km au large du Cotentin, à hauteur du village de Ravenoville. Ce sont les seuls îlots de la baie de Seine occidentale. Ces îles sont les parties émergées d'un haut fond de grès armoricain, qui se prolonge vers le sud-est, sous le nom de banc du Cardonnet. À marée haute, l'Ile du Large émerge sur une longueur de 200 m pour une largeur moyenne de 120 m. L'Ile de Terre, distante de 500 m, présente l'aspect d'un rectangle peu élevé de 350 m de long sur 100 m de large. Une ceinture de bancs de sable, d'îlots et de rochers les entourent : les roches d'Ovy au nord-ouest de l'Ile du Large et le rocher Bastin au sud-ouest de l'Ile de Terre (DREAL, 2013) (Fig. 2).

Le débarquement est interdit sur les deux îles, depuis 1999. Abandonnée depuis plus d'un siècle, l'Ile du Large a été longtemps un lieu de pêche et de promenade pour les habitants de la côte. Depuis 2009, l'Association des Amis de l'Ile du Large a obtenu les autorisations nécessaires pour sauver ce remarquable exemplaire d'architecture militaire appartenant au domaine privé de l'Etat. Elle peut ainsi procéder à la restauration des deux digues ouest qui en assurent la protection. En face, l'Ile de Terre, réserve ornithologique, est le royaume des oiseaux marins. Seul le Groupe Ornithologique Normand peut y débarquer pour effectuer des observations et comptages. C'est la principale colonie française de

grands cormorans et le cormoran huppé y niche également parmi une végétation dominée par les lavatères. La densité de goélands nicheurs (marins, bruns et argentés) y est extraordinaire. C'est également une escale migratoire de choix pour nombre d'espèces.

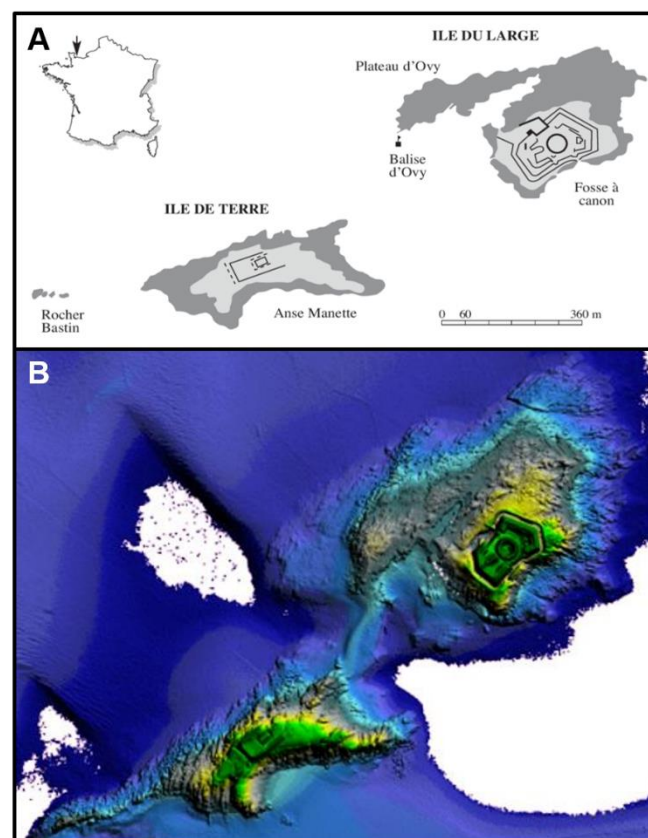


Fig. 2 : Archipel des Iles Saint-Marcouf. A. Carte de Saint-Marcouf par Debout & Purenne (2010). B. Profil bathymétrique par LIDAR © SHOM.

Isolées et sauvages, ces îles sont des sites d'intérêt majeur pour le patrimoine naturel qu'elles abritent, sans équivalent en Normandie. Ces îles ont été classées comme sites Natura 2000 en 2005 en tant que ZPS (Zone de Protection Spéciale pour les oiseaux) et en 2014 comme ZSC (Zone Spéciale de Conservation pour les habitats/espèces listés à la DHFF) et sont aussi classées en Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF, DREAL, 2013).

Afin de préserver ce patrimoine naturel et le caractère sauvage et isolé des îles St Marcouf, les gestionnaires des sites Natura 2000 'Baie de Seine occidentale' (désignés au titre de la Directive Habitat-Faune-Flore (DHFF) et Directive Oiseaux (DO), respectivement [FR2502020](#) et [FR2510047](#)) ont mis en place en 2019, une zone de quiétude, reconnue en 2020 comme

Zone de Protection Forte (ZPF) sur l'Archipel de Saint-Marcouf (Fig. 3). La ZPF est une mesure (M003-NAT1B¹) de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), qui « permet de diminuer très significativement voire de supprimer les principales pressions sur les enjeux écologiques (habitat et espèces marines) justifiant la protection forte, en réglementant fortement les activités humaines générant ces pressions ». Les ZPF sont prioritairement établies au sein d'aires marines protégées existantes (telles que les sites Natura 2000 ou parcs naturels marins). En adéquation avec le document d'objectifs des sites Natura 2000 (DOCOB), des mesures de gestions sont progressivement mises en place (M1 : mesures pêches et M3 : zone de quiétude) (DOCOB, 2016) (Fig. 3).

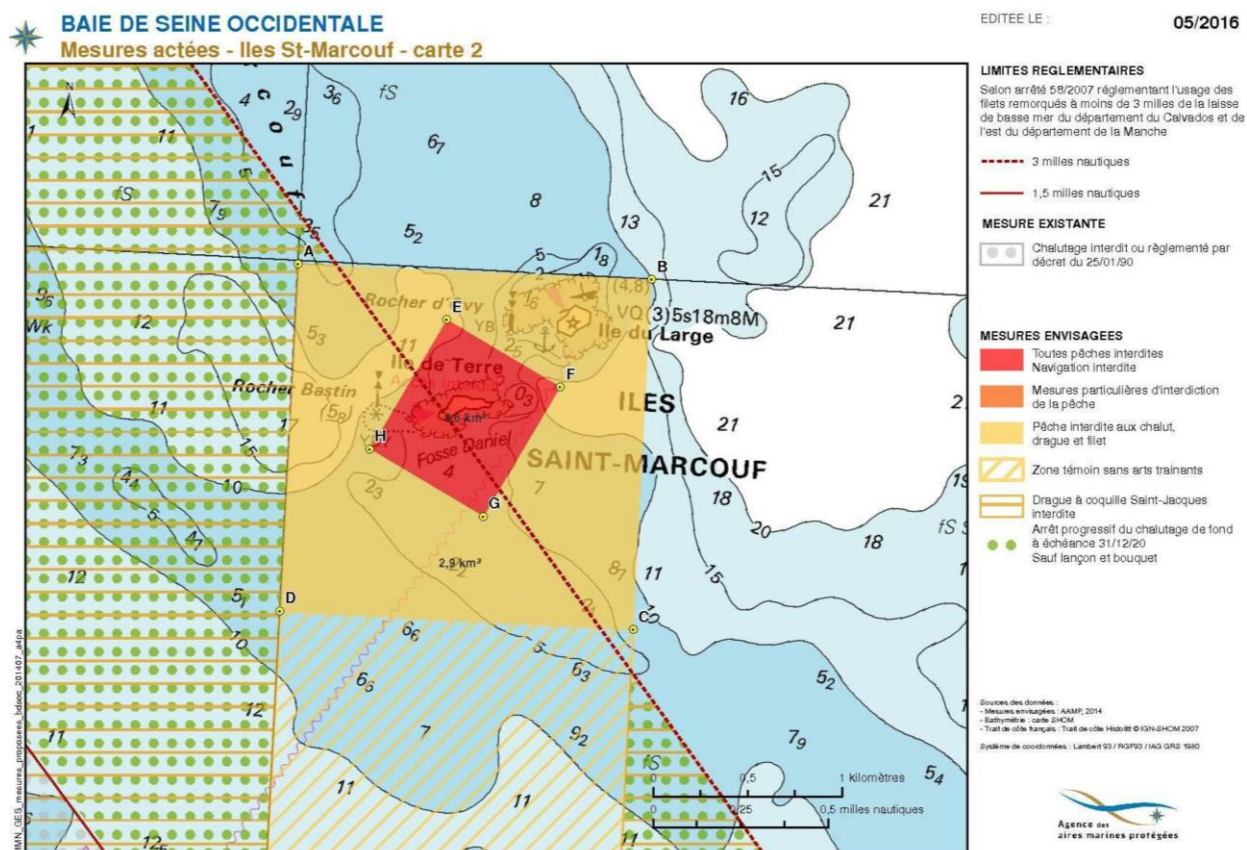


Fig. 3 : Localisation des mesures actées – Îles Saint-Marcouf. En rouge : toutes pêches interdites et navigation interdite, en jaune : pêche interdite aux chalut, drague et filet (DOCOB, 2016).

¹ Intitulé complet de la mesure : « Compléter le réseau d'AMP par la mise en place de zones de protection fortes sur les secteurs de biodiversité marine remarquable »

A l'établissement de telles mesures visant à garantir la quiétude des oiseaux marins et à améliorer l'état de conservation des habitats sableux et rocheux subtidiaux, il est primordial d'établir un « état initial » en vue de mesurer l'efficacité à moyen terme de ces mesures de gestion sur l'état de conservation des enjeux écologiques. Pour se faire, il a été décidé d'adapter des protocoles développés à l'UMS PatriNat (NATURALG) en concertation avec les Plongeurs Naturalistes de Normandie pour établir cet « état initial ». A terme, une évaluation de l'efficacité des mesures pourra être envisagée puisque ces protocoles sont standardisés, répliquables et la

stratégie d'échantillonnage permettra de tester statistiquement les différences avant/après les mesures sur la faune et flore marines associées aux habitats rocheux infralittoraux.

Ce rapport présente un diagnostic de « l'état initial » des habitats rocheux infralittoraux et s'accompagne d'une évaluation des différences entre sites et de leur état écologique relatif. Plus généralement, cette étude contribue à l'amélioration de la connaissance sur les habitats rocheux (encore parcellaire), et permet de tester des protocoles de suivis sous-marins standardisés et adaptés aux sciences participatives.

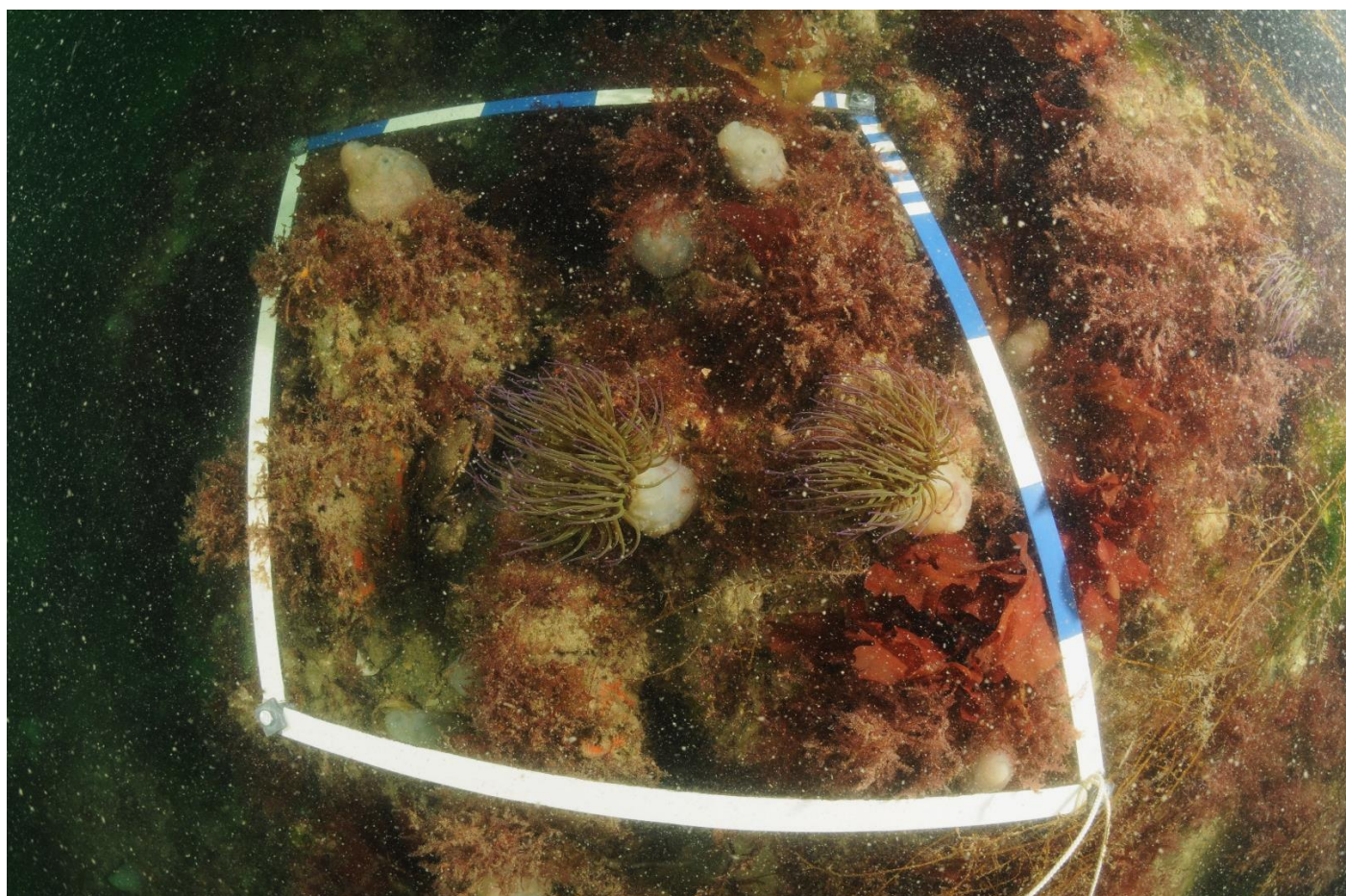


Fig. 4 : Photo-quadrat au Nord-Ouest de l'Île de Terre © M. Mansais.

II – MATÉRIELS ET MÉTHODES

1 Préparation de la mission

1.1 Choix des stations

L'étude est réalisée sur 4 sites réparties autour des îles St Marcouf et 1 station témoin/contrôle (Tableau 1, Fig. 5). La sélection des sites et leurs nombres ont été conditionnés par la durée de l'expédition, les contraintes logistiques, le plan d'échantillonnage et l'occurrence d'habitat rocheux infralittoraux. Les données des missions antérieures des PNN, les relevés LIDAR et les cartes du SHOM ont permis de faire une sélection de sites à habitats rocheux infralittoraux (profondeur moyenne = $8,06 \pm 2,1$ m; Tableau 1). Afin d'anticiper les futures évaluations d'efficacité des mesures de gestion sur les habitats rocheux, un site témoin ou contrôle (Roche Dranguet – Pointe de Saire, Fig. 5) - non soumis à la mesure de protection mais pour autant sous l'influence présumée des mêmes facteurs abiotiques - a été ajouté aux 4 stations des îles Saint-Marcouf. Le Rocher Dranguet, situé près de la Pointe

de Saire, sur le site N2000 *Récifs et marais arrière-littoraux du Cap Lévi à la Pointe de Saire*, a été choisi comme station « contrôle ». Idéalement, il aurait fallu répliquer les stations dites contrôles pour avoir un protocole BACI (Before – After – Control - Impact) plus robuste (Underwood, 1994 ; Sordello et al., 2019). La station « contrôle » permettra tout de même de vérifier que la mesure mise en place est bien à l'origine des changements d'états et non pas imputables à des facteurs externes, à condition que les habitats de la station contrôle soient suffisamment similaires à ceux des sites de l'Archipel attestant de conditions abiotiques proches.

1.2 Planification des plongées

Les plongées sont programmées à l'échelle de courant à l'aide de la carte des « Courants de marée, baie de Seine de Cherbourg à Fécamp, 1996, SHOM 561-UJA » et des horaires de marées du port de Cherbourg, port de référence pour les îles Saint-Marcouf.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques et profondeurs corrigées des stations.

N° Plongée	Sites	Iles / Contrôle	Date	Latitude	Longitude	Profondeur corrigée
1 et 2	Roche Dranguet	Contrôle	04-05/07/20	49,61404	-1,21524	10,2 m
3	Fosse à canons	Ile du Large	06/07/20	49,49673	-1,14498	7,2 m
4	NO – Ile de Terre	Ile de Terre	07/07/20	49,49330	-1,15123	6,0 m
5	SE – Fosse Daniel	Ile de Terre	07/07/20	49,49365	-1,15649	6,5 m
6	Canyons	Ile du Large	08/07/20	49,50011	-1,14399	10,4 m

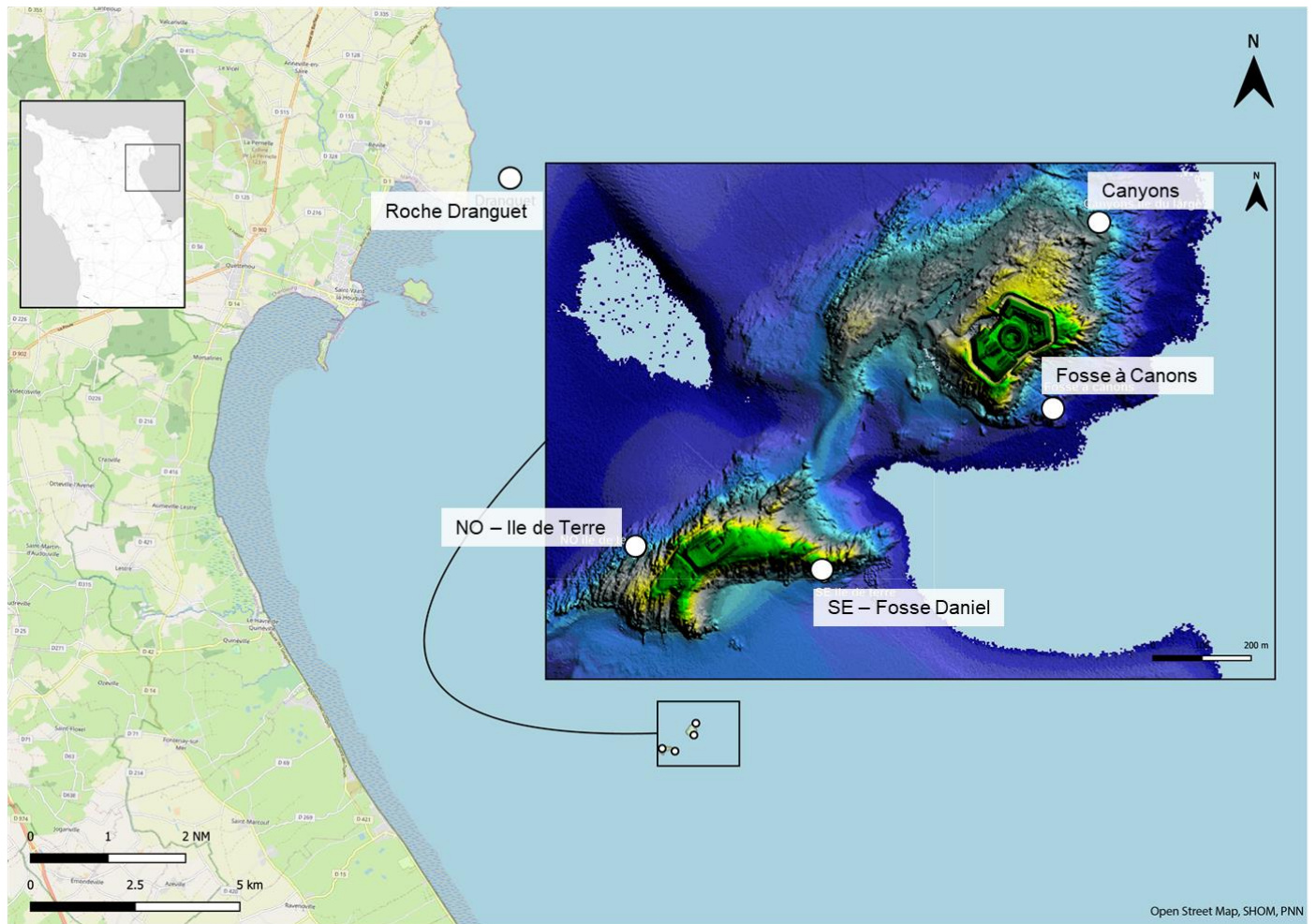


Fig. 5 : Localisation des sites de plongées © Open Street Map, SHOM, PNN.

2 Matériel

2.1 Appui logistique à terre

- Hébergement & Laboratoire à Réville.
- Transport matériel, gonflage : PNN.

2.2 Matériel de plongée

- Bateau pneumatique semi-rigide Bombard Explorer de 7 m avec moteur HB de 200 CV,
- GPS Magellan Triton® TM, Logiciel Navionics sur Crosscall Action 3.
- Scaphandres autonomes personnels de 12 et 15 litres et kit d'oxygénothérapie plongée.
- Gueuse de matérialisation du site, 3 décamètres 50 m, 2 quadrats 50 × 50 cm.
- Matériel d'échantillonnage.
- Plaquettes immergeables avec Fiches protocoles à déployer (UMS PatriNat).
- Matériel photo (2 Olympus TG5, 1 Canon PowerShot G12, 1 Nikon D90, 1 Nikon D7100 avec caissons).

2.3 Matériel d'identification à terre

- Livres de détermination.
- Loupe binoculaire Zeiss Stemi DV4.
- Microscope REALUX BK 300.

