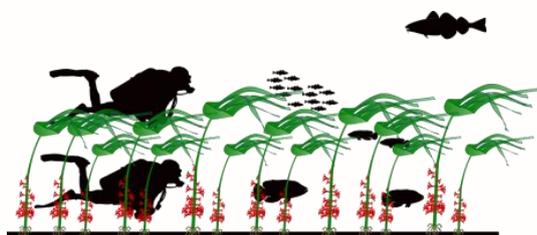


SLAMIR Volet Poisson

Développement d'un suivi en plongée sous-marine
des peuplements de poissons dans les champs de
laminaires du Parc Naturel Marin d'Iroise



Anaïs REY^{1,2,3}, Nina PRASIL DELAVAL¹, Olivier GAUTHIER²,
Anna LE JONCOUR¹, Quentin TERNON³ et Pierre THIRIET¹

¹ PatriNat, ² UMR LEMAR, ³ MNHN-Dinard
en partenariat avec le Parc Naturel Marin d'Iroise

Mai 2022



LEMAR

PatriNat

Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel

Un service commun de
l'Office français de la biodiversité,
du Centre national de la recherche scientifique
et du Muséum national d'Histoire naturelle



Nom du Projet : Suivi LAMinaires dans le parc naturel marin d'Iroise (SLAMIR)

Convention : OFB et MNHN (PatriNat et Station Marine de Dinard)

Chef de projet : Pierre Thiriet

Chargée de mission : Anaïs Rey

Référence du rapport conseillée : Rey A., Prasil Delaval N., Gauthier O., Le Joncour A., Ternon Q. et Thiriet P., 2022. SLAMIR Volet Poisson : Développement d'un suivi en plongée sous-marine des peuplements de poissons dans les champs de laminaires du Parc Naturel Marin d'Iroise. Rapport PatriNat, 47 pages

PatriNat

Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel



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

Son objectif est de fournir une expertise fondée, d'une part, sur la collecte et l'analyse de données de la biodiversité marine et terrestre et de la géodiversité présentes sur le territoire français, en métropole comme en outre-mer, et, d'autre part, 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

Co-directeurs :

Laurent PONCET et Julien TOUROULT

Inventaire national du patrimoine naturel



Porté par PatriNat, cet inventaire est l'aboutissement d'une démarche qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature, en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France. Les données fournies par les partenaires sont organisées, gérées, validées et diffusées par le MNHN. L'INPN est un dispositif clé du Système d'information de l'inventaire du patrimoine naturel (SINP) et de l'Observatoire national de la biodiversité (ONB).

Afin de gérer cette importante source d'informations, le MNHN a construit une base de données permettant d'unifier les données à l'aide de référentiels taxonomiques, géographiques et administratifs. Il est ainsi possible d'accéder à des listes d'espèces par commune, par espace protégé ou par maille de 10x10 km. Grâce à ces systèmes de référence, il est possible de produire des synthèses, quelle que soit la source d'information.

Ce système d'information permet de consolider des informations qui étaient jusqu'à présent dispersées. Il concerne la métropole et l'outre-mer, aussi bien sur la partie terrestre que marine. C'est une contribution majeure pour la connaissance naturaliste, l'expertise, la recherche en macroécologie et l'élaboration de stratégies de conservation efficaces du patrimoine naturel.