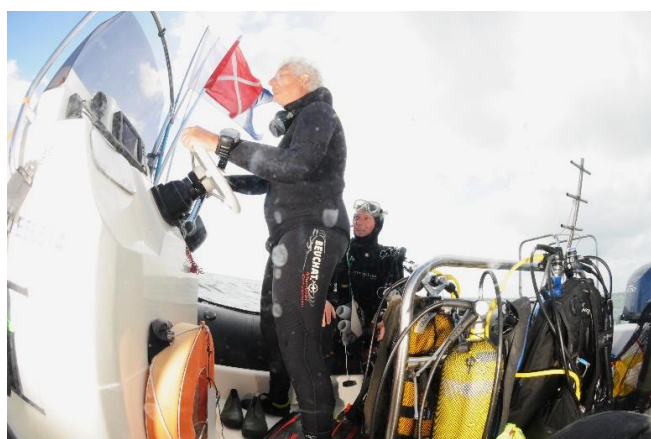


Fig. 6 : Prospection nautique par N. Bunel © M. Mansais.

3 Méthodes

Une « gueuse » (bout de 15 - 20 m avec un lest de 8 - 10 kg et un flotteur) est descendue sur une zone rocheuse, le point GPS est noté à l'immersion (Fig. 8 – 1). L'immersion et l'émersion des plongeurs sont réalisées depuis le marqueur de surface de la gueuse, pendant que le bateau reste « en marche » à une distance de sécurité des plongeurs, avec à son bord un pilote et un plongeur sécurité surface.



Fig. 7 : Déploiement des protocoles d'évaluation de l'état initial par P. Le Granché © M. Mansais.

Les palanquées descendent ensuite le long de la gueuse et déroulent un transect aléatoire pour l'estimation des laminaires (densité et population) (Fig. 8 – #), puis 3 transects de manière aléatoire à partir de la gueuse pour les inventaires semi-quantitatifs et quantitatifs respectivement de la macrofaune sessile et vagile (Fig. 8 – 2, 3), et enfin la flore algale est prélevée à partir de 3 quadrats aléatoires (Fig. 8 – 5). Ces méthodes de relevées constituent le protocole « socle ». En complément du protocole « socle », un photographe sous-marin réalise 12 photo-quadrats « d'aplat » et des compléments d'inventaires visuels sont réalisés (Fig. 8 – 4).

Protocole en plongée (inspiré du programme NATURALG)

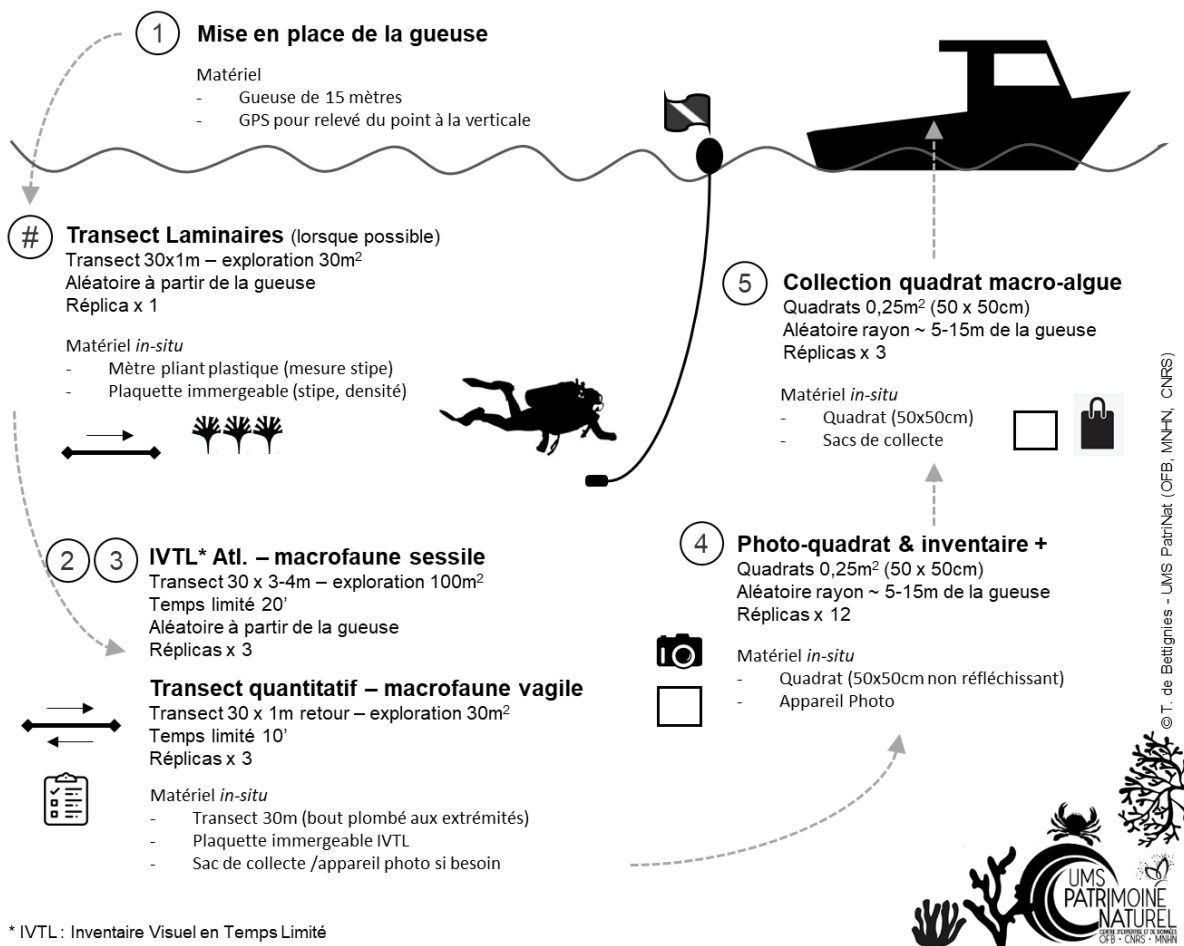


Fig. 8 : Protocole sous-marin et ordre de déploiement pour établir l'état initial © T. de Bettignies.

3.1 Transect « Laminaires »

Les espèces de laminaires : *Laminaria hyperborea*, *Saccorhiza polyschides*, et *Saccharina latissima* étant potentiellement présentes à cette profondeur en baie de seine occidentale, un transect est déployé aléatoirement couvrant 30 m² (30 m × 1 m) (Fig. 8 – #). Pour ce transect, les espèces de Laminaires sont identifiées et quantifiées pour évaluer les densités relatives de chaque espèce. Pour *L. hyperborea*, les longueurs de stipes sont mesurées pour 25 individus choisis aléatoirement pour obtenir des données démographiques de *L. hyperborea*.

3.2 IVTL-Atl. – macrofaune sessile

L'approche privilégiée dite de Rapid Assessment Survey (RAS; Ward and Larivière, 2004) ou d'Inventaire Visuel en Temps (et surface) Limité en Atlantique (IVTL-Atl) est inspirée de l'adaptation du RAS par Lévêque et al. (2017) et de sa mise à jour dans le programme NATURALG. Cette méthode permet une évaluation *in-situ*, semi-quantitative, standardisée et relativement rapide de la macrofaune sessile épigée des milieux rocheux subtidiaux (Fig. 8 – 2). Ce protocole s'appuie sur une « liste fermée » d'espèces caractéristiques de la roche subtidale de Manche et Atlantique, et indicatrices (dans la mesure du possible) de l'état écologique de ces habitats.

Cette liste de taxa a été établie et réduite à un nombre représentatif et opérationnel de taxa selon les 3 étapes ci-dessous :

1. Pré-liste exhaustive d'espèces selon i. extraction de l'INPN en Manche et Atlantique, ii. la typologie nationale (assemblage d'espèces caractéristiques des habitats rocheux) (Michez et al., 2019), et iii. la liste d'espèces déterminantes [ZNIEFF](#) pour la région (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique).
2. Réduction de cette pré-liste en fonction de l'habitat (habitats rocheux infra- et circa-littoral), de la strate (espèces épigées et relativement sessiles), d'une taille supérieure à 10 cm, et des facilités d'identification *in-situ*.
3. Après les phases de tests et les retours d'expérience des opérateurs de terrain (baie de Morlaix et Iles Saint-Marcouf), la liste finale pour la macrofaune sessile a été établie à 70 taxa (Fiche de terrain IVTL-Atl, Annexe 1, Tableau 4). Le nombre de taxa par phylum est réparti comme suit : 22 spongiaires, 11 tuniciens fixés (ascidies), 17 cnidaires, 9 bryozoaires, 3 annélides, 4 mollusques, 2 crustacés, et 2 échinodermes.

Une fois cette liste de taxa établie, 3 transects de 100 m² (30 m × 3 – 4 m) sont déployés de façon aléatoire depuis la gueuse. Le long de ce transect, deux plongeurs cherchent toutes les espèces de la liste sur une plaquette immergeable durant un temps limité de

20 min, et associent pour chaque espèce un score d'abondance de 0 à 4 (absente à très abondante, Tableau 2 ; Annexe 1). Les échelles d'évaluation semi-quantitatives sont adaptées de l'échelle [SACFOR](#) repris par Lévêque et al. (2017). S'ensuit, un débriefing « à chaud » des deux plongeurs pour vérifier les observations et affiner les scores d'abondances relatives, et ainsi s'accorder sur une évaluation commune (cf. IVTL- Méd, Fig.9).

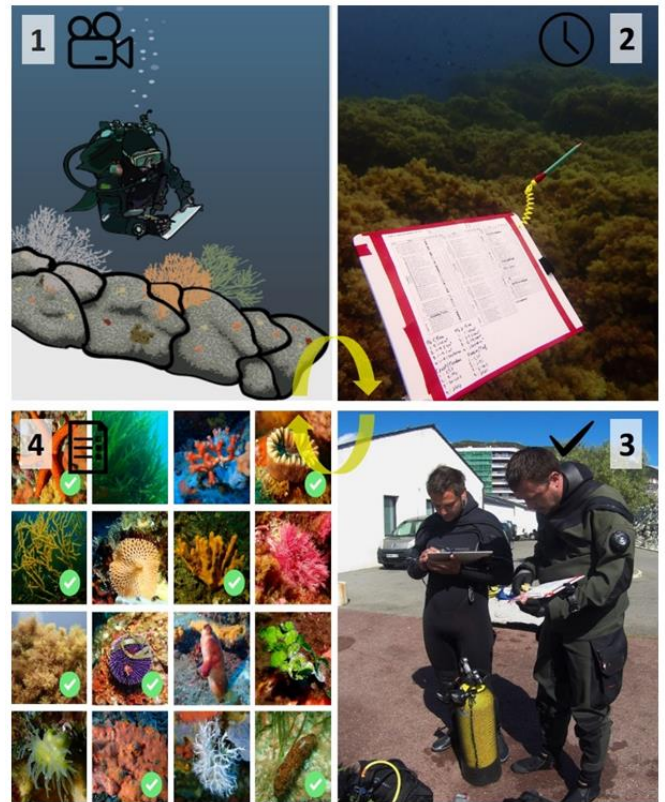


Fig. 9 : Protocole pour l'Inventaire Visuel en Temps Limité en Méditerranée © T. de Bettignies & MARHA.

Tableau 2 : Echelle semi-quantitative appliquée à l'IVTL-Atl. – Macrofaune sessile.

Espèces Recouvrantes "space occupier"

Recouvrement	Cotation	RM	RT
		Crust/ <u>M</u> eadow	Massive/ <u>T</u> urf
ABONDANT	4	> 40 %	> 20 %
COMMUN	3	20 - 40 %	6 - 20 %
PEU FREQUENT	2	5 - 19 %	1 - 5 %
SPORADIQUE	1	< 5 %	< 1 %
NON OBSERVEE	0	0%	0%

Espèces Dénombrables "individuals/colonies"

< 15 cm (<u>S</u> mall)	DS	DL
	> 15 cm (<u>L</u> arge)	
1 - 9 / 30 x 30 cm	> 20 / 100 m ²	
1 - 9 / m ²	6 - 19 / 100 m ²	
1 - 9 / 10 m ²	2 - 5 / 100 m ²	
< 1 / 10 m ²	1 / 100 m ²	
0	0	

3.3 Transect quantitatif – macrofaune vagile

L'IVTL-Atl est opérationnel pour des taxa visibles en « aplat », et de fait plus adapté aux espèces sessiles. A l'opposé, les espèces vagiles sont préférentiellement présentes dans les anfractuosités de la roche et un autre protocole plus adapté est donc appliqué pour une meilleure prise en compte de ces espèces mobiles (Fiche terrain - Annexe 2, Fig. 8 – 3). Une liste fermée de 14 taxa (7 échinodermes, 6 crustacés et 1 mollusque) est établie et renseignée sur une plaquette immergeable. Ces mêmes taxa sont évalués quantitativement sur le retour des transects IVTL-Atl (N=3) durant un temps limité de 10 min pour une surface totale de 30 m² (30 m × 1 m), en inspectant les anfractuosités.

3.4 Collection quadrat macro-algue

A la suite du déploiement des transects, 3 quadrats de 0,25 m² (50 × 50 cm) sont déployés aléatoirement autour de la gueuse (périmètre 5 - 15 m). Pour chaque quadrat, toutes les macroalgues sont collectées dans des sacs de collecte en coton (Fig. 8 – 5). Les algues sont ensuite triées par espèce et leurs poids frais sont mesurés (après élimination de l'excédent d'eau). Pour chaque espèce, un spécimen est mis sous presse sur papier Bristol A4 pour une identification a posteriori d'après les guides naturalistes (Cabioch et al., 2014 ; Bunker et al., 2017). Pour chaque spécimen : le nom de la station, la date, le numéro de quadrat y sont reportés. Après confirmation de l'identification, le nom de l'espèce est ajouté à la presse (Fig. 10). Pour chaque espèce, un scan à haute résolution viendra alimenter la base iconographique de l'[INPN](http://www.inpn.fr).

Fosse à Canons (06/07/20), Quadrat # 1



Metacallophyllis laciniata, poids frais : 9 g

Fig. 10 : Exemple de presse d'algue © T. de Bettignies.

3.5 Photo-quadrat en « aplat »

Profitant de la participation d'un photographe sous-marin expérimenté (M. Mansais, PNN), un protocole supplémentaire de photo-quadrats *in-situ* (Fig. 8- 5) est ajouté aux protocoles « socles ». De manière aléatoire et dans un périmètre de 5 - 15 m autour de la gueuse, 12 photo-quadrats de 0,25 m² (50 × 50 cm) sont ainsi réalisés par une palanquée dédiée (Fig. 11). Le logiciel CPCe développé par le National Coral Reef Institute permet d'exploiter les photo-quadrats. 100 points sont distribués aléatoirement sur une photographie présentant un quadrat (cadre de 50 × 50 cm) (Fig. 12). Ensuite, les espèces se trouvant sous chaque point sont identifiées manuellement avec le logiciel CPCe (Kohler, 2006). 5900 points sont ainsi identifiés (100 × 11-12 quadrats × 5 sites). À la fin de l'identification, le logiciel CPCe génère une feuille de calcul Excel pour chaque site rassemblant les pourcentages de recouvrement et les statistiques descriptives (moyennes et écart-types).

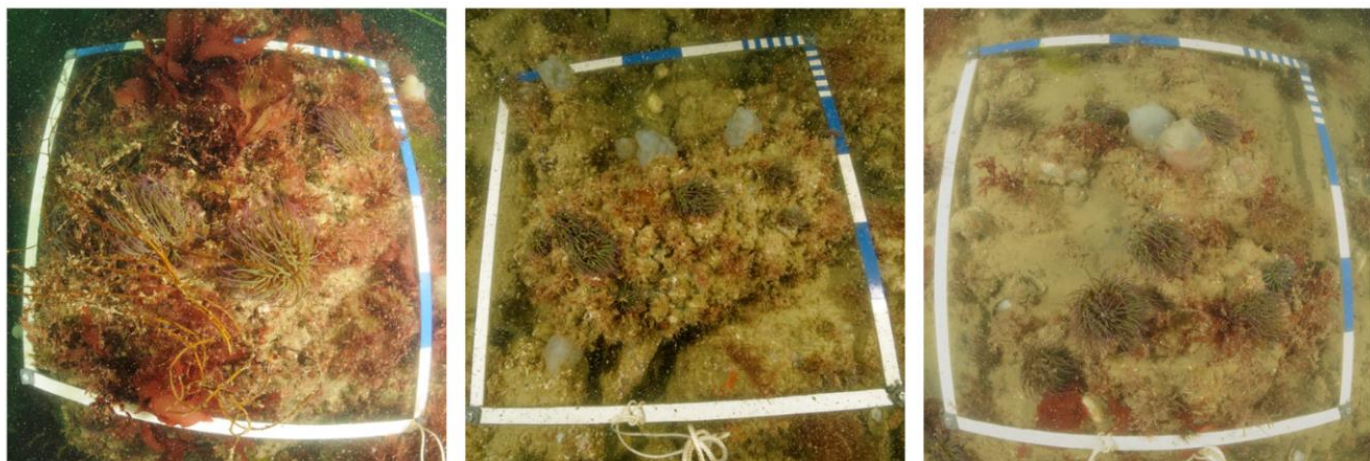


Fig. 11 : Exemples de photo-quadrats prises pendant l'expédition © M. Mansais.

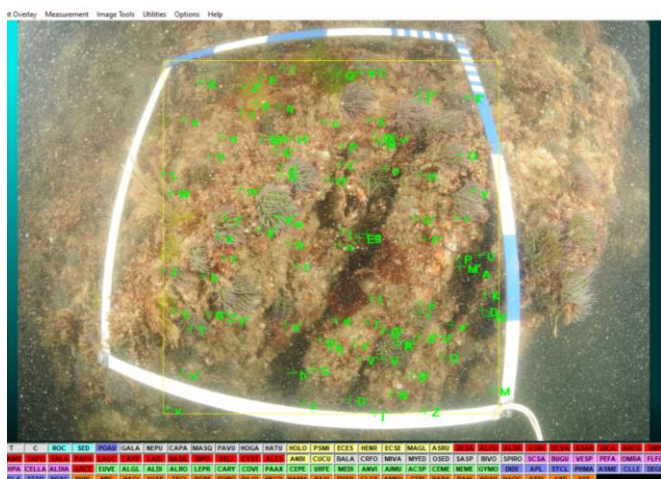


Fig. 12 : Exemples de photo-quadrat avec le logiciel CPCe © C. Zammite.

3.6 Complément d'inventaire visuel

Pour optimiser la mission du plongeur accompagnant le photographe, celui-ci tout en veillant à la sécurité de la palanquée a effectué un inventaire visuel plus exhaustif. In situ, les espèces sont notées sur une plaquette vierge. Lors du débriefing à terre, l'inventaire visuel est complété par les observations des autres plongeurs ainsi que par le traitement de l'ensemble des photographies. Le site Dranguet a été exploré deux fois ce qui augmente l'effort d'échantillonnage, néanmoins ce site a paru plus riche que ceux de l'Archipel.

3.7 Analyses statistiques

La stratégie d'échantillonnage a été établie (dans la mesure du possible) suivant le protocole expérimental de type BACI (Before - After - Control - Impact) : une mesure est faite avant et après l'intervention (ici les mesures de gestion), sur le site d'étude ainsi que sur un site témoin (contrôle). Le protocole BACI et l'analyse statistique de variance associée sont suffisamment robustes pour mesurer l'effet d'une intervention en comparant un état avant et après intervention, et selon le site témoin non soumis à l'intervention (Underwood, 1994 ; Sordello et al., 2019). Cette approche permettrait à terme d'évaluer l'efficacité des mesures de gestion (ZPF) après leurs mises en place en répliquant le protocole décrit et déployé (antérieur à l'intervention). Cependant l'extension spatiale des mesures de gestion couvre l'ensemble de l'habitat rocheux subtidal de l'Archipel Saint-Marcouf et rend de fait difficile la sélection de site(s) témoin à proximité de l'intervention, dans les mêmes conditions abiotiques exactement. D'après l'expertise locale sur les conditions abiotiques (substrat, hydrodynamisme, turbidité et charge en sédiments), il a été conseillé d'établir le(s) site(s) contrôle(s) à Roche Dranguet – Pointe de Saire. Il est fortement recommandé également de disposer de plusieurs sites témoins

(Underwood, 1994). Néanmoins, les contraintes logistiques n'ont pas permis de répliquer le site témoin (1 site contrôle) et le nombre de répliques de sites soumis à l'intervention a été maximisé pour mieux décrire les habitats rocheux subtidaux autour de l'Archipel (4 sites dans la ZPF).

Les statistiques descriptives sont synthétisées par des représentations graphiques : graphiques de fréquence de taille pour *L. hyperborea* (longueur de stipe), diagrammes en boîte par espèce (les plus abondantes) et par site (moyenne, médiane et quartile) pour la macrofaune vagile, les macroalgues collectées et les taxa évalués par photo-quadrat. Les compléments d'inventaire sont représentés par un diagramme « rayon de soleil » et des graphiques à barre. Les visualisations 2D multidimensionnelles non paramétriques (MDS) (Clarke & Warwick, 2001 ; Clarke KR & Gorley, 2006) sont appliquées aux données multivariées des communautés à partir d'une matrice de ressemblance de Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957) dont les données sont transformées au préalable, pour réduire la contribution des espèces très abondantes dans le calcul de la mesure de Bray-Curtis (raciné carré ou racine quatrième) (Clarke et

Warwick, 2001). Les MDS sont réalisées pour les données IVTL macrofaune sessile, quadrats macroalgues, et photo-quadrats multi-taxa. Cette visualisation permet d'appréhender les dissimilarités entre les transects/quadrats suivant les sites/régions (+ la distance est grande + les transects/quadrats sont différents). La superposition de vecteurs ($r > 0,5$ ou $0,75$) indique les espèces à l'origine de ces dissimilarités (Anderson et al., 2008).