En savoir plus : inpn.mnhn.fr

Sommaire

1	Introduction.....	6
1.1	Objectifs du projet SLAMIR	6
1.2	Contexte : POCOROCH et la DCSMM	7
1.3	Objectifs et déroulé du projet SLAMIR.....	10
2	Matériel et méthodes.....	11
2.1	Les protocoles de comptages POCOROCH	11
2.1.1	Les différentes versions du protocole comptage transect mis en œuvre par PatriNat	12
2.1.2	Détails du protocole « comptage-transect » stabilisé.....	15
2.1.3	Stratégie d'échantillonnage intra-site avec le protocole « comptage-transect ».....	16
2.1.4	Présentation du protocole comptage-temps mis en œuvre par les membres du réseau	17
2.1.5	Synthèse des différentes versions des protocoles	18
2.2	Stratégie d'échantillonnage SLAMIR	20
2.2.1	Topographie du paysage et hypothèses sous-jacentes.....	20
2.2.2	Périodes et sites d'échantillonnage.....	21
2.3	Données Poissons retenues pour les analyses SLAMIR.....	23
2.3.1	Bilan des données de comptages visuels à disposition.....	23
2.3.2	Sélection des sites et années à analyser	25
2.3.3	Pré-traitement des données de comptage	25
2.4	Caractérisation environnementale des sites et dates d'échantillonnage	26
2.4.1	Variables environnementales du substrat et de la colonne d'eau.....	26
2.4.2	Données d'exploitation des champs de laminaire	27
3	Résultats et Discussions	28
3.1	Caractérisation environnementale des sites et dates.....	28
3.1.1	Substrat et colonne d'eau	28
3.1.2	L'exploitation à <i>Laminaria hyperborea</i>	30
3.2	Validation des protocoles Temps et Transect	32
3.2.1	Complémentarité des deux protocoles.....	32
3.2.2	Retour sur l'utilité des rôles Haut et Bas des plongeurs	37
3.3	Structure et variabilité du peuplement de poisson associé aux champs de laminaires	39
3.4	Effet potentiel de l'exploitation goémonière de <i>Laminaria hyperborea</i>	45

4	Conclusions et perspectives	48
4.1	Efficacité et complémentarité des protocoles de comptage Transect et Temps	48
4.2	Structure des peuplements de poissons dans les champs de laminaires du PNMI	50
4.3	Evaluation de l'impact potentiel de l'exploitation de <i>L. hyperborea</i> sur les peuplements de poissons.....	51
4.4	Perspectives d'amélioration et de complément de protocoles	51
5	Références.....	53

1 Introduction

1.1 Objectifs du projet SLAMIR

Le projet SLAMIR (Suivi LAMinaire dans le parc naturel marin d'Iroise) est porté par l'OFB – Parc Naturel Marin d'Iroise (PNMI). Dans le contexte du réseau POCOROCH, PatriNat intervient en tant que partenaire scientifique pour le volet poisson du projet SLAMIR. Le projet vise à **apporter des éléments de réponse** à deux principaux questionnements :

- Quelle est la fonctionnalité des champs de *Laminaria hyperborea* ?
- Quel est l'impact du système de gestion mis en place depuis 2015 pour l'exploitation de *L. hyperborea* ?

Il a pour but de récolter des informations sur le maintien des fonctionnalités des grands champs d'algues brunes soumis à l'exploitation de *Laminaria hyperborea*. Le projet s'appuie sur quatre types de suivis réalisés à la fois dans les zones exploitées et dans celles qui ne le sont pas :

- Un **suivi de la biomasse exploitable**, réalisé par l'Ifremer, permet de comparer la dynamique de population, la croissance, la mortalité et le recrutement entre une zone exploitée ou non.
- Un **suivi de la biodiversité associée aux algues**, réalisé par la station de Concarneau du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN). Il contribue à déterminer l'état de conservation du champ de laminaires et son bon état écologique.
- Un **suivi des réseaux trophiques** (ou des chaînes alimentaires) des champs de laminaires, réalisé par la Station biologique de Roscoff, permet de mesurer les changements de fonctionnement de l'écosystème et d'identifier les espèces de la chaîne alimentaire des forêts de laminaires.
- Un **suivi des peuplements de poissons**, encadré par PatriNat. Ce suivi en plongée sous-marine vise à décrire les différents poissons observés et évaluer leur densité.

Plus précisément, l'objectif du volet poisson du projet SLAMIR est d'évaluer la faisabilité pour le PNMI de mettre en œuvre un programme de suivi à long terme des fonctionnalités ichthyologiques des champs de laminaires et des potentiels impacts de l'exploitation goémonière sur ces fonctionnalités. Le projet vise donc à développer une méthode d'échantillonnage adaptée à ces objectifs de connaissances et gestion du PNMI, et compatible avec les moyens logistiques et humains du PNMI, notamment :

- Le protocole d'échantillonnage doit concilier précision des informations collectées et mise en œuvre possible par les agents du PNMI en autonomie après un temps de formation raisonnable.
- La stratégie d'échantillonnage (nombre de sites, nombre de saisons) doit impliquer un effort d'échantillonnage total compatible avec les moyens logistiques, humains et financiers du PNMI, tout en permettant de collecter suffisamment de données pour pouvoir répondre aux objectifs du suivi.

D'autre part, l'objectif de mutualisation local/global du réseau POCOROCH apporte une seconde paire de contraintes :

- Tant que possible, cette méthode d'échantillonnage (protocole + stratégie) doit concilier les besoins et contraintes du PNMI, avec les besoins et contraintes des autres membres du réseau, afin d'avoir une méthode standardisée, ou au moins inter-opérable.
- Tant que possible, ces données collectées par les membres du réseau doivent permettre de contribuer significativement à la collecte des données nécessaires à l'Evaluation DCSMM.

1.2 Contexte : POCOROCH et la DCSMM

Depuis 2016, PatriNat travaille au développement d'un protocole et d'un réseau de suivis en plongée (**POCOROCH**) en partenariat avec des structures scientifiques (MNHN-Dinard, CNRS Roscoff) et des Aires Marines Protégées (Réserve Naturelle des Sept-Iles, Parc Naturel Marin de la Mer d'Iroise).

Le **réseau POCOROCH** vise ainsi à fédérer les organismes de recherche et les organismes de gestion autour d'un double objectif :

- à l'échelle « locale », les données collectées par (et/ou pour) les différents membres du réseau doivent leur permettre de répondre à leurs besoins/objectifs spécifiques en termes d'acquisition de connaissances, d'observatoire, de problématiques de conservation, de gestion durable des ressources et espaces naturels. Ceci inclue notamment les AMPs dont les sites N2000 et les PNM.
- à l'échelle des façades maritimes (et au-delà), la mutualisation des données collectées par les différents membres du réseau doit permettre de répondre aux objectifs de surveillance et d'évaluation DCSMM (voir encadré 1) et DHFF (évaluer l'état écologique des poissons et les fonctionnalités ichtyologique des habitats à l'échelle des sous-régions marines et quantifier les effets néfastes des pressions anthropiques), ainsi que de contribuer à d'autres questions de recherche ou gestion plus globales.

Actuellement 4 partenaires en Manche Occidentale (en sous-région marine Mers Celtiques) partagent des enjeux communs d'acquisition de connaissances et/ou la gestion des écosystèmes côtiers des milieux rocheux (**Tableau 1**).

Encadré 1 : Définition des descripteurs (D) et critères (C) du Bon Etat Ecologique qui doivent être renseignés grâce aux données des programmes de surveillance Poissons et Céphalopodes.

Descripteur 1, Biodiversité : La diversité biologique est conservée. La qualité des habitats et leur nombre, ainsi que la distribution et l'abondance des espèces sont adaptées aux conditions physiographiques, géographiques et climatiques existantes. Le descripteur 1 s'évalue selon 5 critères qui doivent être renseignés pour chacune des 70 espèces de poissons et céphalopodes pré-listées.

- ❖ **D1C1 Mortalité par captures accidentelles** : Le taux de mortalité par espèce dû à des prises accessoires accidentelles est inférieur au niveau susceptible de constituer une menace pour l'espèce, de sorte que la viabilité à long terme de celle-ci est assurée.
- ❖ **D1C2 Abondance des populations de l'espèce** : Les pressions anthropiques n'ont pas d'effets néfastes sur l'abondance des populations des espèces concernées, de sorte que la viabilité à long terme de ces populations est garantie.
- ❖ **D1C3 Caractéristiques démographiques de la population de l'espèce** : les caractéristiques démographiques (structure par taille ou par âge, répartition par sexe, taux de fécondité, taux de survie, entre autres) des populations des espèces témoignent d'une population saine, qui n'est pas affectée par les pressions anthropiques.
- ❖ **D1C4 Distribution spatiale de l'espèce** : L'aire de répartition des espèces et leur schéma de répartition dans ladite aire, le cas échéant, est conforme aux conditions physiographiques, géographiques et climatiques dominantes.
- ❖ **D1C5 Extension et état des habitats propices aux espèces suivies** : L'habitat des espèces offre l'étendue et les conditions nécessaires pour permettre à celles-ci d'accomplir les différentes étapes de leur cycle

Descripteur 2, Espèces non-indigènes : Les espèces non indigènes introduites par le biais des activités humaines sont à des niveaux qui ne perturbent pas les écosystèmes.