Les statistiques inférentielles sont appliquées pour comparer les sites et tester l'hypothèse nulle que la dispersion des sites est équivalente (PERMANOVA et ANOVA). Le rejet de l'hypothèse nulle ($P < 0,05$) signifie que les sites sont différents d'après leurs communautés (PERMANOVA) ou pour certaines espèces (ANOVA). Pour identifier les différences entre sites, des comparaisons a posteriori par paires sont ensuite réalisées. Si le nombre de transects/quadrats par site est limité, des valeurs P sont obtenues par tirages aléatoires de Monte Carlo (P_{MC}) à partir de la distribution de permutation asymptotique (Anderson & Robinson 2003). L'ensemble des statistiques uni- et multi-variées sont réalisées avec le logiciel PRIMER 6.0 – PRIMER-E.



Fig. 13 : Site SE- Fosse Daniel à proximité de l'Île de Terre © P. Le Granché.

III – RÉSULTATS

1 Transects – Laminaires

1.1 Densité de Laminaires

A l'exception du site « Roche Dranguet » pour *L. hyperborea* (Fig. 15) et dans une moindre mesure « NO – Ile de Terre » pour *S. polyschides*, les laminaires ne sont pas observées aux autres sites (Tableau 3). Malgré des transects de 30 m², les densités des plants (> 5 cm) sont très faibles pour ces deux sites, et équivalentes à 0,7 et 0,27 plants.m⁻² pour *L. hyperborea* et *S. polyschides* respectivement (Tableau 3). Pour les deux espèces, la densité est significativement en dessous du seuil minimum de 3 plants.m⁻² ('adultes') pour l'habitat « Forêts de laminaires » de l'Atlantique Nord-Est (de Bettignies et al., 2021). Lorsque les laminaires sont présentes, les densités de juvéniles (< 5 cm) sont faibles, seulement 2 plants.30 m⁻² (Tableau 3), soit des densités de ~ 0,07 plants.m⁻².

Tableau 3 : Densité des espèces de linaire à chaque site (nb individus.30 m⁻²) en discriminant les jeunes plants (< 5 cm) des autres plants (> 5 cm).

	<i>Laminaria hyperborea</i>		<i>Saccorhiza polyschides</i>		<i>Saccharina latissima</i>	
	<5 cm	>5 cm	<5 cm	>5 cm	<5 cm	>5 cm
	Roche Dranguet - Réf.	2	21			
Fosse à canons - île Large						
Canyons - île Large						
NO - île Terre			2	8		
SE Fosse Daniel - île Terre						

1.2 Démographie de *L. hyperborea*

L. hyperborea est observée seulement à « Roche Dranguet » avec une longueur moyenne de stipe de 14,5 ± 9,9 cm (écart type) (Tableau 3, Fig. 14). 25 plants de *L. hyperborea* sont choisis aléatoirement et leurs stipes mesurés sous l'eau. Onze classes de tailles (tous les 5 cm) sont définies et les individus au sein de ces classes sont dénombrés puis les résultats exprimés en pourcentage (Fig. 14). La distribution

des fréquences de classes de taille est asymétrique avec une prédominance de plants de petites tailles (55% entre 5 et 19 cm) (Fig. 14). On parle de coefficient d'asymétrie positive (positive skewness en anglais) lorsque la distribution présente une asymétrie gauche. L'analyse des fréquences de taille permet de fournir des informations sur la réponse des populations de *L. hyperborea* aux contraintes environnementales. En effet, la taille moyenne des plants est étroitement liée à la reproduction, le recrutement et la mortalité des laminaires.

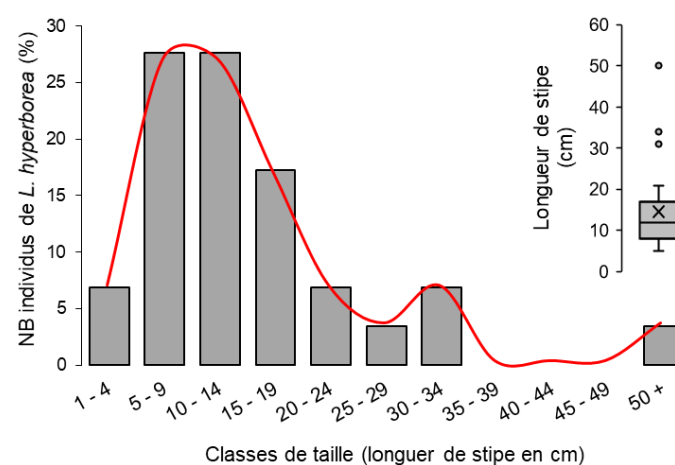


Fig. 14 : Caractéristiques démographiques et longueur moyenne de stipe de *L. hyperborea* à Roche Dranguet.

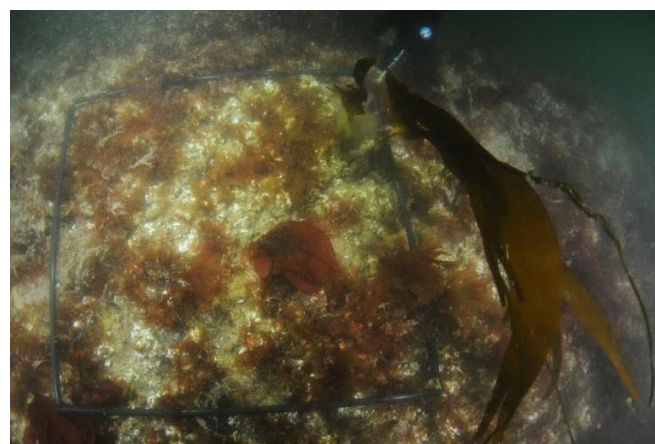


Fig. 15 : Illustration de la faible densité de *Laminaria hyperborea* à Roche Dranguet © M. Mansais.

2. 1 Description des données brutes

Les cinq sites d'étude présentent de fortes similarités en termes de macrofaunes sessiles avec une prédominance de deux espèces : *Phallusia mammillata* (Cuvier, 1815) et *Anemonia viridis* (Forsskål, 1775) – score maximale dans tous les sites (Tableau 4, Fig. 16). D'après une première analyse descriptive, les sites paraissent assez homogènes d'après leurs communautés – peu de variabilité inter-transect (Tableau 4). Parmi les 70 espèces susceptibles d'être observées, seulement 5 à 20 espèces ($13 \pm 3,6$ sp., moyenne \pm écart-type) sont dénombrées par transect, soit seulement 7 à 20 % ($18,6 \pm 5,1$ %) des espèces listées pour l'infra-littoral et circa-littoral côtier

rocheux de l'IVTL-Atl. (Tableau 4). Le site « SE - Fosse Daniel » est particulièrement 'pauvre' en espèces, comparé aux autres sites, avec seulement 7 sp. (10 %) et 5 sp. (7,1 %) sur les transects 2 et 3 respectivement (Tableau 4). Une majorité des espèces sont considérées comme dénombrables (D) et d'une taille > 15 cm (L) correspondant à la catégorie DL (Dénombrable – Large, Tableau 2, 4). D'après le système de cotation différent selon les espèces et la prédominance des espèces DL (Tableau 2, 4), les analyses multivariées ci-dessous (2.2) concerneront uniquement les espèces DL (symbolisées par « × », Tableau 4).



Fig. 16 : Photographies des deux espèces prédominantes de faune sessile: l'Anémone de mer verte (*Anemonia viridis*) et l'Ascidie blanche (*Phallusia mammillata*) © M. Mansais.

2.2 Analyse statistique multivariée

La visualisation MDS est réalisée uniquement sur les espèces DL de l'IVTL-macrofaune sessile (Tableau 4). Cette représentation permet d'appréhender les dissimilarités entre les transects et sites associés (+ la distance est grande + les transects sont différents). La valeur de stress proche de '0' (2D stress = 0,11 Fig. 17) indique une bonne représentation 2D des différences entre transects. D'après le MDS, les communautés sont relativement similaires au sein d'un site (entre transects) mais différentes entre les sites, avec une tendance à se regrouper par région/île

(Dranguet, Ile du Large, Ile de Terre). Selon cette approche régionale, les transects se discriminent majoritairement selon deux axes par rapport au site témoin (Roche Dranguet) : verticalement pour l'Ile de Terre et horizontalement pour l'Ile du Large (Fig. 17). Les espèces *Dysidea fragilis* (DYFR), *Schizomavella sarniensis* (SCSA), *Antedon bifida* (ANBI), *Actinotroch sphyrodeta* / *Cylista elegans* (ACEL), et *Urticina felina* (URFE) expliquent majoritairement les dissimilarités selon l'axe vertical. Les espèces *Crepidula fornicata* (CRFO), *Nemertesia* sp. (NESP), *Cereus pedunculatus*

(CEPE) et *Phorbas plumosus* (PHPL) expliquent majoritairement les dissimilarités selon l'axe horizontal (Fig. 17).

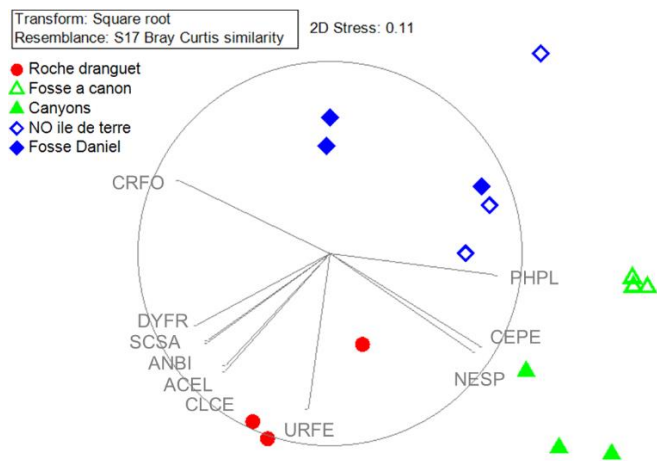


Fig. 17 : MDS des transects macrofaune sessile. Superposition des vecteurs en gris ($r > 0,75$) représentant les espèces explicatives (Code, Tableau 4).

L'analyse permutationnelle multivariée de la variance (PERMANOVA) permet de comparer les sites et tester l'hypothèse nulle que les centroïdes et la dispersion des sites sont équivalents (Tableau 5, 6). D'après le nombre de transects limité par site, il y a trop peu de permutations disponibles. Pour pallier à ce problème, des valeurs P 'correctes' sont obtenues par tirages aléatoires de Monte Carlo (P_{MC}) à partir de la distribution de permutation asymptotique (Anderson & Robinson 2003). Le rejet de l'hypothèse nulle ($P_{perm}, P_{MC} < 0,05$) signifie que les sites sont différents d'après leurs communautés de macrofaune sessile (Tableau 5).

Pour identifier les différences entre sites, des comparaisons a posteriori par paires sont réalisées avec la correction de Monte Carlo (Tableau 6).

Tableau 5 : Détails de l'analyse PERMANOVA et complément de tirages aléatoires de Monte Carlo (P_{MC}).

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P_{perm}	P_{MC}
SITE	4	11625	2906	8,47	0,0001	0,0001
Résidus	10	3430	343			
Total	14	15055				

D'après les analyses par paire, la plupart des sites sont différents à l'exception des deux sites de l'île de Terre : NO - Ile de Terre et SE - Fosse Daniel. Cela s'explique par la forte similarité du Transect 1 de SE – Fosse Daniel avec les 3 transects de NO - Ile de Terre (Tableau 4, 6). Pour autant, la valeur de P_{MC} est 'peu significative' pour cette comparaison inter-sites. Dans l'ensemble, les sites sont relativement différents entre eux d'après leurs communautés de macrofaune sessile, même au sein de l'Archipel de St-Marcouf, avec une diversité spécifique faible et caractérisée par la dominance de quelques taxa.

Tableau 6 : Matrice des différences entre sites d'après les valeurs de P_{MC} pour les comparaisons par paires.

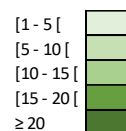
	R. dranguet			
R. dranguet	na	F. à canons		
F. à canons	++	na	Canyons	
Canyons	++	++	na	NO île de T.
NO île de T.	+	++	++	na
SE F. Daniel	+	++	++	-

na : non applicable
 - : test non significatif ($P_{MC} > 0,05$)
 + : test significatif ($0,01 < P_{MC} < 0,05$)
 ++ : test très significatif ($P_{MC} \leq 0,01$)

3 Transect – Macrofaune vagile

Tableau 7 : Données brutes des transects - macrofaune ‘vagile’ selon une approche quantitative (dénombrement).

#	Phylum	Espèces / Groupe taxonomique	Code	Site TEMOIN			ILE DU LARGE						ILE DE TERRE						
				Roche Dranguet			Fosse à canons			Canyons			NO île de Terre			SE Fosse Daniel			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Echinodermes	<i>Asteria rubens</i>	ASRU																
2	Echinodermes	<i>Echinaster (Echinaster) sepositus</i>	ECSE																
3	Echinodermes	<i>Echinus esculentus</i>	ECES																
4	Echinodermes	<i>Henricia</i> spp.	HESP																
5	Echinodermes	<i>Holothuria</i> spp.	HOSP																
6	Echinodermes	<i>Marthasterias glacialis</i>	MAGL																
7	Echinodermes	<i>Psammechinus miliaris</i>	PSMI			4				1									
8	Crustacés	<i>Cancer pagurus</i>	CAPA		1	3	3	6	8	6	8	4	5	3	1	6	5	4	
9	Crustacés	<i>Galathea squamifera</i>	GASP						2	4	3	1		1		1	1		
10	Crustacés	<i>Homarus gammarus</i>	HOGA		1	2	1	1	1				1				1		
11	Crustacés	<i>Maja brachydactyla</i>	MASQ	1	4	3	2	1	4	3	1	2	1						1
12	Crustacés	<i>Necora puber</i>	NEPU	4	6	11	31	28	41	52	23	65	17	10	30	26	20	18	
13	Crustacés	<i>Palinurus mauritanicus</i>	PAVU																
14	Mollusques	<i>Haliotis tuberculata</i>	HATU																



3.1 Description des données brutes

Comme pour la macrofaune sessile, les sites présentent de fortes similarités d’après leur macrofaune vagile avec la prédominance de deux espèces : l’Étrille commune *Necora puber* (Linnaeus, 1767) avec $25,5 \pm 16,9$ ind.transect⁻¹ (soit $0,8 \pm 0,6$ ind.m⁻²), et le Tourteau *Cancer pagurus* Linnaeus, 1758, avec $4,5 \pm 2,2$ ind.transect⁻¹ (soit $0,1 \pm 0,08$ ind.m⁻²) (Tableau 7, Fig. 18). Parmi les 14 espèces susceptibles d’être observées, seulement 2 à 5 sp.transect⁻¹ ($3,7 \pm 0,1$) sont dénombrées, soit seulement 14 à 36 % (27 ± 7 %) des espèces considérées ‘communes’ listées d’après l’IVTL-Atl. (Tableau 7).

Seuls les crustacés sont observés à l’exception d’un échinoderme, l’Oursin vert *Psammechinus miliaris* (P.L.S. Müller, 1771) observé à faible densité sur 2 transects (Tableau 7). De manière générale, le site témoin Roche Dranguet présente des faibles abondances en crustacés (en moyenne : 3 × moins de *C. pagurus* et 8 × moins de *N. puber*) et quelques Oursins vert. D’après le faible nombre d’espèces par transect et l’approche quantitative, les tests univariés (ANOVA) sont privilégiés plutôt que multivariés (PERMANOVA) pour comparer les sites.

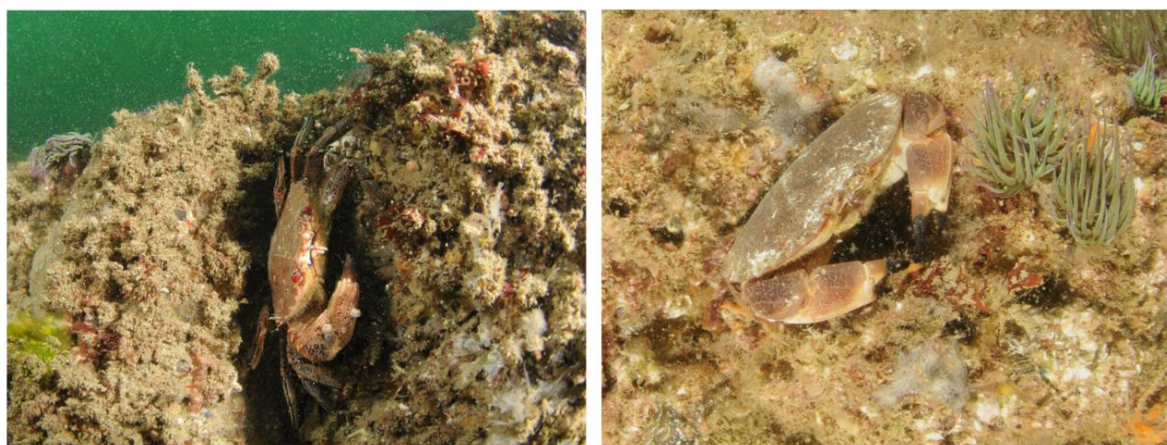


Fig. 18 : Photographies des deux espèces prédominantes de la macrofaune vagile : l’Étrille commune (*Necora puber*) et le Tourteau (*Cancer pagurus*) © M. Mansais.

Les données brutes ‘macrofaune vagile’ ont été synthétisées par des diagrammes en boîtes pour représenter la dispersion des données par espèce et par site (moyenne, médiane et quartile) (Fig. 19). De manière générale, les abondances des crustacés de grande taille : *Homarus gammarus* (Linnaeus, 1758) et *Maja brachydactyla* Balss, 1922 sont relativement faibles et similaires entre sites, respectivement 0,5 et 1,5 ind.transect⁻¹ en moyenne (Fig. 19).

Par contre, les crustacés de moyenne taille : *Cancer pagurus*, *Galathea squamifera* Leach, 1814 et *Necora puber* sont plus abondants aux sites de l’Archipel par rapport à Roche Dranguet (Fig. 19). Les plus fortes abondances sont observées pour les sites de l’Île du Large (Fosse à canons et Canyons) comparées aux sites de l’Île de Terre (NO – Île de Terre et SE – Fosse Daniel), avec jusqu’à 65 *N. puber*, soit plus de 2 Étrilles au m².

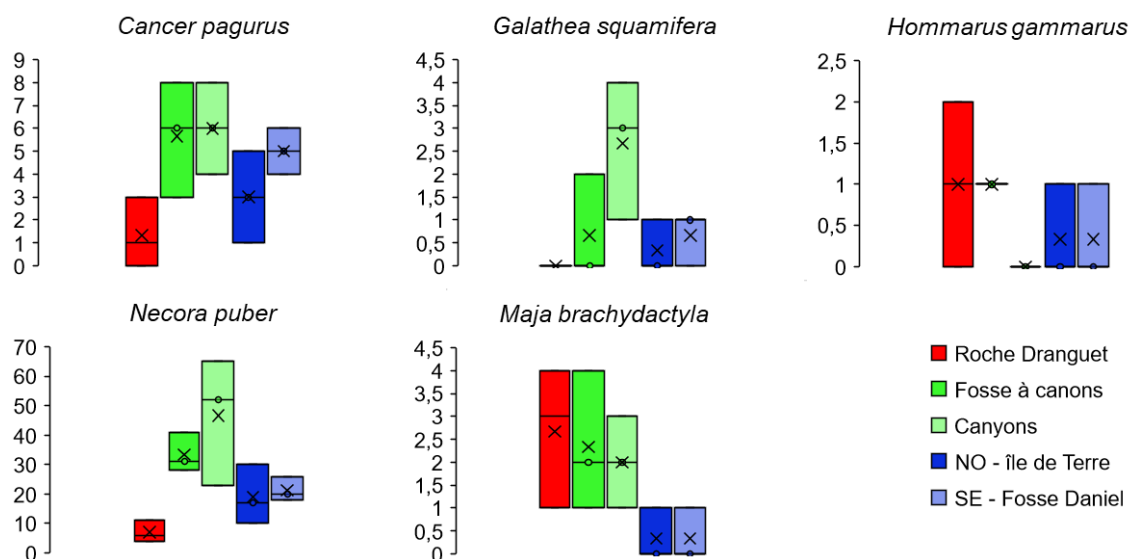


Fig. 19 : Diagramme en boîte pour les espèces de crustacés observées. Moyennes et médianes symbolisées respectivement par la croix et la barre centrale alors que les quartiles sont représentés par les bords du rectangle. L’axe des ordonnées représente les densités par transect (30m²).

3.2 Analyse statistique univariée

Pour les deux espèces les plus abondantes (*C. pagurus* et *N. puber*), des analyses de variance (ANOVA) sont réalisées pour tester les différences entre sites. Pour les mêmes raisons qu’énoncées au 2.2, des tirages aléatoires de Monte Carlo (P_{MC}) sont appliqués (test principal et post hoc) (Tableau 8). Des différences significatives sont seulement observées pour *N. puber* (Tableau 8, 9).

D’après les comparaisons par paire, le site de référence (Roche Dranguet) diffère de la majorité des sites de St-Marcouf, à l’exception du site NO – Île de Terre (Tableau 9). Au sein des sites de l’Archipel, seuls Fosse à canons et SE – Fosse Daniel diffèrent. Les tests ANOVA pour *N. puber* confirment la tendance générale sur la dominance des crustacés de moyenne taille dans l’Archipel de St-Marcouf (Fig. 19, Tableau 8, 9).

Tableau 8 : Détails de l'analyse ANOVA et complément de tirages aléatoires de Monte Carlo (P_{MC}).

Necora puber

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P	P_{MC}
SITE	4	9865	2466	5,97	0,003	0,0016
Résidus	10	4126	412			
Total	14	13992				

Cancer pagurus

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P	P_{MC}
SITE	4	6779	1694	1,42	0,141	0,235
Résidus	10	11924	1192			
Total	14	18703				

Tableau 9 : Matrice des différences entre sites d'après les valeurs de P_{MC} pour les comparaisons par paires pour *N. puber*.

	R. dranguet			
R. dranguet	na	F. à canons		
F. à canons	++	na	Canyons	
Canyons	++	-	na	NO île de T.
NO île de T.	-	-	-	na
SE F. Daniel	+	+	-	-

na : non applicable

- : test non significatif ($P_{MC} > 0,05$)

+ : test significatif ($0,01 < P_{MC} < 0,05$)

++ : test très significatif ($P_{MC} \leq 0,01$)

4 Quadrat – Flore (Macroalgue)

4.1 Description des données brutes

D'après les données brutes, 16 espèces d'algues sont identifiées pour les cinq sites (1 Chlorophytae : *Ulva* spp., 2 Pheophyceae : *D. polyoides* et *S. muticum*, et 13 Rhodophytae) (Tableau 10). La biomasse algale (poids frais) moyenne par quadrat ($0,25 \text{ m}^2$) est relativement faible avec seulement $130,7 \pm 79,0 \text{ g.quadrat}^{-1}$ (soit $522,7 \pm 316,2 \text{ g.m}^{-2}$) (Tableau 10). De manière générale, il est difficile de dégager des tendances à partir du tableau brut. Les diagrammes en boîte permettent de représenter la dispersion des données par espèce et par site (moyenne, médiane et quartile). Ces diagrammes sont réalisés pour les 7 espèces les plus abondantes : *Cryptopleura ramosa* (Hudson) L.Newton 1931, *Heterosiphonia plumosa*

(J.Ellis) Batters 1902, *Metacallophyllis laciniata* (Hudson) A.Vergés & L.Le Gall, 2017, *Palmaria palmata* (Linnaeus) F.Weber & D.Mohr 1805, *Phyllophora crispa* (Hudson) P.S.Dixon 1964, *Rhodymenia pseudopalmata* (J.V.Lamouroux) P.C.Silva 1952, et *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt 1955 (Fig. 20, 21). Les diagrammes mettent en avant de fortes variabilités intra- et inter-sites (Fig. 20). Il est important de noter la forte biomasse de Sargasse japonaise, *Sargassum muticum*, pour les sites de l'île de Terre (NO – Ile de Terre et SE – Fosse Daniel), jusqu'à $243 \text{ g.quadrat}^{-1}$ pour le Quadrat 1 de SE – Fosse Daniel (Tableau 10, Fig. 20)

Tableau 10 : Données brutes des Quadrats – Macroalgues exprimées en poids frais (g).

#	Espèces / Groupe taxonomique	Code	Site TEMOIN			ILE DU LARGE						ILE DE TERRE					
			Roche Dranguet			Fosse à canons			Canyons			NO île de Terre			SE Fosse Daniel		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	<i>Apoglossum ruscifolium</i>	APRU	1		1	1											
2	<i>Calliblepharis jubata</i>	CAJU							1					18		0,5	
3	<i>Corallina officinalis</i>	COOF													1	0,5	
4	<i>Cryptopleura ramosa</i>	CRRR	23	11	15			4	2	31		1	2	2	60	50	48
5	<i>Dictyopteris polypodioides</i>	DIPO				8											
6	<i>ErythroGLOSSUM laciniatum</i>	ERLA	7	13	16												
7	<i>Heterosiphonia plumosa</i>	HEPL			2	1	10		20	1	14	67	45	44	12	28	26
8	<i>Metacallophyllis laciniata</i>	MELA	26	14	28	9	21		2	3	7		1	1	3		16
9	<i>Palmaria palmata</i>	PAPA	36	42	40	10	16	17				62	134	17	2	5	
10	<i>Phyllophora crispa</i>	PHCR					13		50			3	6	8	2	60	30
11	<i>Phyllophora pseudoceranoïdes</i>	PHPS											3				
12	<i>Plocamium cartilagineum</i>	PLCA		3				3	2	5		4			1	1	1
13	<i>Rhodymenia holmesii</i>	RHHO				5	7	1	4	8	4			1			
14	<i>Rhodymenia pseudopalmata</i>	RHPS	63	16	18						19	3	1			2	
15	<i>Sargassum muticum</i>	SAMU				6	5	5	13	2	1	46	2	93	243	29	46
16	<i>Ulva</i> spp.	ULSP					3	2	4	1	8		2	2		1	

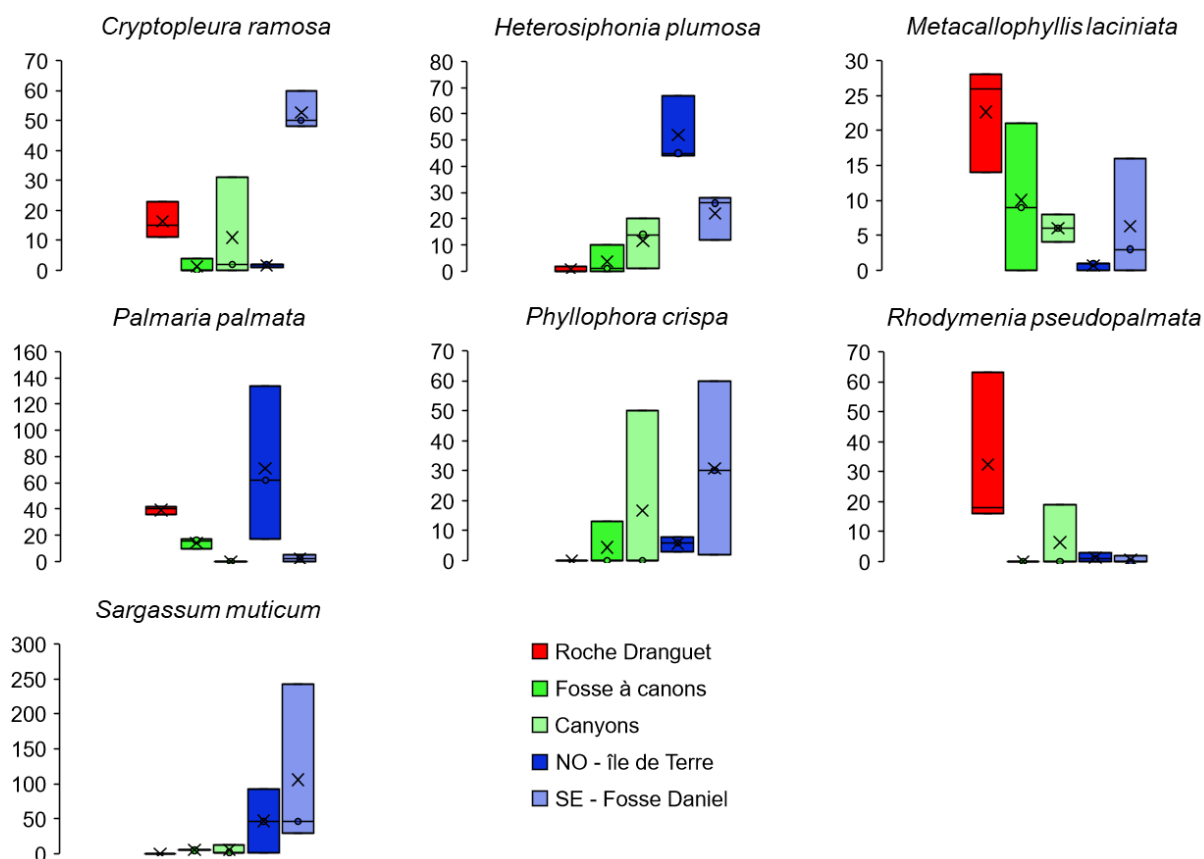
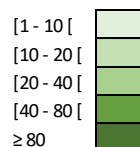


Fig. 20 : Diagramme en boîte pour les espèces algales les plus abondantes. Moyennes et médianes symbolisées respectivement par la croix et la barre centrale alors que les quartiles sont représentés par les bords du rectangle. L'axe des ordonnées représente les poids frais.quadrat⁻¹ (0,25 m²).



Fig. 21 : Presses des algues les plus abondantes. *Metacallophyllis laciniata*, *Cryptopleura ramosa*, *Heterosiphonia plumosa*, *Palmaria palmata*, *Phyllophora crispa*, *Rhodymenia pseudopalmata* et *Sargassum muticum* (de gauche à droite) © T. de Bettignies.

4. 2 Analyse statistique multivariée

La visualisation MDS est réalisée sur l'ensemble des données macroalgues. Cette représentation permet d'appréhender les dissimilarités entre quadrats et sites associés (+ la distance est grande + les quadrats sont différents). La valeur de stress proche de ' 0 ' (2D stress = 0,17, Fig. 22) indique une bonne représentation 2D des différences entre quadrats. La direction des vecteurs indique l'importance des espèces pour les quadrats.

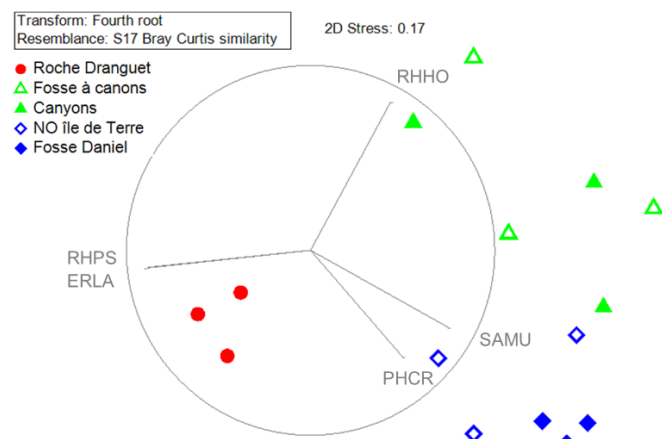


Fig. 22 : MDS des quadrats macroalgues. Superposition des vecteurs en gris ($r > 0,75$) représentant les espèces explicatives (Code, Tableau 10).

D'après le MDS, les communautés de macroalgues ont tendance à se regrouper par région/île (Dranguet, Ile du Large, Ile de Terre) même si l'on observe une relative dispersion des quadrats pour les sites de l'Ile du Large (Fosse à canons, Canyons) (Fig. 22). Les espèces *Rhodymenia pseudopalmata* (RHPS) et *Erythrogloussum laciniatum* (ERLA) discriminent fortement Roche Dranguet (plus abondantes) vs. les sites de l'Archipel. Au sein de l'Archipel, les sites de l'Ile du Large et l'Ile de Terre diffèrent principalement selon les espèces *Rhodymenia holmesii* (RHHO), *Sargassum muticum* (SAMU) et *Phyllophora crispa* (PHCR) (Fig. 22).

L'analyse permutacionnelle multivariée de la variance (PERMANOVA) permet de comparer les sites et tester l'hypothèse nulle que les centroïdes et la dispersion des sites sont équivalents (Tableau 11). D'après le nombre de quadrats limité par site, les tirages aléatoires de Monte Carlo (P_{MC}) sont également appliqués. Le rejet de l'hypothèse nulle (P_{perm} , $P_{MC} < 0,05$) indique des différences significatives selon les sites (Tableau 11).

Tableau 11 : Détails de l'analyse PERMANOVA et complément de tirages aléatoires de Monte Carlo (P_{MC}).

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P_{perm}	P_{MC}
SITE	4	13625	3406	6,29	0,0001	0,0001
Résidus	10	5415	541			
Total	14	19041				

Pour identifier les différences entre Sites, des comparaisons a posteriori par paire sont réalisées avec la correction de Monte Carlo (Tableau 12). D'après ces analyses, Roche Dranguet diffère significativement des sites de l'Archipel. Au sein de l'Archipel, la variabilité intra-île n'est pas significative contrairement à la variabilité inter-île (exc. Fosse à canons vs. NO – Ile de Terre) (Tableau 12).

Tableau 12 : Matrice des différences entre sites d'après les valeurs de P_{MC} pour les comparaisons par paires.

	R. dranguet			
R. dranguet	na	F. à canons		
F. à canons	++	na	Canyons	
Canyons	++	-	na	NO île de T.
NO île de T.	++	-	+	na
SE F. Daniel	++	+	+	-

na : non applicable

-- : test non significatif ($P_{MC} > 0,05$)

++ : test significatif ($0,01 < P_{MC} < 0,05$)

+++ : test très significatif ($P_{MC} \leq 0,01$)

5 Photo-Quadrat – Multi-taxa

5.1 Description des données brutes

Cette partie a fait l'objet d'un rapport de stage de 4^{ème} année d'École d'Ingénieurs par Clémentine Zammite (Zammite, 2020). Les mêmes espèces de l'ITVL sont choisies modulo des ajustements de la résolution taxonomique conditionnée par la prise de vue, ainsi que des compléments pour les algues. Les précédents protocoles ont permis d'évaluer 57 taxa (33 macrofaunes sessiles, 6 macrofaunes vagiles, 18 macroalgues), cette analyse totalise seulement 28 taxa (Tableau 13). Pour autant, les photo-quadrats

rendent compte du « paysage sous-marin » tel que ressenti par les observateurs en plongée et permettent une analyse conjointe de la faune et la flore.

Généralement, les espèces « recouvrantes » comme les algues sont davantage prises en compte que les espèces « dénombrables »; une difficulté pour estimer la diversité infralittorale. Ainsi, les Algues rouges arbustives dominent tous les sites (Tableau 13). D'autres algues présentent des couvertures importantes mais variables suivant les sites : les Algues rouges foliacées (Roche Dranguet, NO – Ile de Terre) et *Sargassum muticum* (NO – Ile de Terre et SE – Fosse Daniel) (Tableau 13). Plus surprenant, deux espèces de faune : *Anemonia viridis* (Forsskål, 1775) et *Spirobranchus triqueter* (Linnaeus, 1758) peuvent recouvrir plus de 15 - 20%. A cause du recouvrement par les algues, ces valeurs sont sous-estimées probablement. Également, l'identification est rendue difficile à l'Archipel de St-Marcouf et Roche Dranguet par la présence d'un « tapis » de tubes d'amphipodes grégaires et suspensivores du genre *Jassa* (Fig. 23), sur le substrat et les organismes benthiques (à l'exception des cnidaires et de l'Ascidie blanche *Phallusia mammillata*). Chaque individu de *Jassa* crée un tube par l'agglomération de particules fines en suspension et de sécrétions. Suivant les densités de *Jassa*, la disposition de ces tubes en plusieurs couches peut en effet occasionner des plaquages importants (Müller et Noël, 2020).



Fig. 23 : Amphipodes - *Jassa* sp. © N. Bunel.

Les diagrammes en boîte permettent de représenter la dispersion des données (moyenne, médiane et quartile). Ces diagrammes sont réalisés pour les 7 taxa les plus recouvrants : *Phallusia mammillata* (Cuvier, 1815), *Anemonia viridis* (Forsskål, 1775), *Spirobranchus triqueter* (Linnaeus, 1758), Algues rouges arbustives, Algues rouges foliacées, *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt, 1955, et *Ulva* spp. (Fig. 24). On observe

une forte variabilité intra-site. A l'exception des Algues rouges arbustives, les diagrammes démontrent de fortes variabilités inter-sites avec des pics de recouvrement significatifs pour les espèces × sites suivants : *Anemonia viridis* aux sites de l'Île du Large, *Spirobranchus triqueter* à Roche Dranguet, Algues rouges foliacées à R. Dranguet et NO – Île de Terre, et *S. muticum* aux sites de l'Île de Terre (Fig. 24).

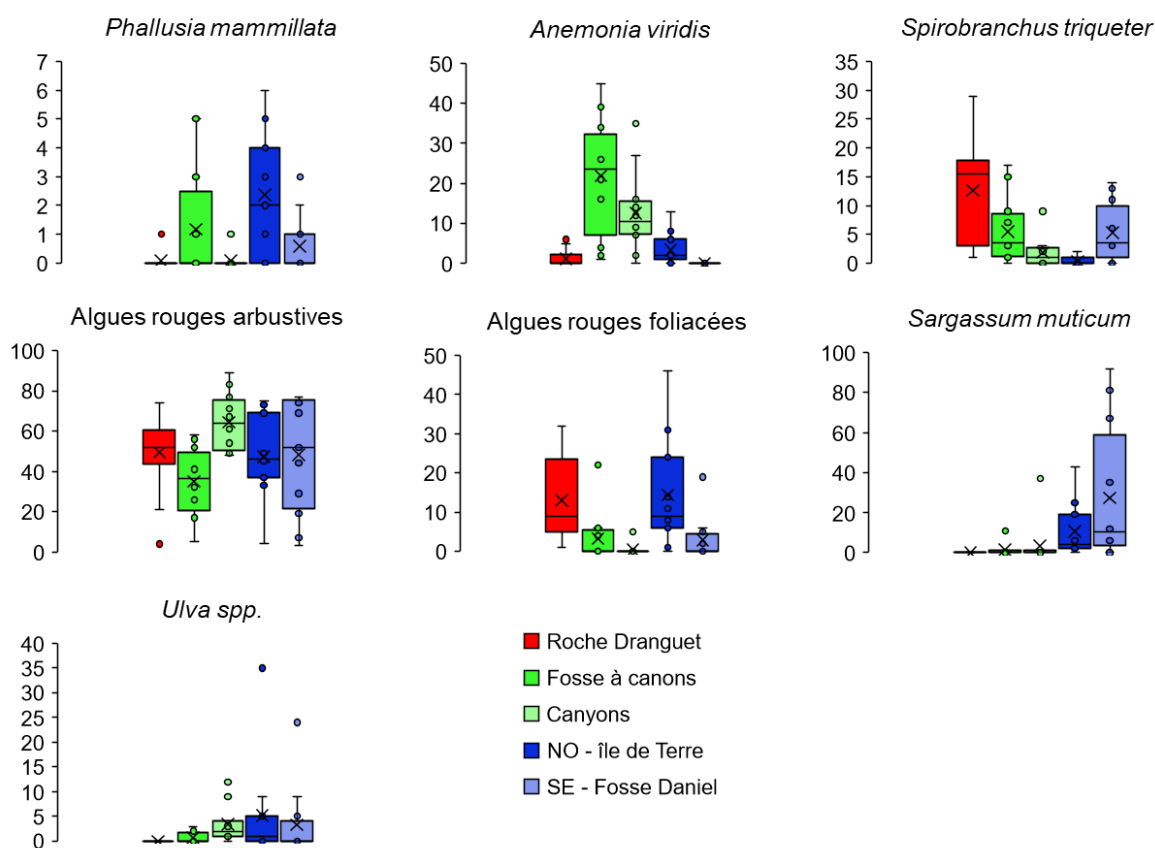


Fig. 24 : Diagramme en boîte pour les espèces les plus abondantes. Moyennes et médianes symbolisées respectivement par la croix et la barre centrale alors que les quartiles sont représentés par les bords du rectangle. L'axe des ordonnées représente le recouvrement par quadrat (%).

5. 2 Analyse statistique multivariée

La visualisation MDS est réalisée sur les taxa présents plus de 2 fois (vs. 59 quadrats), soit 14/29 taxa. Cette représentation permet de visualiser les dissimilarités entre quadrats et sites associés. La valeur de stress relativement proche de ' 0 ' (2D stress = 0,24 ; Fig. 25) indique une représentation 2D moyenne.

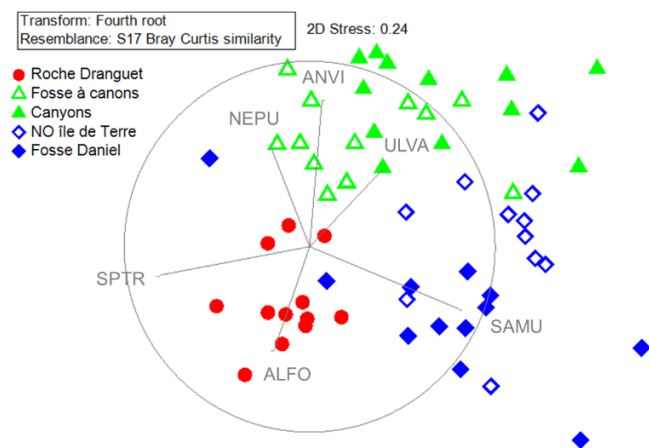


Fig. 25 : Analyse multidimensionnelle non paramétrique (MDS) des Photo-Quadrats. Superposition des vecteurs en gris ($r > 0,5$) représentant les espèces (Code, Tableau 13) explicatives des dissimilarités.

D'après le MDS, les photo-quadrats ont tendance à se regrouper par site et région/île (Référence, Ile du Large, Ile de Terre) même si l'on observe une relative dispersion des quadrats pour les sites de l'Ile du Large et les sites de l'Ile de Terre (Fig. 25). Les espèces *Anemonia viridis* (ANVI) et dans une moindre proportion *Necora puber* (NEPU), *Ulva* spp. (ULVA) et Algues rouges foliacées (ALFO) discriminent les sites de l'Ile du Large (plus abondants sauf pour ALFO) des autres sites (R. Dranguet et Ile de Terre) (Fig. 25). La forte abondance de *Sargassum muticum* dans les sites de l'Ile de Terre explique la dispersion par rapport aux autres sites, tout comme *Spirobranchus triqueter* (SPIRO) à Roche Dranguet (Fig. 25).

Tableau 14 : Détails de l'analyse PERMANOVA et complément de tirages aléatoires de Monte Carlo (P_{MC}).

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P_{perm}
SITE	4	29428	7357	11,98	0,0001
Résidus	54	33147	613		
Total	58	62575			

L'analyse permutationale multivariée de la variance (PERMANOVA) permet de comparer les sites et tester l'hypothèse nulle que les centroïdes et la dispersion des sites sont équivalents pour tous les sites (Tableau 14). Le rejet de l'hypothèse nulle ($P_{perm} < 0,05$) signifie des différences significatives selon les sites (Tableau 14).

Tableau 15 : Matrice des différences entre sites d'après les valeurs de P_{MC} pour les comparaisons par paires.

	R. dranguet			
R. dranguet	na	F. à canons		
F. à canons	++	na	Canyons	
Canyons	++	++	na	NO île de T.
NO île de T.	++	++	++	na
SE F. Daniel	++	++	++	++

na : non applicable

-- : test non significatif ($P_{MC} > 0,05$)

+ : test significatif ($0,01 < P_{MC} < 0,05$)

++ : test très significatif ($P_{MC} \leq 0,01$)

Pour identifier les différences entre Sites, des comparaisons a posteriori par paire sont réalisées (Tableau 15). D'après ces analyses, tous les sites diffèrent entre eux de manière très significative (Tableau 15).