- ❖ **D2C1 Nombre d'espèces non indigènes nouvellement introduites** : Le nombre d'espèces non indigènes nouvellement introduites dans le milieu naturel par le biais des activités humaines (par période d'évaluation de six ans et comptabilisé à partir de l'année de référence retenue pour l'évaluation initiale) est réduit au maximum et, si possible, ramené à zéro.
- ❖ **D2C2 Abondance et répartition spatiale des espèces non indigènes** : Les abondances et répartitions spatiales des espèces non indigènes établies, en particulier les espèces envahissantes, qui contribuent de manière notable aux effets néfastes sur certains groupes d'espèces ou grands types d'habitats.

Descripteur 4, Ecosystème et Réseaux trophiques :

- ❖ **D4C1 Diversité au sein des guildes trophiques** : La diversité (composition des espèces et abondance relative de celles-ci) de la guildes trophique n'est pas affectée par les pressions anthropiques.
- ❖ **D4C2 Equilibre de l'abondance totale entre les guildes trophiques** : L'équilibre de l'abondance totale entre les guildes trophiques n'est pas affecté par les pressions anthropiques.
- ❖ **D4C3 Distribution en taille des individus au sein des guildes trophiques** : La répartition par taille des individus au sein d'une guildes trophique n'est pas affectée par les pressions anthropiques.
- ❖ **D4C4 Productivité des guildes trophiques** : La productivité de la guildes trophique n'est pas affectée par les pressions anthropiques.

Tableau 1. Partenaires du réseau POCOROCH en Manche Occidentale.

Localité	Institut	Objectifs/Enjeux relatifs aux poissons de roche
Mer d'Iroise		<ul style="list-style-type: none"> Fonctionnalités des forêts de laminaires pour les poissons (ex. nourricerie, zone de reproduction...) Potentielles différences dans les structures de peuplement entre zones exploités et non exploités des laminaires (Projet SLAMIR)
Baie de Morlaix		<ul style="list-style-type: none"> Observatoire de la Biodiversité (RESOMAR) Observatoire génomique (ADNe) Relations Poissons-Benthos (Haporoch/Naturalg)
Trégor Sept-Îles		<ul style="list-style-type: none"> Peuplements de poissons des différents habitats exploités par les colonies d'oiseaux et mammifères Projet d'extension en mer de la réserve
Baie de Saint-Malo		<ul style="list-style-type: none"> Observatoire de la Biodiversité (RESOMAR) Méthode d'évaluation et hiérarchisation des valeurs fonctionnelles et patrimoniales des habitats

Des réflexions sont en cours/à mener courant 2022, avec les partenaires historiques et de potentiels nouveaux partenaires - les autres stations marines, les délégations de façade maritime de l'OFB, les gestionnaires d'AMPs, les maitres d'ouvrages de travaux maritimes etc. - en vue de pérenniser et étendre progressivement le réseau sur l'ensemble de la façade Atlantique-Manche-Mer du Nord. Partant du constat qu'un grand nombre d'AMPs (dont Natura 2000) seraient intéressées par un tel suivi mais ne disposeraient pas de moyens techniques et humains pour les assurer en propre (*i.e.* partenaire du réseau mais pas opérateur), nous étudions pour la mise en œuvre des suivis deux options complémentaires aux niveaux précisions des données et fréquences spatio-temporelles d'échantillonnage :

(1) un protocole expert mis en œuvre dans chacun des sites tous les deux ans (*via* une rotation de sites, à l'instar des suivis DCE-Roches subtidales), par des équipes d'opérateurs régionaux couvrant plusieurs sites partenaires, et

(2) un protocole simplifié mis en œuvre tous les ans, par des acteurs locaux tels que

(a) les partenaires institutionnels (AMPs, stations marines) et/ou

(b) un réseau de bénévoles (*e.g.* clubs de plongée, associations naturalistes).