6 Compléments d'inventaire visuel

Tableau 16 : Inventaire complet et fréquence d'observation. Les Espèces Non Indigènes (ENI) sont indiquées en rose.

Espèces observées - Mission Saint Marcouf 2020							Roche Dranguet	Fosse à Canons	Canyons	NE Ile de Terre	SE Fosse Daniel	% observation	
CHLOROPHYTES							2	0	1	2	1	1	
ULVOPHYCÉES Algues vertes							2	0	1	2	1	1	
<i>Bryopsis plumosa</i> (Hudson) C.Agardh, 1823									x				20%
<i>Ulva</i> sp. Linnaeus									x	x	x	x	80%
OCHROPHYTES							4	1	2	1	2	1	
PHAEOPHYCÉES Algues Brunes							4	1	2	1	2	1	
<i>Dictyopteris polypodioides</i> (A.P.De Candolle) J.V.Lamouroux, 1809									x				20%
<i>Laminaria hyperborea</i> (Gunnerus) Foslie, 1884								x					20%
<i>Saccorhiza polyschides</i> (Lightfoot) Batters, 1902											x		20%
<i>Sargassum muticum</i> (Yendo) Fensholt, 1955									x	x	x	x	80%
RHODOPHYTES							18	13	8	9	11	10	
FLORIDEOPHYCÉES Algues rouges							18	13	8	9	11	10	
<i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turner) J.Agardh, 1898								x	x				40%
<i>Calliblepharis jubata</i> (Goodenough & Woodward) Kützinger, 1843										x	x	x	60%
<i>Corallina officinalis</i> Linnaeus, 1758												x	20%
<i>Cryptopleura ramosa</i> (Hudson) L.Newton, 1931								x	x	x	x	x	100%
<i>ErythroGLOSSUM laciniatum</i> (Lightfoot) Maggs & Hommersand, 1993								x					20%
<i>Heterosiphonia plumosa</i> (J.Ellis) Batters, 1902								x	x	x	x	x	100%
<i>Lithophyllum incrustans</i> Philippi, 1837								x					20%
<i>Metacallophyllis laciniata</i> (Hudson) A.Vergés & L.Le Gall, 2017								x	x	x	x	x	100%
<i>Palmaria palmata</i> (Linnaeus) Weber & Mohr								x	x	x	x	x	80%
<i>Phyllophora crista</i> (Hudson) P.S.Dixon, 1964								x	x	x	x	x	100%
<i>Phyllophora pseudoceranoides</i> (S.G.Gmelin) Newroth & A.R.A.Taylor ex P.S.Dixon & L.M.Irvine, 1977												x	40%
<i>Phymatolithon lenormandii</i> (Areschoug) W. H. Adey								x					20%
<i>Phymatolithon purpureum</i> (P.L. Crouan & H.M. Crouan) Woelkerling & L.M. Irvine								x					20%
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) P.S.Dixon, 1967								x	x	x	x	x	100%
<i>Rhodymenia holmesii</i> Ardissonne, 1893									x	x	x		60%
<i>Rhodymenia pseudopalmata</i> (J.V.Lamouroux) P.C.Silva, 1952								x		x	x	x	80%
<i>Sphaerococcus coronopifolius</i> Stackhouse, 1797								x			x	x	60%
<i>Sphondylothamnion multifidum</i> (Hudson) Nägeli, 1862										x			20%
SPONGIAIRES							13	12	4	6	4	5	
CALCISPONGES							1	1	0	0	0	0	
<i>Sycon ciliatum</i> (Fabricius, 1780)								x					20%
DÉMOSPONGES							12	11	4	6	4	5	
<i>Amphilectus fucorum</i> (Esper, 1794)								x	x	x	x	x	100%
<i>Cliona celata</i> Grant, 1826								x		x	x		60%
<i>Dysidea fragilis</i> (Montagu, 1814)								x		x		x	60%
<i>Halichondria (Halichondria) bowerbanki</i> Burton, 1930								x					20%
<i>Haliclona (Haliclona) oculata</i> (Linnaeus, 1759)								x					20%
<i>Haliclona (Haliclona) simulans</i> (Johnston, 1842)								x					20%
<i>Haliclona (Rhizoniera) viscosa</i> (Topsent, 1888)										x			20%
<i>Halisarca dujardinii</i> Johnston, 1842								x					20%
<i>Mycale (Carmia) macilenta</i> (Bowerbank, 1866)								x					20%
<i>Phorbas plumosus</i> (Montagu, 1814)								x	x	x	x	x	100%
<i>Suberites ficus</i> (Johnston, 1842)								x	x			x	60%
<i>Tethya citrina</i> Sarà & Melone, 1965								x	x	x	x	x	100%

Espèces observées - Mission Saint Marcouf 2020							Roche Dranguet	Fosse à Canons	Canyons	NE Ile de Terre	SE Fosse Daniel	% observation	
CNIDAIRES							12	10	4	10	4	2	
HYDROZOAIREs							5	5	0	3	1	1	
<i>Aglaophenia pluma</i> (Linnaeus, 1758)							x		x				40%
<i>Amphisbetia operculata</i> (Linnaeus, 1758)							x						20%
<i>Nemertesia antennina</i> (Linnaeus, 1758)							x		x	x	x		80%
<i>Obelia geniculata</i> (Linnaeus, 1758)							x						20%
<i>Tubularia indivisa</i> Linnaeus, 1758							x		x				40%
ANTHOZOAIREs ordre HEXACORALLIAIREs							7	5	4	7	3	1	
<i>Actinothoe sphyrodeta</i> (Gosse, 1858)							x	x	x				60%
<i>Anemonia viridis</i> (Forsskål, 1775)							x	x	x	x	x		100%
<i>Cereus pedunculatus</i> (Pennant, 1777)							x	x	x	x			80%
<i>Cylista elegans var. venusata</i> (Dalyell, 1848)							x		x	x			60%
<i>Diadumene cincta</i> Stephenson, 1925									x	x			40%
<i>Metridium senile</i> (Linnaeus, 1761)										x			20%
<i>Urticina felina</i> (Linnaeus, 1761)							x		x				40%
ANNÉLIDES							3	1	2	3	2	1	
POLYCHÊTES							3	1	2	3	2	1	
<i>Bispira volutacornis</i> (Montagu, 1804)									x	x	x		60%
<i>Serpula vermicularis</i> Linnaeus, 1767										x			20%
<i>Spirobranchus triqueter</i> (Linnaeus, 1758)								x	x	x	x	x	100%
MOLLUSQUES							19	16	3	6	7	4	
GASTÉROPODES PROSOBRANCHES							11	10	1	2	4	2	
<i>Buccinum undatum</i> Linnaeus, 1758							x						20%
<i>Crepidula fornicata</i> (Linnaeus, 1758)							x	x	x	x	x		100%
<i>Calliostoma zizyphinum</i> (Linnaeus, 1758)							x		x				40%
<i>Ocenebra erinaceus</i> (Linnaeus, 1758)							x			x			40%
<i>Rissoa parva</i> (da Costa, 1778)							x			x			40%
<i>Steromphala cineraria</i> (Linnaeus, 1758)							x						20%
<i>Steromphala pennanti</i> (Philippi, 1846)							x						20%
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)							x						20%
<i>Tritia reticulata</i> (Linnaeus, 1758)							x				x		40%
<i>Trivia arctica</i> (Pulteney, 1799)							x						20%
<i>Trivia monacha</i> (da Costa, 1778)											x		20%
GASTÉROPODES OPISTHOBRANCHES							4	2	1	3	2	1	
<i>Aplysia punctata</i> (Cuvier, 1803)												x	20%
<i>Doris pseudoargus</i> Rapp, 1827								x	x	x	x		80%
<i>Doto pinnatifida</i> (Montagu, 1804)										x			20%
<i>Jorunna tomentosa</i> (Cuvier, 1804)								x		x	x		60%
BIVALVES							4	4	1	1	1	1	
<i>Aequipecten opercularis</i> (Linnaeus, 1758)							x						20%
<i>Mimachlamys varia</i> (Linnaeus, 1758)							x	x	x	x	x		100%
<i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758							x						20%
<i>Pecten maximus</i> (Linnaeus, 1758)							x						20%

Espèces observées - Mission Saint Marcouf 2020							Roche Dranguet	Fosse à Canons	Canyons	NE Ile de Terre	SE Fosse Daniel	% observation	
ARTHROPODES							14	6	11	10	10	10	
CRUSTACÉS CIRRIPODES							3	1	2	1	1	1	
<i>Balanus crenatus</i> Bruguière, 1789								x					20%
<i>Perforatus perforatus</i> (Bruguière, 1789)								x	x	x	x		80%
<i>Semibalanus balanoides</i> (Linnaeus, 1767)								x					20%
CRUSTACÉS MALACOSTRACÉS AMPHIPODES – ISOPODES							2	1	1	2	1	1	
<i>Caprella linearis</i> (Linnaeus, 1767)									x				20%
<i>Jassa</i> sp. Leach, 1814								x	x	x	x	x	100%
CRUSTACÉS MALACOSTRACÉS DÉCAPODES							9	4	8	7	8	8	
<i>Cancer pagurus</i> Linnaeus, 1758								x	x	x	x	x	100%
<i>Dromia personata</i> (Linnaeus, 1758)									x				20%
<i>Galathea squamifera</i> Leach, 1814									x	x	x	x	80%
<i>Hemigrapsus sanguineus</i> (De Haan, 1853)									x	x	x	x	80%
<i>Homarus gammarus</i> (Linnaeus, 1758)								x	x		x	x	80%
<i>Inachus phalangium</i> (J.C. Fabricius, 1775)									x	x	x	x	80%
<i>Maja brachydactyla</i> Balss, 1922								x	x	x	x	x	100%
<i>Necora puber</i> (Linnaeus, 1767)								x	x	x	x	x	100%
<i>Palaemon serratus</i> (Pennant, 1777)										x	x	x	60%
LOPHOPHORATES							6	4	0	0	1	2	
BRYOZOAIRES							5	4	0	0	1	1	
<i>Chartella papyracea</i> (Ellis & Solander, 1786)								x					20%
<i>Electra pilosa</i> (Linnaeus, 1767)								x					20%
<i>Plagioecia patina</i> (Lamarck, 1816)								x					20%
<i>Schizomavella (Schizomavella) sarniensis</i> Hayward & Thorpe, 1995								x					20%
<i>Watersipora subatra</i> (Ortmann, 1890)											x	x	40%
PHORONIDIENS							1	0	0	0	0	1	
<i>Phoronis hippocrepia</i> Wright, 1856												x	20%
ÉCHINODERMES							6	3	0	3	2	1	
ÉCHINIDES							1	1	0	0	0	0	
<i>Psammechinus miliaris</i> (Gmelin, 1778)								x					20%
ASTÉRIDES							1	1	0	0	1	1	
<i>Asterina gibbosa</i> (Pennant, 1777)								x			x	x	60%
OPHIURIDES							2	0	0	2	0	0	
<i>Amphipholis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)										x			20%
<i>Ophiura albida</i> Forbes, 1839										x			20%
CRINOÏDES							1	1	0	0	0	0	
<i>Antedon bifida</i> (Pennant, 1777)								x					20%
HOLOTHUROÏDES							1	0	0	1	1	0	
<i>Aslia lefevrei</i> (Barrois, 1882)										x	x		40%

Espèces observées - Mission Saint Marcouf 2020							Roche Dranguet	Fosse à Canons	Canyons	NE Ile de Terre	SE Fosse Daniel	% observation
CHORDÉES							19	13	6	8	6	
ASCIDIES							10	7	3	6	4	3
<i>Aplidium</i> spp. Savigny, 1816							x	x	x		x	80%
<i>Ascidia mentula</i> Müller, 1776									x			20%
<i>Asciidiella aspersa</i> (Müller, 1776)										x		20%
<i>Botryllus schlosseri</i> (Pallas, 1766)							x					20%
<i>Didemnum coriaceum</i> (Drasche, 1883)							x	x				40%
<i>Didemnum maculosum</i> (Milne Edwards, 1841)							x	x				40%
<i>Diplosoma listerianum</i> Milne-Edwards, 1841							x	x	x			60%
<i>Phallusia mammillata</i> (Cuvier, 1815)							x	x	x	x	x	100%
<i>Polyclinum aurantium</i> Milne Edwards, 1841							x	x			x	60%
<i>Styela clava</i> Herdman, 1881										x		20%
OSTÉICHTHYENS							9	6	3	2	2	3
<i>Callionymus lyra</i> Linnaeus, 1758							x	x	x	x		80%
<i>Ctenolabrus rupestris</i> (Linnaeus, 1758)											x	20%
<i>Gobiusculus flavescens</i> (Fabricius, 1779)								x				20%
<i>Labrus bergylta</i> Ascanius, 1767							x				x	40%
<i>Parablennius gattorugine</i> (Linnaeus, 1758)							x	x		x	x	80%
<i>Pollachius pollachius</i> (Linnaeus, 1758)							x					20%
<i>Symphodus melops</i> (Linnaeus, 1758)							x					20%
<i>Thorogobius ephippiatus</i> (Lowe, 1839)									x			20%
<i>Trisopterus luscus</i> (Linnaeus, 1758)							x					20%
Total espèces observées							116	79	41	58	50	43

Au total, 116 espèces sont recensées (sur ~ 1000 m² explorés). Une majorité des groupes taxonomiques comprend 12 à 24 sp. (les « algues » dominant) (Fig. 26). Les échinodermes, généralement bien représentés, totalisent seulement 6 sp. (Tableau 16, Fig. 26). Des espèces communes d'échinodermes ne sont pas retrouvées, telles que : *Asterias rubens* Linnaeus, 1758, *Echinaster (Echinaster) sepositus* (Retzius, 1783), *Echinus esculentus* Linnaeus, 1758, *Henricia* spp. Gray, 1840 et *Holothuria (Panningothuria)* spp. Rowe, 1969. La composition spécifique des sites confirme les différences préalablement discutées : forte ressemblance des sites de l'Archipel vs. Dranguet, grande diversité à Dranguet (plus d'algues, spongiaires et mollusques) mais peu de crustacés vs. l'Archipel (Fig. 27).

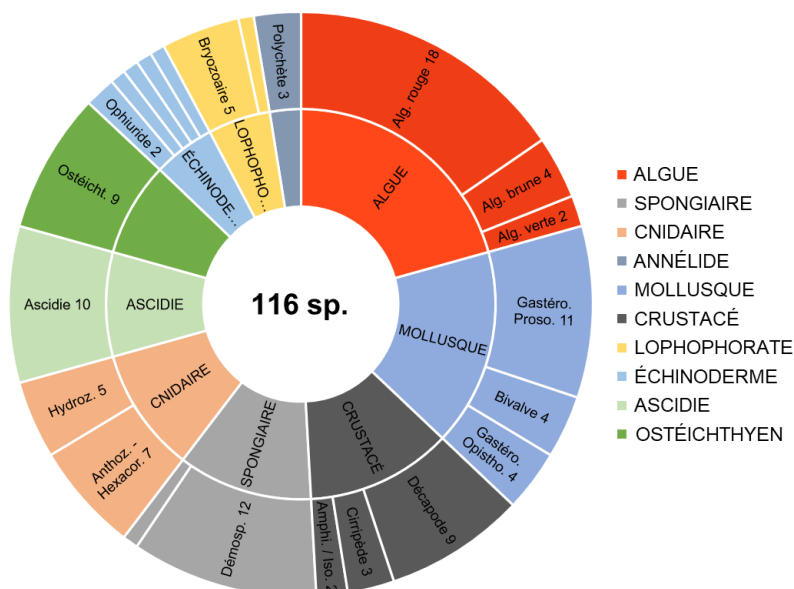


Fig. 26 : Diagramme rayon de soleil de la richesse spécifique par groupe taxonomique pour l'ensemble des sites.

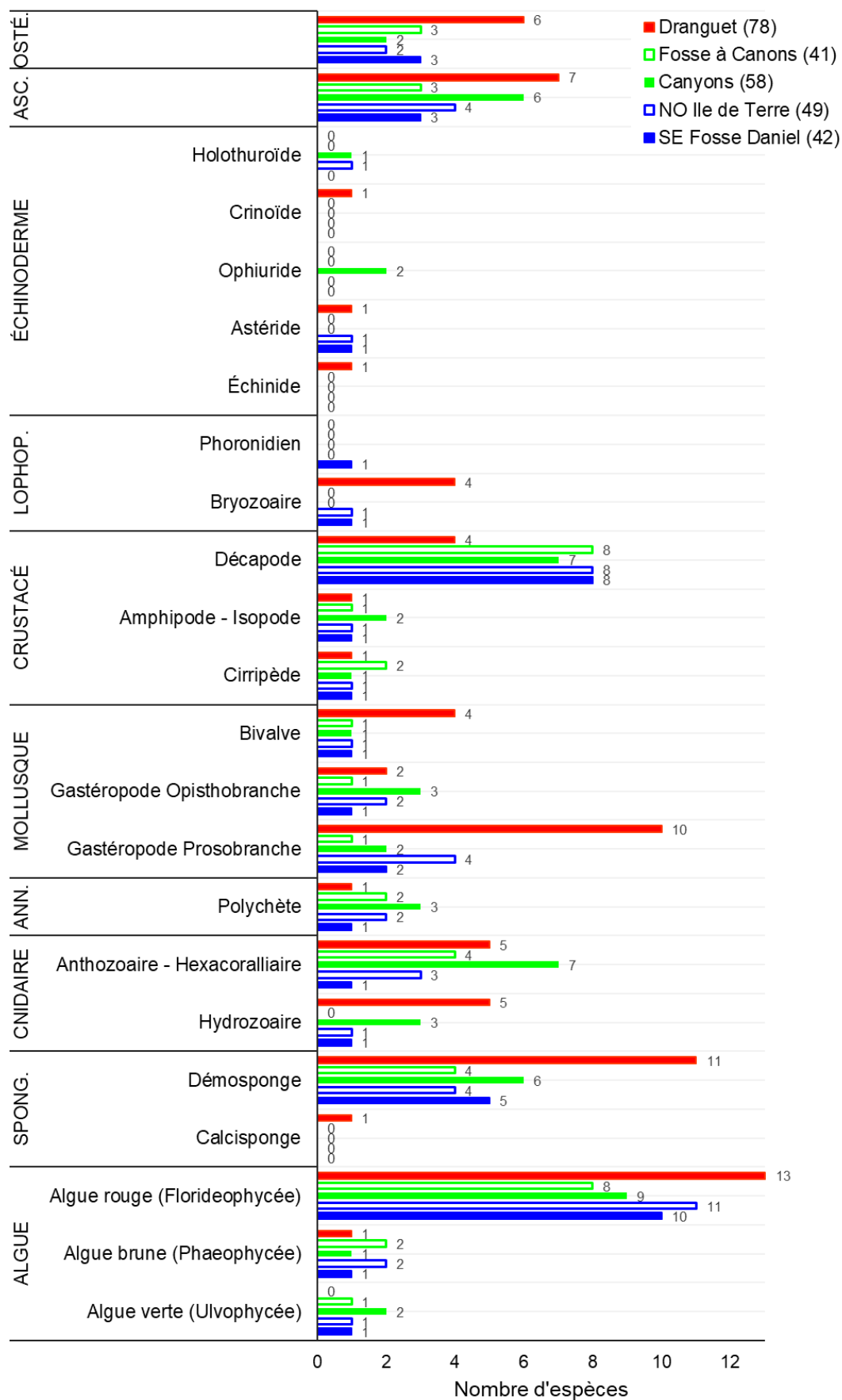


Fig. 27 : Nombre d'espèces par groupe taxonomique selon les sites prospectés.

IV – DISCUSSION

De manière générale (tous sites confondus), la diversité benthique est relativement faible et quelques espèces dominent. Ce premier constat atteste d'un milieu rocheux subtidal sous fortes contraintes environnementales. En effet, les espèces dominantes sont caractéristiques d'espèces tolérantes à une forte charge sédimentaire, à des conditions d'éclairement plus réduites et d'un hydrodynamisme modéré à fort.

Parmi ces espèces, on retrouve des filtreurs suspensivores actifs (*Phallusia mammillata*) et passifs (*Anemonia viridis*, *Spirobranchus triqueter*, *Jassa* sp., et Cirripèdes) qui affectionnent des milieux turbides à forte charge sédimentaire comme les ports, épaves, pontons mais aussi des conditions hydronymiques moyennes (Wood, 2013 ; Bay-Nouaillat & Bay-Nouaillat, 2020 ; Brucy et al., 2020 ; Müller & Noël, 2020 ; Tourenne et al., 2021). Les spongiaires sont peu représentés et les quelques espèces observées tolèrent des conditions environnementales variées comme *Phorbis plumosus* et *Amphilectus fucorum* (Le Granché et al., 2018).

Pour les algues, la présence mais aussi l'absence de certaines espèces ainsi que la faible biomasse par m² attestent de stress abiotiques importants : forte turbidité et charge sédimentaire importante. *Laminaria hyperborea* affectionne les modes semi-battu à battu – elle disparaît lorsque la turbidité est trop élevée et une forte sédimentation impacte le recrutement des juvéniles et donc la résilience des populations (Bunker et al., 2017 ; de Bettignies et al., 2021 ; Dupré & Le Granché, 2021). L'espèce est uniquement présente à Roche Dranguet et semble attester de conditions d'éclairement et/ou sédimentaire plus favorables mais cela est peut-être concomitant à des conditions d'exposition plus abritées pour les sites de l'Archipel St-Marcouf et un isolement géographique des îles (entourées de substrat meubles). On retrouve des espèces de Rhodophytes couramment associées à la sous-strate

des forêts de Laminaire de l'infralittoral supérieur à savoir : *Palmaria palmata*, *Cryptopleura ramosa*, *Heterosiphonia plumosa*, *Metacallophyllis laciniata* et *Phyllophora crispa* qui tolèrent des conditions d'éclairement réduites. Parmi les nombreuses espèces d'algues rouges susceptibles d'être observées, les espèces identifiées ici sont généralement tolérantes à des conditions environnementales variées, et notamment une plus forte sédimentation et abrasion sédimentaire (Bunker et al., 2017). Contrairement à Roche Dranguet, les sites de l'Archipel présentent une forte abondance et/ou biomasse de macroalgues dites opportunistes (voir invasives) comme *Sargassum muticum* et *Ulva* sp. qui tolèrent toutes deux des conditions plutôt « estuariennes » avec une turbidité moyenne et une charge en sédiments et nutriments élevée. Pour autant, l'analyse des macroalgues extrapolée à partir de 3 quadrats par site n'est pas réellement suffisante pour avoir une vision exhaustive des communautés algales. D'avantages d'études sur les macroalgues devraient être menées sachant leur rôle d'indicateur de la qualité des Masses d'eau au titre de la DCE et de l'habitat infralittoral en général (Derrien-Courtel et al., 2013 ; Le Gal & Derrien-Courtel, 2015).

La prédominance de crustacés de « taille moyenne » (*Necora puber* et *Cancer pagurus*) dans les sites de l'Archipel peut s'expliquer par la multitude d'anfractuosités générées par la présence de nombreux blocs rocheux de taille moyenne et voire un mode moins exposé pour les sites de l'Archipel. Ces deux espèces peuvent également supporter des conditions plus sableuses et vaseuses. Typiquement, lorsque l'on compare la part relative d'échinodermes et de crustacés le long d'un « gradient estuarien » et d'exposition, le ratio est en faveur des crustacés à proximité de l'estuaire et inversement au profit des échinodermes vers le large (de Bettignies, com. pers.).

Certaines espèces abondantes voir même dominantes comme *S. muticum*, *Ulva* sp., *Jassa* sp. peuvent être considérées comme « opportunistes ou pionnières » au regard des successions écologiques selon un gradient de perturbation (Person & Rosenberg, 1978) et indicatrices d'un état écologique dégradé. En Méditerranée, *Jassa falcata* domine fréquemment les assemblages d'amphipodes dans les sites pollués pouvant ainsi constituer un indicateur de l'état écologique des habitats rocheux infralittoraux (Bellan-Santini, 1980). Les amphipodes du genre *Jassa* sont particulièrement abondants dans l'Archipel et atteignent un maximum de couverture au site Canyons de l'Île du Large, rendant même difficiles les inventaires visuels et les identifications sur Photo-Quadrats (Fig. 28).



Fig. 28 : Plaquage extensif de *Jassa* spp. au site Canyons, Ile du Large © M. Mansais.

Chaque individu de *Jassa* crée un tube par l'agglomération de particules fines en suspension et de sécrétions. Suivant les densités de *Jassa*, la disposition de ces tubes en plusieurs couches peut occasionner des plaquages importants (Müller et Noël, 2020) (Fig. 28). Ces proliférations sont fréquemment liées à des processus d'envasement des récifs avec des régressions algales - comme pour la ZSC Récifs Gris Nez – Blanc Nez ([FR3102003](#)) (Labadie & Trebault, 2014 ; de Roton et al., 2015). On a potentiellement des mécanismes de feedback négatifs renforçant la régression algale : (1) un envasement limite le développement et recrutement algale, (2) tout en facilitant le surdéveloppement des *Jassa*, qui vont à leurs tours (3) renforcer l'impact négatif sur les algues natives. A cela s'ajoute la prolifération d'une espèce exotique envahissante, la Sargasse japonaise, qui tolère des conditions de turbidité et de sédimentation plus élevées (Fig. 29). La compétition pour la lumière et l'espace avec les macroalgues natives (Britton-Simmons, 2004) est alors susceptible de (4) renforcer ces effets négatifs.



Fig. 29 : Prolifération de *Sargassum muticum* au site SE – Fosse Daniel, Ile de Terre © M. Mansais.

La résilience des populations algales est d'autant plus diminuée lorsque les récifs sont géographiquement isolés des populations non-impactées, susceptibles de réensemencer naturellement ces zones impactées – comme pour les sites de l'Archipel de Saint-Marcouf.

Sachant les profondeurs corrigées (~ 8 m) d'explorations et les précédentes études qui détaillent l'étagement à Saint-Marcouf (Labadie & Trebaul, 2014 ; de Roton et al., 2015), on se situerait dans l'infralittoral inférieur voir même le circalittoral côtier. Pour autant la majorité des espèces d'algues dominantes se développe préférentiellement dans l'infralittoral (Cabioc'h et al., 2014 ; Bunker et al., 2017) - reste à déterminer si l'on se situe dans l'infralittoral supérieur ou inférieur. La faible densité de laminaires ou son absence indiquerait l'infralittoral inférieur. Malgré tout, l'abondance d'espèces plutôt photophiles (*Palmaria palmata*, *Sargassum muticum* et *Ulva* sp.) indiquerait au contraire l'infralittoral supérieur. Thouin et al. (1983) ont observé des peuplements de *Laminaria hyperborea* très étendus initialement dans cette région jusqu'à 10 à 13 m de profondeur. Idéalement, des transects selon un profil bathymétrique devraient compléter le protocole pour mieux identifier les étages mais les contraintes logistiques ne l'ont pas permis lors de cette étude. Lors des remontées en plongée à Saint-Marcouf, des profondeurs plus faibles (~ 4 - 5 m) ont été néanmoins explorées pour rechercher des occurrences et densités de laminaires caractéristiques de l'infralittoral supérieur. Cependant, aucune occurrence n'a été observée et les peuplements algaux étaient relativement homogènes depuis la zone prospectée. Il est donc difficile de statuer avec certitude sur l'étage prospecté et des compléments de transects bathymétriques pourraient clarifier cette question. Néanmoins la présence d'autres algues photophiles (que les laminaires) et la relative faible profondeur indiqueraient préférentiellement l'infralittoral supérieur.

Une des hypothèses explicatives pourrait être l'effet de l'envasement et/ou des plaquages de *Jassa* qui limite le développement d'algues photophiles de l'infralittoral supérieur (en recouvrant les thalles) malgré des conditions d'éclairement favorables. Cette hypothèse semble être confirmée par (1) le développement d'espèces plutôt photophiles mais

moins sensibles à l'envasement et/ou au plaquage par *Jassa* (généralement à port dressé et/ou croissance importante), (2) les fortes abondances d'algues dans des secteurs moins soumis à l'envasement et/ou au plaquage et (3) la prédominance d'*Anemonia viridis* que l'on retrouve généralement dans des milieux très éclairés (Wood, 2013 ; Brucy et al., 2020) (Fig. 30).

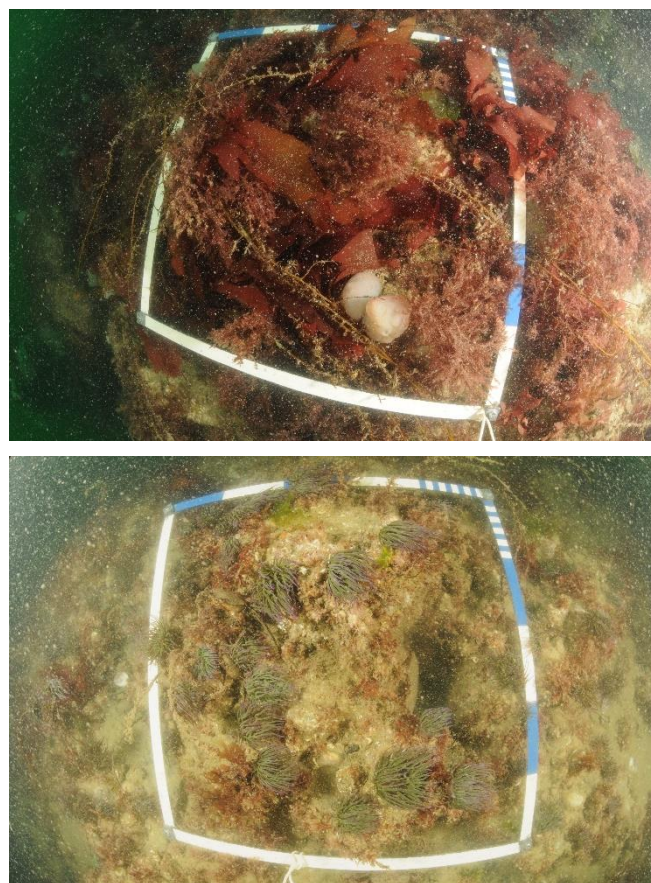


Fig. 30 : Développement algal à NO – Ile de Terre, et forte abondance d'*Anemonia viridis* à Fosse à Canons, Ile du Large © M. Mansais.

D'après la *Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la mer du Nord et de l'Atlantique – Version 3* (Michez et al., 2019), l'ensemble des sites prospectés correspondraient à l'habitat B1-5.2.1 *Roches ou blocs infralittoraux à algues rouges foliacées*. Néanmoins, la prolifération de *Sargassum muticum* aux sites de l'Ile de Terre (NO – Ile de Terre et SE – Fosse Daniel) et des amphipodes tubicoles du genre *Jassa* aux sites de l'Ile de Large (Fosse à Canons et Canyons) pourraient à terme entraîner un changement d'habitat, respectivement B1-5.1.3 *Roches ou blocs infralittoraux à*

Sargassum muticum et B1-6.3 Roches ou blocs infralittoraux à amphipodes tubicoles (Michez et al., 2019). Si les plaquages de Jassa ne persistent pas, les sites de l'Île du Large démontrent cependant des recouvrements de faunes sessiles non négligeables : surtout *Anemonia virridis* (jusqu'à 45% de recouvrement par quadrat) associés à des fortes abondances de *Cereus pedunculatus*, *Phallusia mammillata*, *Spirobranchus triqueter*, *Nemertesia antennina* et de balanes ainsi que de fortes abondances de faunes vagiles avec jusqu'à 2 individus par m² de *Necora puber*. Ces tendances vers une dominance de faune au détriment de la flore algale aux sites de l'Île du Large (particulièrement important au site Fosse à Canons) pourraient les qualifier de B1-6 Roches ou blocs infralittoraux à dominance animale.

L'exploration de l'Archipel Saint-Marcouf et la comparaison avec le site Roche Dranguet mettent en évidence des différences significatives entre les sites avec un regroupement des sites selon les « régions ». Ces différences sont visualisables sur l'ensemble des MDS (Fig. 31) et confirmées par les diagrammes en boîte et analyses de variances. Les analyses démontrent des différences significatives entre le site considéré comme « témoin » (Roche Dranguet) situé hors des mesures de gestion et les sites de l'Archipel St-Marcouf soumises depuis peu à des mesures de gestion. Ces résultats attestent de conditions abiotiques et/ou historiques différentes. Ainsi, la qualification de Roche Dranguet comme site « témoin » et l'application du protocole BACI sont remises en cause d'après les résultats. L'efficacité de la gestion de la pêche et de la navigation autour de l'Archipel devront être évaluées statistiquement selon un autre protocole expérimental (moins robuste) : BAI ou Before - After - Impact. Dans ce cas, l'analyse est faite sans comparateur spatial (site témoin), la comparaison sera donc uniquement temporelle (Sordello et al., 2019). Pour autant, il apparaît important de répliquer tout de même les mesures sur le site « témoin » pour pouvoir contextualiser les analyses postérieures.

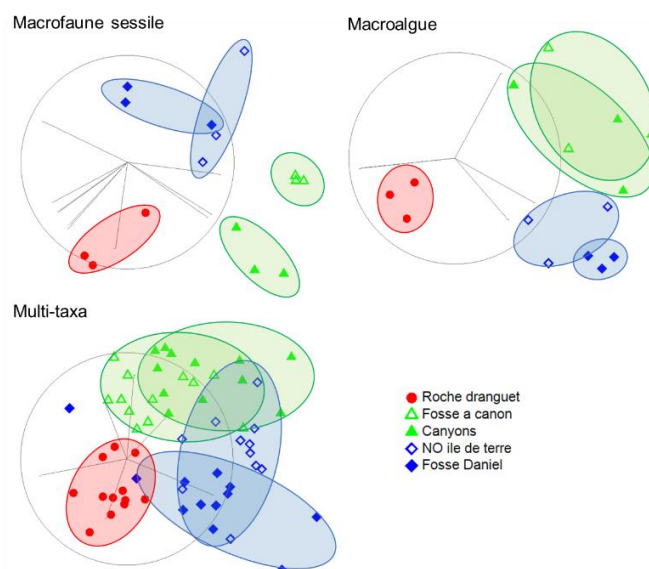


Fig. 31 : Compilation des MDS pour les protocoles « macrofaune sessile, macroalgues et multi-taxa ».

Pour discuter des résultats inter-sites et inter-régions, des synthèses sous forme de modèles conceptuels des communautés benthiques sont présentées ici pour illustrer des différences majeures entre régions (Roche Dranguet, sites de l'Île du Large, et sites de l'Île de Terre) (Fig. 32 - 33).

La première différence notable entre les sites/régions concerne l'unique occurrence de *Laminaria hyperborea* à Roche Dranguet. La densité de *L. hyperborea* adultes n'est pas suffisamment élevée (0,7 ind.m⁻²) pour former l'habitat « Forêts de Laminaires » de l'Atlantique N-E tel que défini par la Convention OSPAR (> 3 plants.m⁻² ; de Bettignies et al., 2021). Les paramètres démographiques indiquent un renouvellement irrégulier des populations soumises à de fortes contraintes environnementales. Cependant, il est difficile de comparer avec des données régionales historiques de référence sachant la paucité d'études et de données sur les peuplements algaux de l'étage infralittoral en Normandie et la relative incertitude sur l'étagement (infralittoral supérieur ou inférieur). Néanmoins, la comparaison des données de 2011-2012 (Cartham) (In Vivo, 2013) à celles de Thouin (1983) et Cosson (1999) apporte des éléments contextuels importants. L'utilisation de ces

données pour établir le diagnostic écologique du site Natura 2000 Baie de Seine Occidentale (Toison, 2013) a mis en évidence une régression générale des laminaires dans la région (*L. digitata*, *L. hyperborea* et *S. latissima*). Cette régression régionale a été synthétisée dans le récent Case Report pour inscrire l'habitat « Forêts de Laminaires » à la Liste OSPAR des espèces et habitats menacés et/ou en déclin pour l'Atlantique Nord-Est (de Bettignies et al., 2021).

Dans l'infralittoral, cette régression est couramment associée à un remplacement de *L. hyperborea* par *S. polyschides* : une espèce de laminaire annuelle et « plus opportuniste » et par l'espèce introduite *Sargassum muticum* qui affectionne les eaux turbides. La première observation de *S. muticum* date de 1975 sur les côtes du Calvados puis l'année suivante aux « Roches de Grandcamp » (Cosson & Duglet, (1974 ; Cosson et al. 1977) où elle domine désormais les populations algales (Lemesle, 2015).

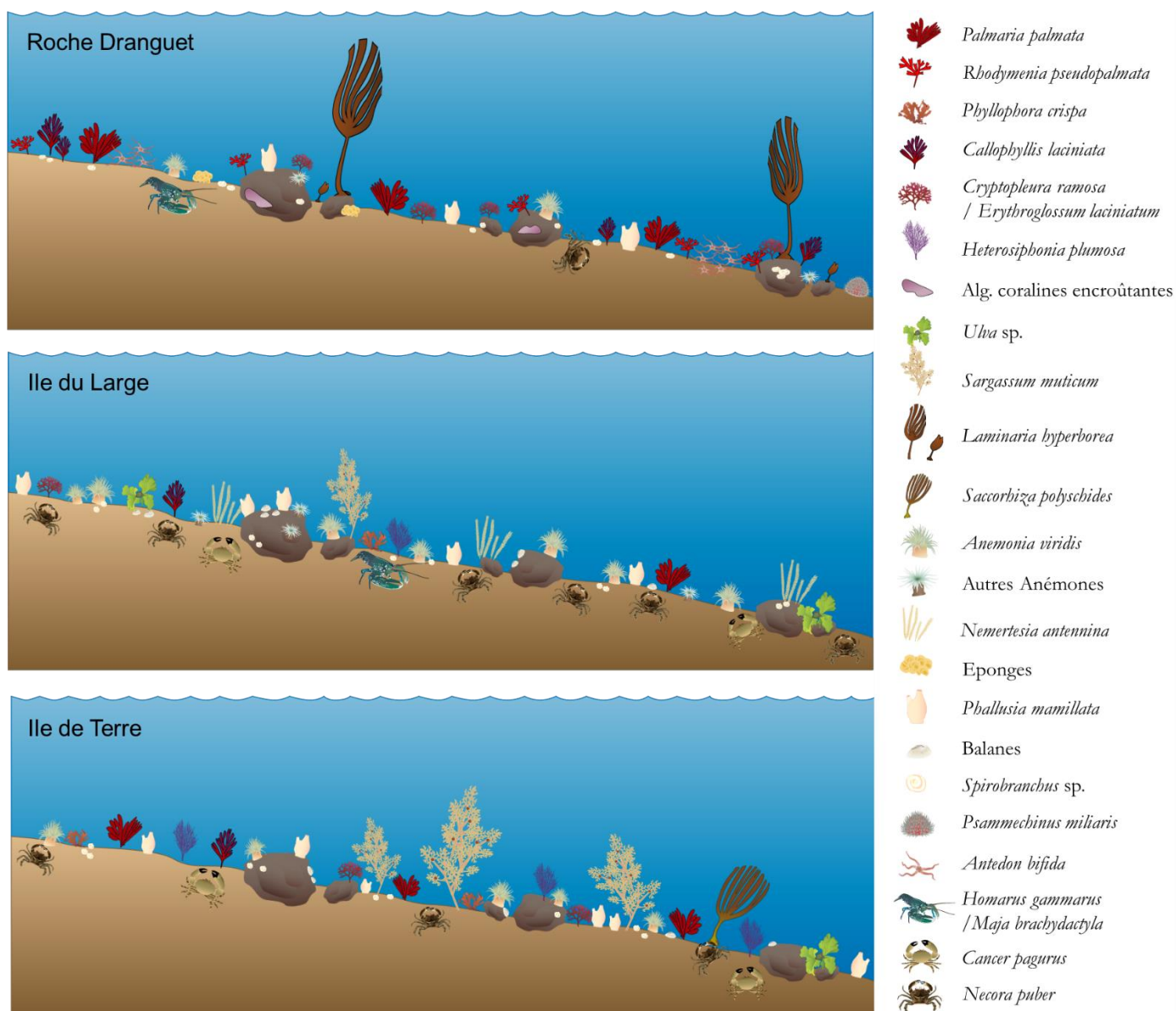


Figure 32 : Modèles conceptuels par région. Pictogrammes d'après <https://ian.umces.edu/symbols/> et Leclerc et al. (2021)
© T. de Bettignies.

Aucune *L. hyperborea* n'est retrouvée dans l'Archipel (Fosse à canons, Canyons, NO – île de Terre et SE – Fosse Daniel) malgré une exploration à des profondeurs plus faibles. On retrouve les deux espèces « opportunistes » précédemment évoquées : *S. polyschides* au site NO – Ile de Terre, et *S. muticum* à tous les sites de l'Archipel (avec des biomasses maximales au site SE – Fosse Daniel). La station DCE « Macroalgues subtidales » (Masse d'eau HC09 : Anse de Saint-Vaast la Hougue) à proximité de Roche Dranguet est évaluée « médiocre » et en régression depuis plus de 6 ans (évaluée « Bon » en 2013) alors que la station subtidale plus au Nord de la Presqu'île du Cotentin (Masse d'eau HC07 : Cap Lévi – Gatteville) est évaluée « Très Bon » et stable. Les résultats indiquent une situation très préoccupante des laminaires de l'infralittoral en baie de seine occidentale mais les pressions responsables de ces déclinés ne sont pas clairement identifiées. L'effet cumulé de multiples facteurs sur l'écophysologie et la phénologie des laminaires est couramment avancé : turbidité, envasement, eutrophisation, température, et l'isolement géographique des populations (Lemesle, 2015).

Pour les autres algues, malgré le faible nombre de quadrats par site (N=3) des différences notables sont observées entre région. Les sites de l'île du Large présentent une très faible biomasse en macroalgue en comparaison avec l'île de Terre et Roche Dranguet même si les recouvrements algaux (d'après les photo-quadrats) sont équivalents entre régions. L'effet cumulé de la turbidité, l'envasement et la prolifération d'amphipodes est la raison avancée pour ce faible développement algale. Entre Roche Dranguet et les sites de l'île de Terre, les communautés de macroalgues diffèrent avec une plus forte biomasse de *Sargassum muticum*, *Heterosiphonia plumosa* et *Phyllophora crispa* à l'île de Terre versus *Rhodymenia pseudopalmata* et *Erythrogloussum laciniatum* à Roche Dranguet. D'après la forte tolérance des macroalgues à une charge sédimentaire (dépôt et abrasion) à l'île de Terre, ces

deux régions semblent se discriminer aussi selon ce facteur abiotique combiné à l'hydrodynamisme.

Cette discrimination est attestée également par les changements de communautés de macrofaune sessile et vagile, illustrés par les modèles conceptuels (Fig. 32 – 33). La figure 33 propose un modèle conceptuel d'alternance des communautés selon deux gradients abiotiques : hydrodynamisme et envasement / turbidité. Malgré une forte abondance de cnidaires (*Anemonia virridis*, *Urticina felina*, *Cereus pedunculatus*, *Cylista elegans* et *Actinothoe sphyrodeta*), il est intéressant de noter la relative absence de l'anémone œillet, *Metridium senile* - seulement observée à Canyons avec le complément d'inventaire et auparavant abondante au Sud de l'île de Terre (Le Granché et al., 2012).