1.3 Objectifs et déroulé du projet SLAMIR

Quatre ans de missions tests – 2018 à 2021 – ont visé à développer et optimiser une méthode de comptages visuels en plongée destinée au PNMI, aussi bien sur le protocole sous-marin que sur le plan d'échantillonnage (ex. nombres d'unités d'échantillonnage, de sites, de périodes d'échantillonnage). Ce développement méthodologique a été réalisé par cycles itératifs où chaque cycle (annuel) consiste en 4 étapes : (1) une version n de la méthode est enseignée aux agents du PNMI, (2) la méthode est mise en œuvre par les agents PNMI ; (3) les données ainsi récoltées sont analysées et la méthode n diagnostiquée, (4) une version n+1 de la méthode est mise au point.

En parallèle de ces développements et tests de la méthode de comptage-temps à destination des agents PNMI (et des autres partenaires POCOROCH), les agents PatriNat ont quant à eux utilisé la méthode comptage-transect, plus complète. Ceci afin de pouvoir apprécier les améliorations des modifications de la méthode comptage-temps simplifiée du PNMI, et afin de quantifier la quantité d'informations non échantillonnées par la méthode simplifiée, alors que pertinentes pour la gestion.

A l'issue de ces quatre ans de développement, nous pouvons émettre des propositions / recommandations de protocoles à mettre en œuvre en routine par les agents du PNMI en autonomie, pour le suivi des fonctionnalités ichtyologiques des champs de laminaires et les impacts de l'exploitation goémonière.

Le présent rapport synthétise ces travaux suivant 4 objectifs opérationnels :

Évaluer l'efficacité des protocoles de comptage (Transect et Temps) déployés dans le cadre d'un suivi des peuplements de poisson au sein du PNMI

Caractériser la structure du peuplement de poisson (diversité, abondance et spectre de taille) associé aux champs de laminaires à dominance de *L. hyperborea* du PNMI. Déduire les fonctionnalités associées

Évaluer l'impact potentiel de l'exploitation des champs de laminaires sur les peuplements de poissons

Proposer des améliorations et compléments de protocoles en vue d'établir un suivis long terme des poissons rocheux au sein du PNMI

2 Matériel et méthodes

2.1 Les protocoles de comptages POCOROCH

Avec l'ensemble des partenaires POCOROCH, nous avons collaboré dès 2016 aux développements et aux tests sur le terrain d'une première méthode d'échantillonnage de la structure des peuplements de poissons : les comptages visuels en plongée sous-marine le long de transects. Les résultats 2016 étaient satisfaisant (Thiriet, 2016) puisque les protocoles « transects » ont permis de déceler des effets de la canopée de laminaire, de la profondeur et de la topographie paysagère sur la structure des peuplements de poissons (diversité, abondance), ainsi que l'effet de la saison sur les densités et croissances des juvéniles (dont le lieu jaune).

Des différences notables entre observateurs « expérimentés » et « nouvellement formés » avaient été néanmoins décelées. En effet, bien que la compétence « *identification des espèces* » semble avoir été rapidement acquise par les agents « nouvellement formés », ces derniers n'ont certainement pas bénéficié de suffisamment de temps de formation pour acquérir pleinement les compétences d'« *estimation visuelle des abondances, des tailles des individus et des distances sous l'eau* ».

Pour qu'un agent (déjà plongeur) puisse maîtriser correctement le protocole transect, nous estimons qu'il faudrait compter 10 jours de formation initial et 5 jours de recyclage annuel. Bien que cela soit envisageable, un protocole simplifié a été développé, à destination des agents qui n'ont pas 5 jours par an à consacrer à leur recyclage en plus de la dizaine de jours consacrés à l'échantillonnage effectif.

Les 4 institutions partenaires de POCOROCH se sont à nouveau mobilisées en 2018, 2019 et 2020 pour ces nouveaux développements et tests méthodologiques de protocoles « simplifiés » dit de « parcours libre » (ou encore « comptages-temps »). Les agents PATRINAT ont poursuivi la mise en œuvre du protocole « transect » tandis que les agents des instituts partenaires ont mis en œuvre le protocole « parcours libre ».