Les conditions hydrodynamiques et sédimentaires sont fortement associées aux courants et sources d'envasement. En baie de seine occidentale, les courants sont principalement sous l'influence de la marée et du vent. Le marnage y est modéré (< 5m) mais peut occasionner des courants plus importants lorsqu'il existe des contraintes géomorphologiques comme le goulet entre les deux îles de Saint-Marcouf ou à proximité des caps comme la Pointe de Barfleur (Roche Dranguet étant plus proche) (In Vivo, 2015). Le flot est plus intense que le jusant et orienté vers l'Est devant le Cotentin puis tourne vers le SSE et s'atténue en entrant dans la baie de Seine (Leballeur et al., 2013). A cela s'ajoute l'effet de la houle dominante de NO qui peut se surimposer au courant de flot. Les vents dominants du quart SO influencent également la courantologie (In Vivo, 2015). D'après la disposition des sites et la courantologie générale, on retrouve le même gradient d'exposition que précédemment extrapolé à partir des communautés de faune/flore (exposition forte : site Roche Dranguet, moyenne : sites de l'île de Terre et faible : sites de l'île du Large).

Concernant les sources de sédiments, la baie des Veys et l'estuaire associé constituent une source importante (In Vivo, 2013). A cela s'ajoutent les clapages des produits de dragages portuaires particulièrement conséquents en baie de Seine ([localisation 2005 – 2018](#))². Le remaniement des sédiments vaseux (issus des estuaires et des clapages) et leur dispersion pouvant être à leur tour favorisés par les engins de pêche trainants fréquents en baie de Seine, notamment la drague pour la coquille Saint-Jacques ([~200 navires](#))³ et des régimes de vent changeants (F. Gevaert, com. pers.).

D'après les résultats sur « l'état initial » de l'habitat rocheux infralittoral, il apparaît donc primordial d'évaluer plus finement l'intensité et l'impact de l'envasement sur les habitats sensibles à l'échelle de la baie de Seine et d'identifier les principales sources d'envasement à travers des modèles hydro-sédimentaires. En effet, les mesures de gestion locales pourraient à terme ne pas diminuer les processus d'envasement et la dégradation d'habitat sensibles si les phénomènes ont des emprises spatiales plus large que la ZPF. Il faut donc aussi bien renforcer les mesures locales (ZPF) qu'envisager des mesures à l'échelle régionale (baie de Seine).

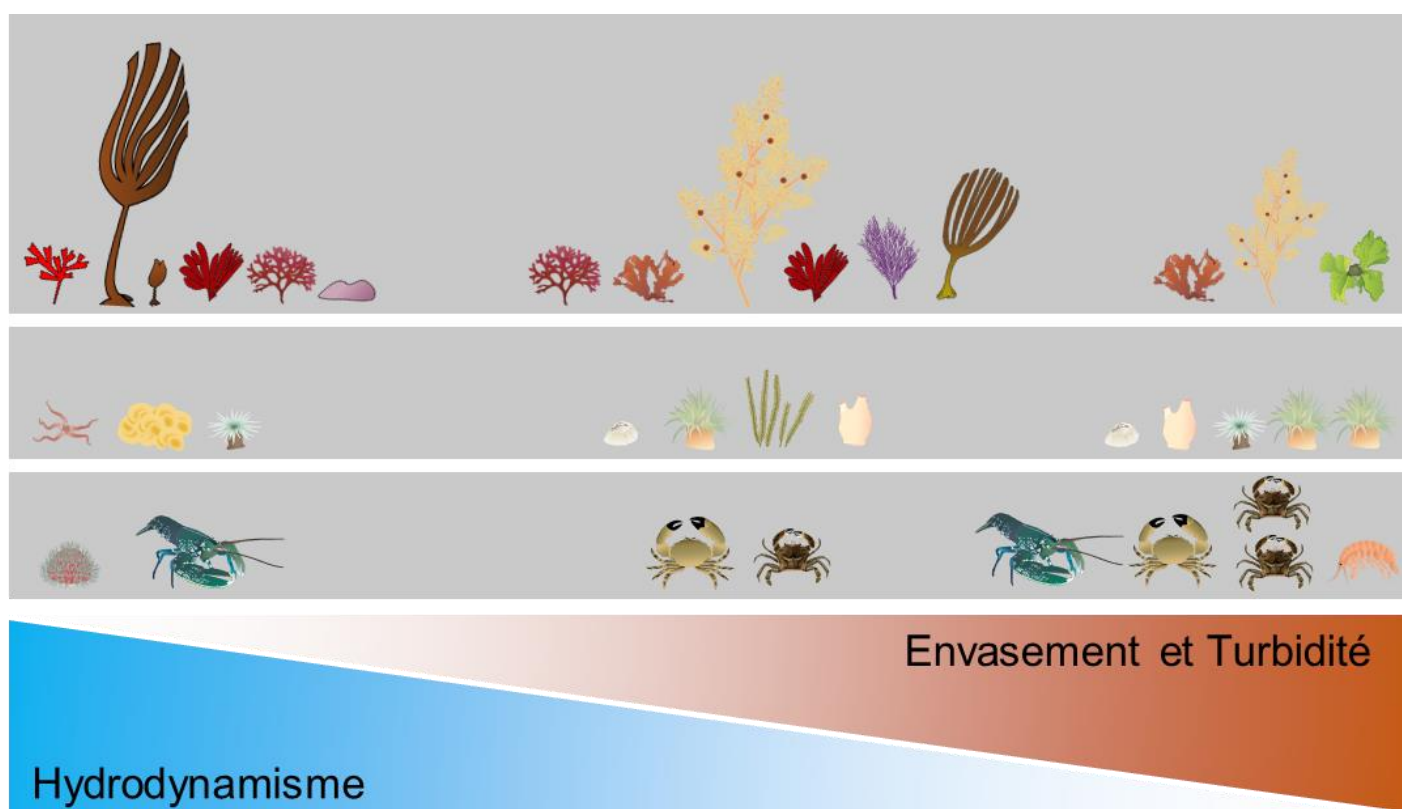


Figure 33 : Modèle conceptuel d'après les contraintes abiotiques. Pictogrammes d'après <https://ian.umces.edu/symbols/> et Leclerc et al. (2021), les correspondances des espèces sont illustrées à la Figure 32 © T. de Bettignies.

² Sites d'immersion - MTES

³ Comité National des Pêches CNPMM

V – REMERCIEMENTS

Les Plongeurs Naturalistes de Normandie tiennent à remercier Jessica Lambert (Chargée de mission Mer et Littoral, du Service Ressources Naturelles) de la DREAL Normandie ainsi que Gwenola de Roton (Chargée de mission Patrimoine naturel : habitats marins et fonctionnalités et Référente sur la baie de Seine orientale) et Sophie Poncet (Chargée de mission Patrimoine naturel : oiseaux et mammifères marins et Référente sur la baie de Seine occidentale et le nord Cotentin) de l'OFB pour leur confiance et leur soutien. Nous remercions également Héloïse Benoit (Chargée de mission « politiques environnementales » du Bureau Gouvernance - planification du développement des espaces maritimes - environnement marin) de la PREMAR de la Manche et de la mer du Nord pour avoir facilité les demandes d'autorisation des moyens nautiques engagés. Enfin, nous remercions tout particulièrement l'UMS PatriNat qui s'est engagé activement à nos côtés pour rendre ce travail collaboratif possible.

V – BIBLIOGRAPHIE

- Anderson MJ & Robinson J (2003) Generalized discriminant analysis based on distances. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 45 : 301–318.
- Anderson MJ, Gorley RN & Clarke KR (2008) PERMANOVA for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth, 214 p.
- Bay-Nouailhat A & Bay-Nouailhat W (2020) Guide des Tuniciers de l'Europe de l'Ouest: Atlantique & Méditerranée. M&L Editions, 240 p.
- Bellan-Santini D (1980) Relationship between populations of amphipods and pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 11(8) : 224–227.
- Bray JR & Curtis JT (1957) An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27 : 325–349.
- Britton-Simmons KH (2004) Direct and indirect effects of the introduced alga *Sargassum muticum* on benthic, subtidal communities of Washington State, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 277 : 61–78.
- Bruy C, Bertonecello D, Dani V & Lamare V (2020) in : DORIS, 11/11/2020 : *Anemonia viridis* (Forskål, 1775), <https://doris.ffesm.fr/ref/specie/111>
- Bunker F, Maggs CA, Brodie JA & Bunker AR (2017) Seaweeds of Britain and Ireland. 2nd Edition. Wild Nature Press, 312 p.
- Cabioc'h J, Floch J-Y, Le Toquin A, Boudouresque C-F, Meinesz A & Verlaque M (2014) Guide des algues des mers d'Europe. Manche/Atlantique et Méditerranée. Ed. Delachaux et Niestlé, 272 p.
- Clarke KR & Gorley RN (2006) PRIMER v6: User manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, 192 p.
- Clarke KR & Warwick RM (2001) Change in marine communities, 2nd edition. PRIMER-E Ltd, Plymouth, 176 p.
- Cosson J & Duglet A (1974) Baie des Veys – Etude algologique des roches de Grandcamp, Université de Caen – Laboratoire de Zoologie, Caen. Contrat CNEXO 72/613.
- Cosson J, Duglet A & Billard C (1977) Sur la végétation algale de l'étage littoral dans la région de Saint-Vaast-la-Hougue et la présence d'une espèce japonaise nouvelle pour les côtes françaises : *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt (Phaeophycées, Fucales). *Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie*, 105 : 109–116.

- Cosson J (1999) Sur la disparition progressive de *Laminaria digitata* sur les côtes du Calvados (France). *Cryptogamie algologie*, 20(1) : 35–42.
- de Bettignies T, Hébert C, Assis J, Bartsch I, Bekkby T, Dahl K, Derrien S, Filbee-Dexter K, Franco J, Hartvig C, Hennicke J, Hernández S, Le Gall L, Martinez B, Mieszkowska N, Moore P, Moy F, Mueller M, Norderhaug K M., Robuchon M, Serrão E, Smale D, Steen H, Tempera T, Tuya F, Valero M, Werner T & La Rivière M (2021) Case report for kelp forest habitat. OSPAR Committee, 37 p.
- Debout (2020) Grand cormoran : bilan de l'enquête 2019 sur des colonies témoins de la sous-région marine. Rapport Groupe ornithologique normand (GONm) pour l'Observatoire des oiseaux marins et côtiers de la sous-région marine Manche – Mer du Nord, 7 p.
- Debout G & Purenne R (2010) Nesting of Northern Gannet *Morus bassanus* at Saint-Marcouf (Manche) reserve (north-western France). *Alanda*, 78(4) : 321–328.
- de Roton G, Poncet S, Hubert A (2015) Présentation au groupe de travail « Patrimoine naturel » - Ridens et dunes hydrauliques du détroit du Pas-de-Calais (SIC/ZSC) Récifs Gris Nez – Blanc Nez (SIC/ZSC) Cap Gris Nez (ZPS). Communauté d'Agglomération du Boulonnais, 60 p.
- Derrien-Courtel S, Le Gal A & Grall J (2013) Regional-scale analysis of subtidal rocky shore community. *Helgoland Marine Research*, 67(4) : 697–712.
- DOCOB (2016) Document d'objectifs Natura 2000, Baie de Seine occidentale (FR2502020, FR2510047), Tome 3 : Objectifs et mesures de gestion - Charte Natura 2000. Agence française pour la Biodiversité, Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement région Normandie, 110 p.
- DREAL de Basse-Normandie (2013) Iles Saint-Marcouf et domaine public maritime, 3 p.
- Dupré C & Le Granché P (2021) in : DORIS, 03/01/2021 : *Laminaria hyperborea* (Gunnerus) Foslie, <https://doris.ffessm.fr/ref/specie/1295>
- Kohler KE & Gill SM (2006) Coral point count with excel extensions (CPCe): a visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, 32(9) : 1259–1269.
- In Vivo (2013) Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux sur la zone Baie de Seine Occidentale (FR2502020) du lot Natura 2000 en mer « BAIE DE SEINE ». Rapport définitif, 136 p.
- In Vivo (2015) Evaluation des interactions sur l'environnement des mesures prévues par les projets de schémas des structures des exploitations de cultures marines de la Manche, du Calvados, de la Seine-Maritime, de la Somme, du Pas-de-Calais et du Nord. Rapport définitif, 200 p.
- Labadie F & Trebaul E (2014) Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux sur le secteur d'étude du Parc Naturel Marin "Estuaires picards et Mer d'Opale". Rapport définitif In Vivo (Janvier 2014), 192 p.
- Leballeur L, Latteux B & Girard F (2013) Synthèse de l'étude 2009 – Analyse des impacts hydrosédimentaire du projet de parc éolien en mer en baie de Seine. Rapport définitif MOC N° 0732 Eoliennes Offshore du Calvados, 45 p.
- Leclerc J-C, de Bettignies T, de Bettignies F, Christie H, Franco J, Leroux C, Davoult D, Pedersen MF, Filbee-Dexter K & Wernberg T (2021 – sous presse). Local flexibility in feeding behaviour and contrasting microhabitat use of an omnivore across latitudes. *Oecologia*.

- Le Gal A & Derrien-Courtel S (2015) Quality Index of Subtidal Macroalgae (QISubMac) : a suitable tool for ecological quality status assessment under the scope of the European Water Framework Directive. *Marine pollution bulletin*, 101(1) : 334–348.
- Le Granché P, Breton G, Damerval M & Picot L (2012) Étude des habitats naturels marins des zones tidale et subtidale des Iles Saint-Marcouf. Convention Natura 2000 – DREAL de Basse-Normandie. Rapport des Plongeurs Naturalistes de Normandie, 60 p.
- Le Granché P, André F & Rochefort G (2018) Spongiaires de France – Les carnets du plongeur. Edition Neptune Plongée, 256 p.
- Lemesle S (2015) Bioindicateurs du milieu marin : utilisation des macroalgues comme outil d'évaluation de la qualité biologique des eaux marines - Réponse à une problématique d'échouages d'algues. Thèse de Doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, 390 p.
- Lévêque L, Leclerc J-C, Taormina B, Broudin C, Houbin C, Camusat M, Fontana Y, Thomas W, Le Gall L, Viard F & Thiébaud E (2017) Inventaire et caractérisation des communautés benthiques du plateau de la Méloine (Finistère nord). Rapport de la Station Biologique de Roscoff, CNRS - UPMC. Convention AAMP/14/069 (avenant 1), 116 p.
- Michez N, Thiébaud E, Dubois S, Le Gall L, Dauvin J-C, Andersen A, Baffreau A, Bajjouk T, Blanchet H, de Bettignies T, de Casamajor M-N, Derrien-Courtel S, Houbin C, Janson A-L, Rivière M, Lévêque L, Menot L, Sauriau P-G, Simon N & Viard F (2019) Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique. Version 3. UMS PatriNat, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 52 p.
- Müller Y & Noël P (2020) in : DORIS, 16/11/2020 : *Jassa falcata* / *berdmani* / *marmorata* (Montagu, 1808) / (Walker, 1893) / Holmes, 1905, <https://doris.ffessm.fr/ref/specie/4437>
- Pearson TH & Rosenberg R (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 16 : 229–311.
- Sordello R, Bertheau Y, Coulon A, Jeusset A, Ouédraogo DY, Vanpeene S, Vargac M, Villemey A, Witté I, Reyjol Y & Touroult J (2019) Les protocoles expérimentaux en écologie. Principaux points clefs. UMS PatriNat, CESCO, IRSTEA, 32 p.
- Thouin F, Cosson J & Gayral P (1983) Cartographie et étude des populations de laminaires de Basse-Normandie. Rapport Région de Basse-Normandie, 59 p.
- Toison (2013) Document d'objectifs Natura 2000, Baie de Seine Occidentale (FR2502020, FR2510047), Tome1: Etat des lieux du patrimoine naturel. Agence française pour la Biodiversité, Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement région Normandie, 123 p.
- Tourenne M, André F & Maran V (2021) in : DORIS, 25/01/2021 : *Spirobranchus triqueter* / *lamarcki* (Linnaeus, 1758) / (Quatrefages, 1866), <https://doris.ffessm.fr/ref/specie/2775>
- Underwood AJ (1994) On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications*, 4(1) : 3–15.
- Ward DF & Larivière M-C (2004) Terrestrial invertebrate surveys and rapid biodiversity assessment in New Zealand: lessons from Australia. *New Zealand Journal of Ecology*, 28 : 151–159.
- Wood C (2013). Sea anemones and corals of Britain and Ireland. 2nd Edition. Wild Nature Press, 160 p.

Zammite (2020) Analyse des quadrats photos (identification taxonomique et évaluation écologique) suite à la désignation d'une Zone de Protection Forte aux îles St Marcouf. Rapport de stage de 4ième année d'École d'Ingénieurs ENSIL-ENSCI, 43 p.

Annexe 1 : IVTL – Atl. de départ avec modifications à Saint-Marcouf

Fiche de recueil espèces sessiles (faune) – corrections en rouge (ajout et élimination). T : Transect © T. de Bettignies.

		TAXA	T1	T2	T3
ARBUSTIVE		Adreus fascicularis (corne de cerf)			
		Axinella damicornis (palmée, jaune-orangé)			
		Axinella dissimilis (axinelle étoilée)			
		Haliclona oculata (chaline oculée)			
		Homaxinella subdola (axinelle tortueuse)			
		Raspailia hispida (rameuse hispide)			
		Raspailia ramosa (rameau de chocolat)			
		Steligera montagui (étoilée, pale-poilue-gluante)			
EPONGES COMMON		Amphilectus fucorum (mousse de carotte)			
		Cliona celata (Clione jaune)			
		Dysidea fragilis (miette de pain)			
		Haliclona simulans (tube de fer)			
		Haliclona (viscosa) massive (cheminée rose)			
		Hemimycalle columella (éponge à cratère)			
		Pachymatisma johnstonia (fesse d'éléphant)			
		Polymastia boletiformis (mamelle jaune)			
		Polymastia penicillus (éponge languette)			
		Tethya citrina (orange de mer)			
		Axinella infundibuliformis (entonnoir)			
		Suberites ficus (figue)			
		Suberites massa (massive)			
ENCR.		Sycon ciliatum (petit œuf)			
BRYOZOAIRES		Haliclona cinerea (chaline cendrée)			
		Terpios gelatinosa (bleue)			
		Microcionidae/Mycalidae (revêtante)			
		Phorbas plumosus (Phorbas velouté)			
BRYOZOAIRES		Alcyonidium diaphanum (Doigts de feu)			
		Cellaria (Cellaire)			
		Chartella papyracea (Petite flustre)			
		Flustra foliacea (Grande flustre)			
		Omalosecosa ramulosa (petites cornes de cerf)			
		Pentapora fascialis (Rose de mer)			
		Vesicularia spinosa (Vésiculaire épineux)			
		Bugula spp. (bugules)			
		Schizomavella sarniensis (Schizomavelle)			

		TAXA	T1	T2	T3		
HYD.		Gymnangium montagui (Plume d'or)					
		Nemertesia spp (Hydraire antenne)					
CNIDAIRES ANEMONE		Cerianthus membranaceus (Grand cériante)					
		Actinothoe sphyrodeta (Marguerite de mer)					
		Aiptasia mutabilis (Anémone trompette)					
		Anemonia viridis (Anémone commune)					
		Metridium dianthus (Œillet de mer)					
		Urticina felina (Dahlia de mer)					
		Cereus pedunculatus (solaire)					
		Cylista elegans (élégante)					
		Parazoanthus axinellae (Mimosa de mer)					
		SCL.		Corynactis viridis (Anémone-bijou)			
Caryophyllidae spp. (Dent de chien)							
Leptopsammia pruvoti (Corail jaune solitaire)							
ALC.		Alcyonium rose (hibernicum, coralloïdes)					
		Alcyonium digitatum (Alcyon jaune)					
		Alcyonium glomeratum (Alcyon rouge)					
		Eunicella verrucosa (Gorgone verruqueuse)					
PHYL		TAXON	T1	T2	T3		
ASCIDIÉS SOCIALE		Botryllus schlosseri (botryle étoilé)					
		Polyclinidés (en massue)					
		Polysyncraton lacazei (Synascidie rouge)					
		Didemnidés					
		Diazona violacea (bouquet de claveline)					
		Stolonica socialis (Mirabelle de mer)					
		Dendrodoa grossularia (Groseille de mer)					
		Clavelina lepadiformis (Grande claveline)					
		SOL.		Ascidia mentula (ascidie rose)			
				Phallusia mammillata (Ascidie mamellonnée)			
Styela clava (Ascidie plissée/japonaise)							

		TAXA	T1	T2	T3		
ALGUES BRUNE		Alaria esculenta (Wakamé irlandais)					
		Cystoseira spp					
		Desmarestia dudresnayi					
		Desmarestia ligulata					
		Dictyopteris polypodioides (Fougère de mer)					
		Haliidrys siliquosa (Queue de poulain)					
		Laminaria digitata (Laminaire digitée)					
		Laminaria hyperborea (Laminaire rugueuse)					
		Laminaria ochroleuca (Laminaire jaune)					
		Padina pavonica (Padine queue de paon)					
		Saccharina latissima (Laminaire sucrée)					
		Saccorhiza polyschides (Laminaire à bulbe)					
		Sargassum muticum (Sargasse japonaise)					
		Undaria pinnatifida (Wakamé)					
		ROUGE		ARC encroûtantes			
				ARC gazonnantes			
Delesseria sanguinea (feuille de chataigner)							
Dilsea carnosa (steak de mer)							
		Asparagopsis armata (Algue à crochet)					
VERT		Ulva spp.					
		Codium spp.					
		Diatom filamenteuse					
ANNEI		Spirobranchus (triqueter-Serpule triangulaire)					
		Bispira volutacornis (Bispire)					
		Sabella spallanzanii (Spirographe)					
MOL.		Ostrea edulis (Huître plate)					
		Mytilus edulis (Moule)					
		Mimachlamys varia (Pétoncle noir)					
CRU		Perforatus perforatus (Grande balane grise)					
		Balanus crenatus (crénélée)					
E.		Cucumaridés (Lèche doigts)					
		Antedon bifida (Comatule)					

Annexe 2 – Transect Macrofaune vagile

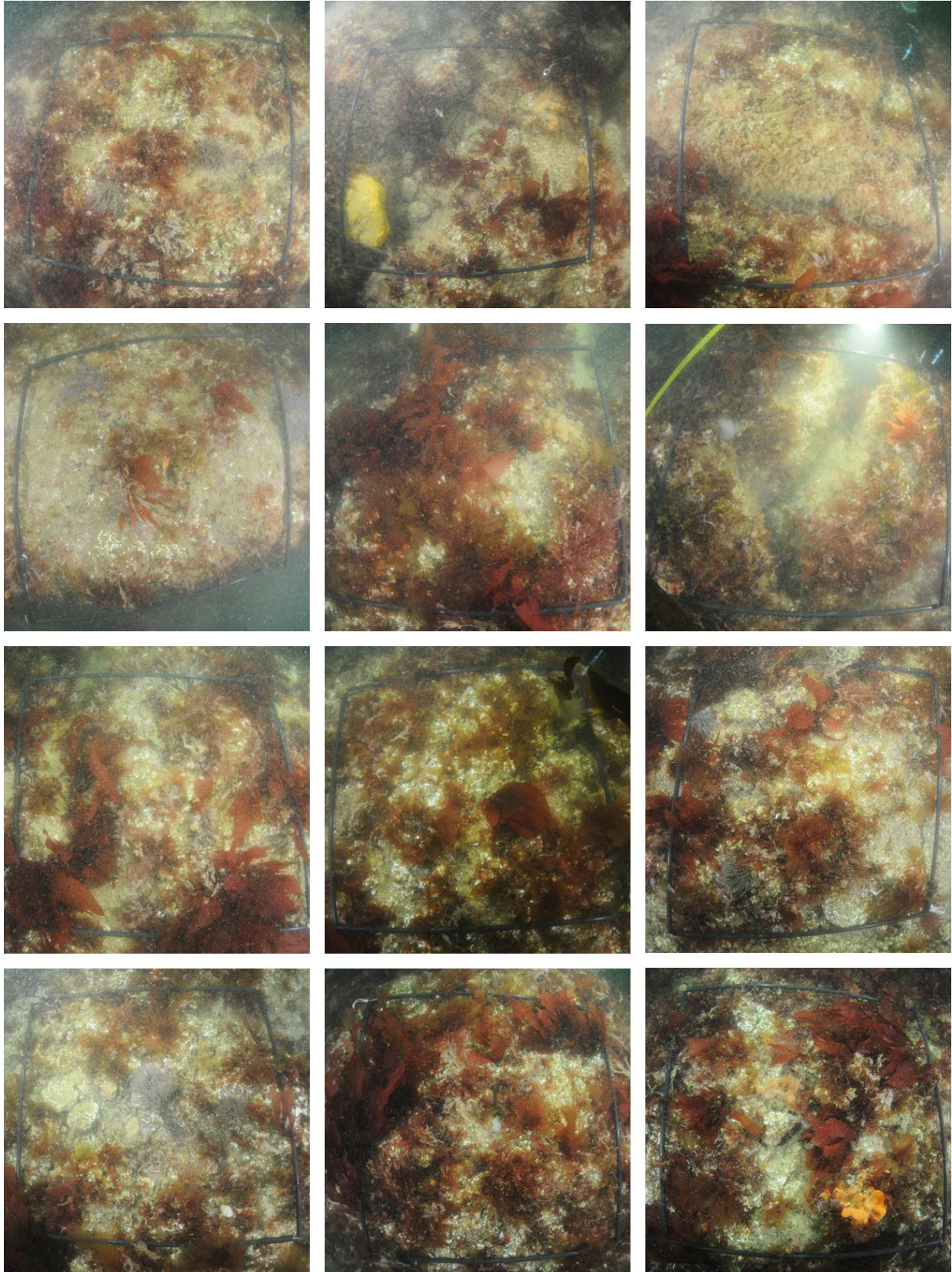
Fiche de recueil espèces vagiles. T : Transect © L. Lévêque.

Site / Prof (m) :	Obs :	Date :	HH :MM:			
T1 :	T1 :	T1 :	T1 :			
T2 :	T2 :	T2 :	T2 :			
T3 :	T3 :	T3 :	T3 :			
T4 :	T4 :	T4 :	T4 :			
T5 :	T5 :	T5 :	T5 :			
T6 :	T6 :	T6 :	T6 :			
2 (6-10) ; 3 (11-30) ; 4 (31-50) ; 5 (>50)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>Asterias rubens</i> Etoile de mer commune						
<i>Marthasterias glacialis</i> Etoile de mer glacière						
<i>Echinaster sepositus</i> Etoile de mer rouge						
<i>Henricia sp.</i> Etoile de mer, autre						
<i>Echinus esculentus</i> Oursin globuleux/comestible						
<i>Psammechinus miliaris</i> Oursin vert						
<i>Holothuria sp.</i> Holoturie						
<i>Haliotis tuberculata</i> Hormeau						
<i>Hommarus gammarus</i> Homard						
<i>Palinurus vulgaris</i> Langouste						
<i>Maja squinado</i> Araignée						
<i>Cancer Pagurus</i> Tourteau						
<i>Necora puber</i> Etrille						
<i>Galathea spp.</i> Galathée						

Protocole (fortement) inspiré de Patte, Lévêque et Davout 2017 SAINT MARCOUF 2020 ; IVTL Megafaune 03/07/2020

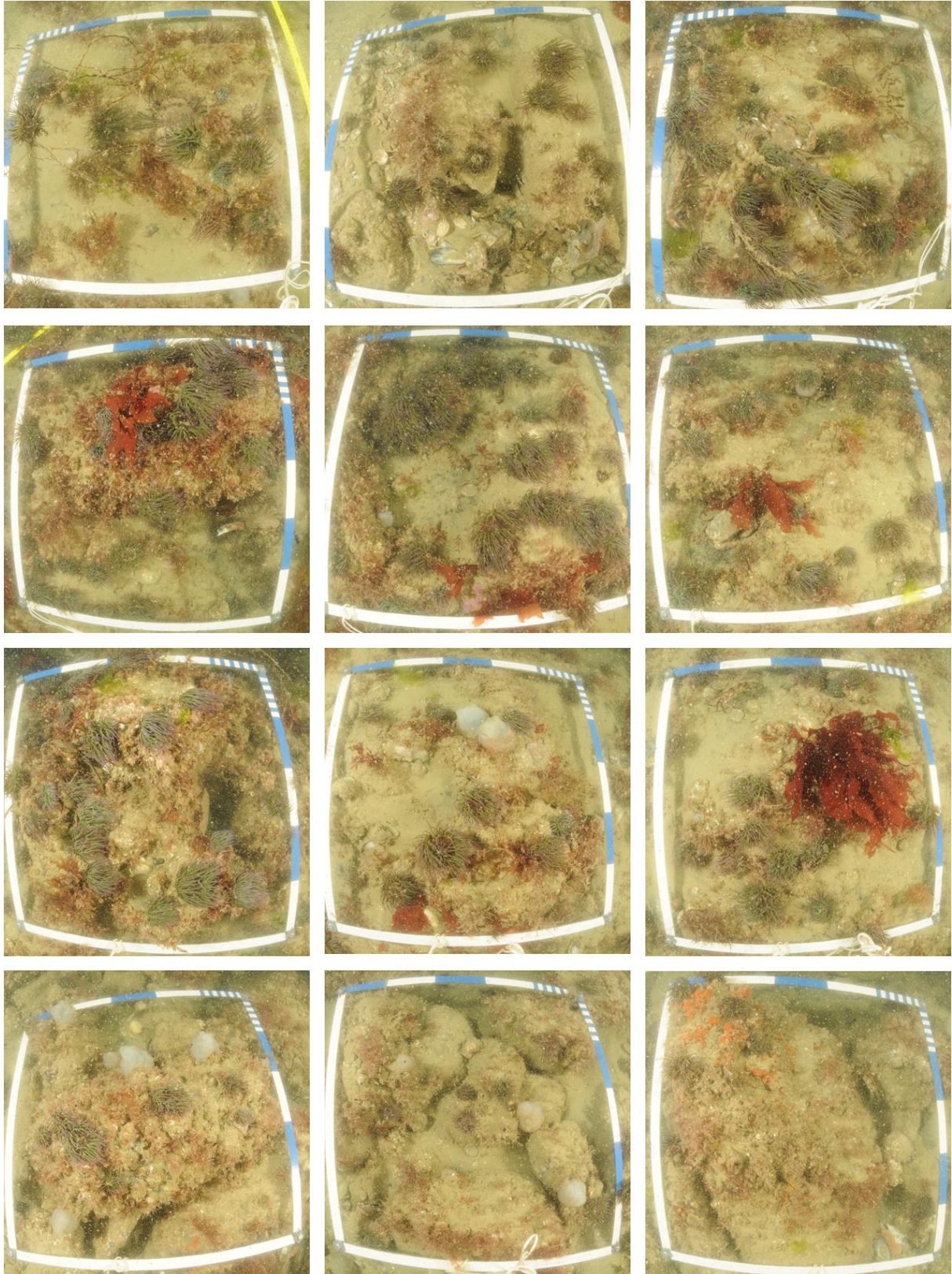
Annexe 3 – Photo-Quadrats par site

1. Roche Dranguet © M. Mansais.



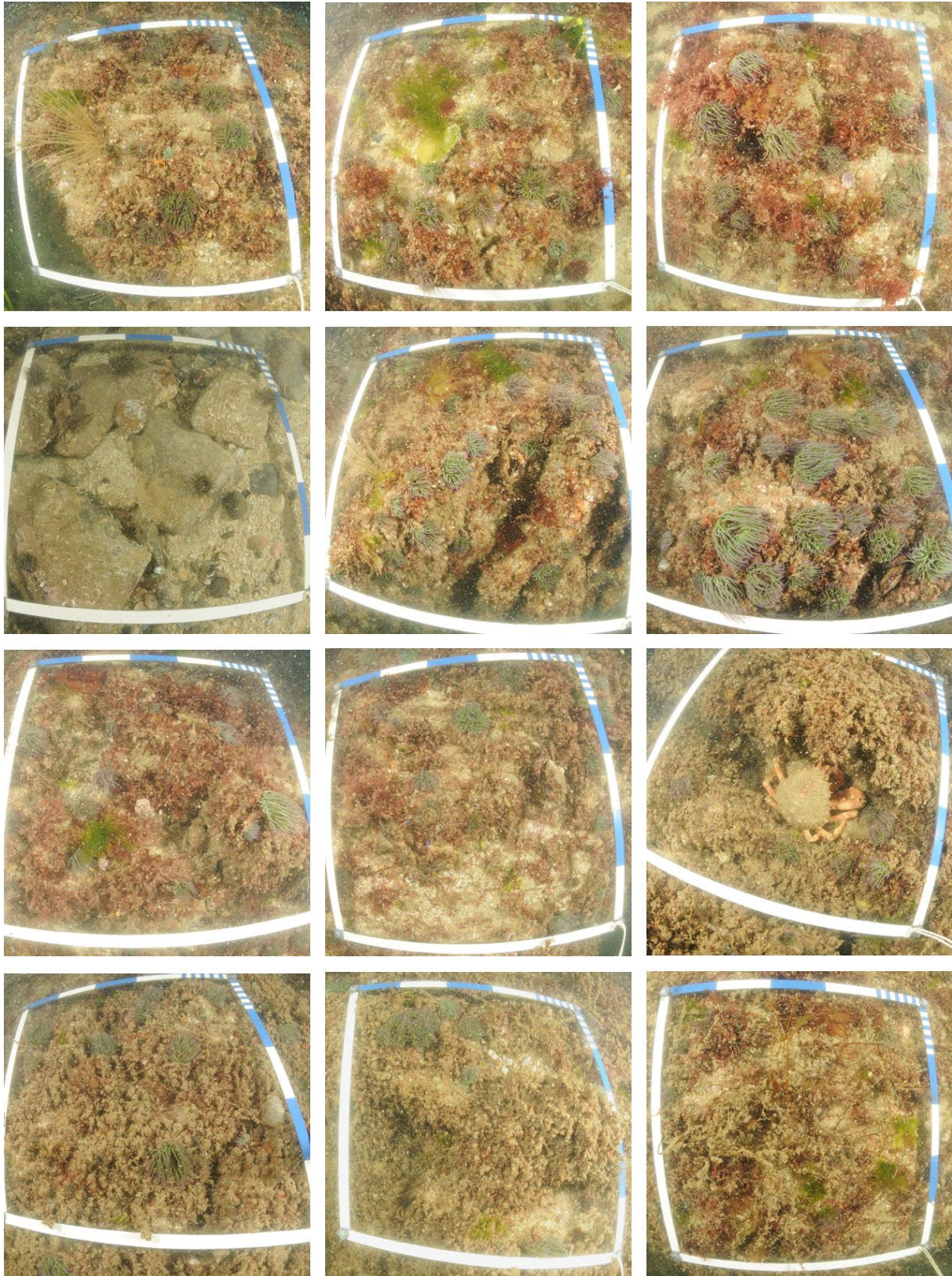
Annexe 3 (suite) – Photo-Quadrats par site

2. Fosse à Canons (Ile du Large) © M. Mansais.



Annexe 3 (suite) – Photo-Quadrats par site

3. Canyons (Ile du Large) © M. Mansais.



Annexe 3 (suite) – Photo-Quadrats par site

4. NO Ile de Terre (Ile de Terre) © M. Mansais.



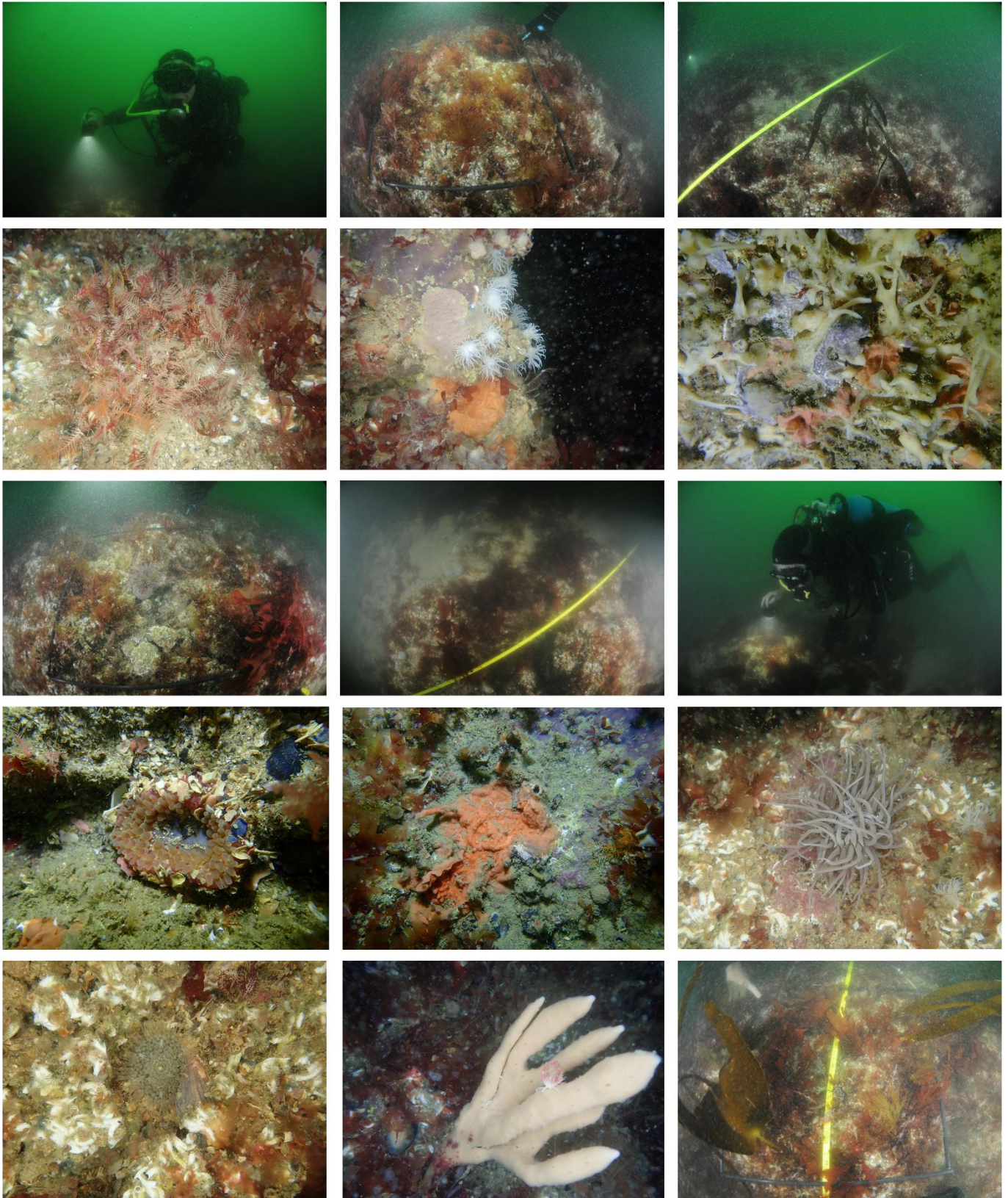
Annexe 3 (suite) – Photo-Quadrats par site

5. Fosse Daniel (Ile de Terre) © M. Mansais.



Annexe 4 – Compléments de photographies par site

1. Roche Dranguet © M. Mansais, F. Sichel, T. de Bettignies.



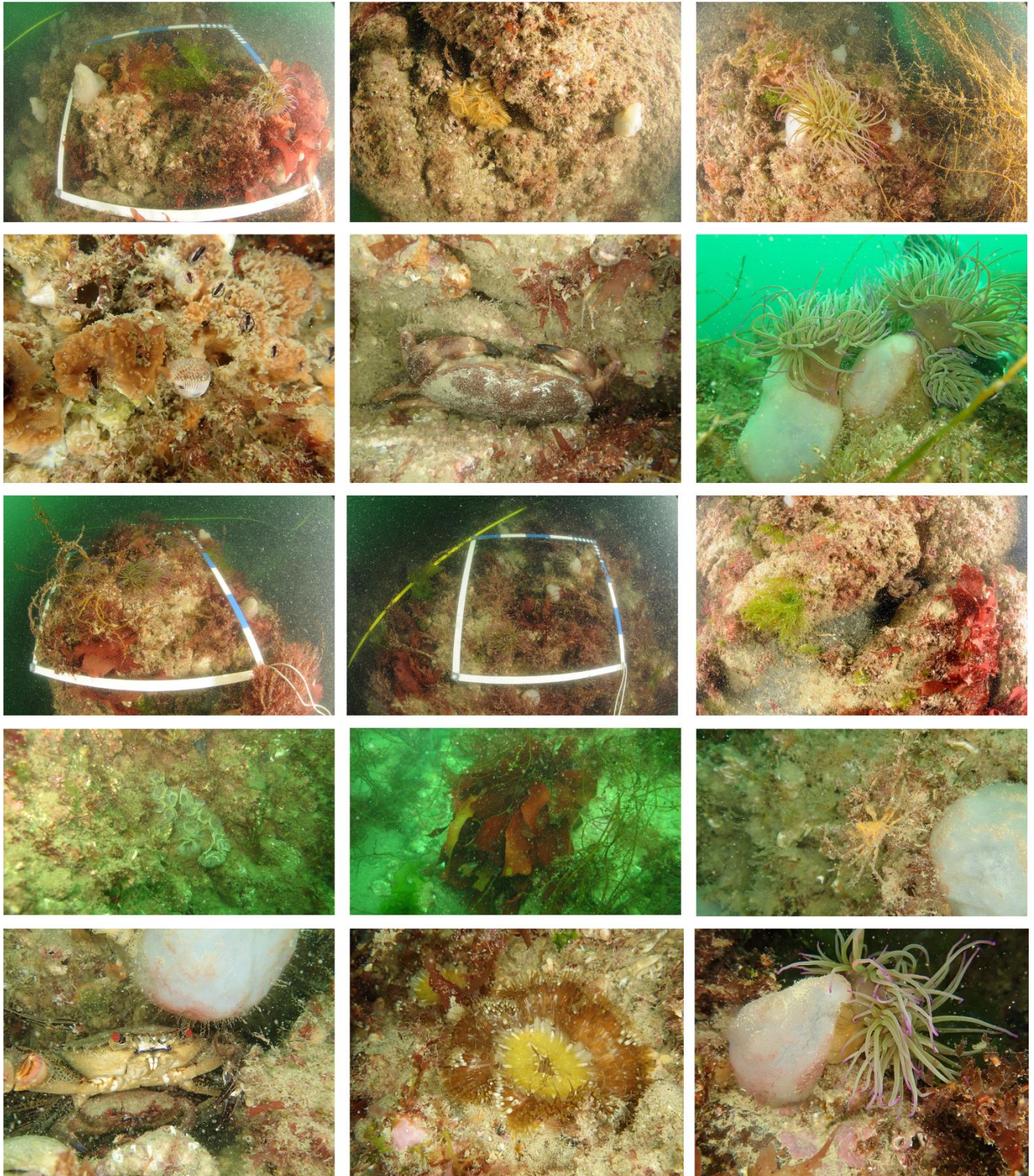
Annexe 4 (suite) – Compléments de photographies par site

3. Canyons (Ile du Large) © M. Mansais, N. Bunel, T. de Bettignies.



Annexe 4 (suite) – Compléments de photographies par site

4. NO Ile de Terre (Ile de Terre) © M. Mansais, N. Bunel, P. Le Granché.



Annexe 4 (suite) – Compléments de photographies par site

5. Fosse Daniel (Ile de Terre) © M. Mansais, N. Bunel, P. Le Granché, T. de Bettignies.