Les données transects collectés par les agents PatriNat servent de « référence » lorsqu'il s'agit d'évaluer dans quelle mesure le protocole simplifié « parcours libre » permet d'assurer le suivi des poissons et céphalopodes côtiers des milieux rocheux et des herbiers, malgré des métriques échantillonnées moins précises. La perte de précision se situe au niveau de :

- L'unité d'échantillonnage : une surface bien définie pour le transect vs un temps de parcours à une vitesse plus ou moins constante
- L'estimation des abondances : nombre « exact » (+/- 10%) pour le transect vs classe d'abondance pour le parcours libre)
- L'estimation des tailles individuelles : taille « réelle » (+/- 10%) pour les transects vs aucune estimation de taille (2018) ou estimation par classe (à partir de 2019) pour le parcours libre.

Les deux protocoles « transects » et « parcours-libre » ont été affinés entre 2018 et 2020 par des compléments et/ou modifications (Rey et al., 2021).

2.1.1 Les différentes versions du protocole comptage transect mis en œuvre par PatriNat

Les agents PatriNat ont utilisé de 2016 à 2020 le protocole comptage transect développé en 2016 (Thiriet, 2016). L'unité d'échantillonnage est un transect de 30 m de longueur (mesuré par un décamètre déroulé durant le comptage), parcouru en 9 min (+/- 1 min), dans lequel un observateur ou deux observateurs (en fonction de l'année et de l'habitat, **Figure 1**) se partagent la tâche d'estimer l'abondance et la taille des individus de toutes les espèces de poissons (Chondrichthyens et Ostéichthyens) et de céphalopodes. La largeur du transect ainsi que la position relative des observateurs varient en fonction de la couverture algale (**Figure 1**).

Une première version du protocole a été utilisée en 2016. Une seconde version est utilisée depuis 2018 (**Figure 1**). Les compléments apportés en 2018 portent sur :

- l'ajout d'un second observateur pour les dessous de canopée en infralittoral supérieur et pour les espèces crypto-benthiques en circa-littoral, afin de mieux échantillonner la diversité d'espèces présentes
- une modification de l'échantillonnage des co-variables d'habitats ; visuelle en 2016 puis vidéo à partir de 2018, afin de gagner du temps sous l'eau.

Depuis 2019, l'échantillonnage le long de transects de 30m est subdivisé en 3 tronçons contigus de 10m de long, afin de mieux évaluer la structuration spatiale des peuplements de poissons à micro-échelle et le lien avec le micro-habitat (thèse MNHN de Quentin Ternon en cours).

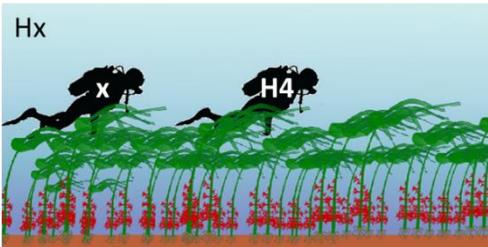
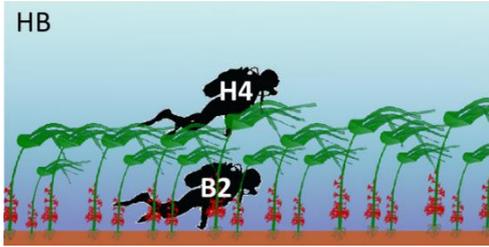
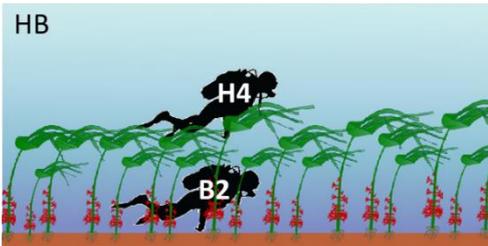
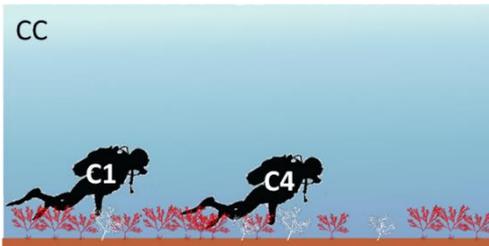
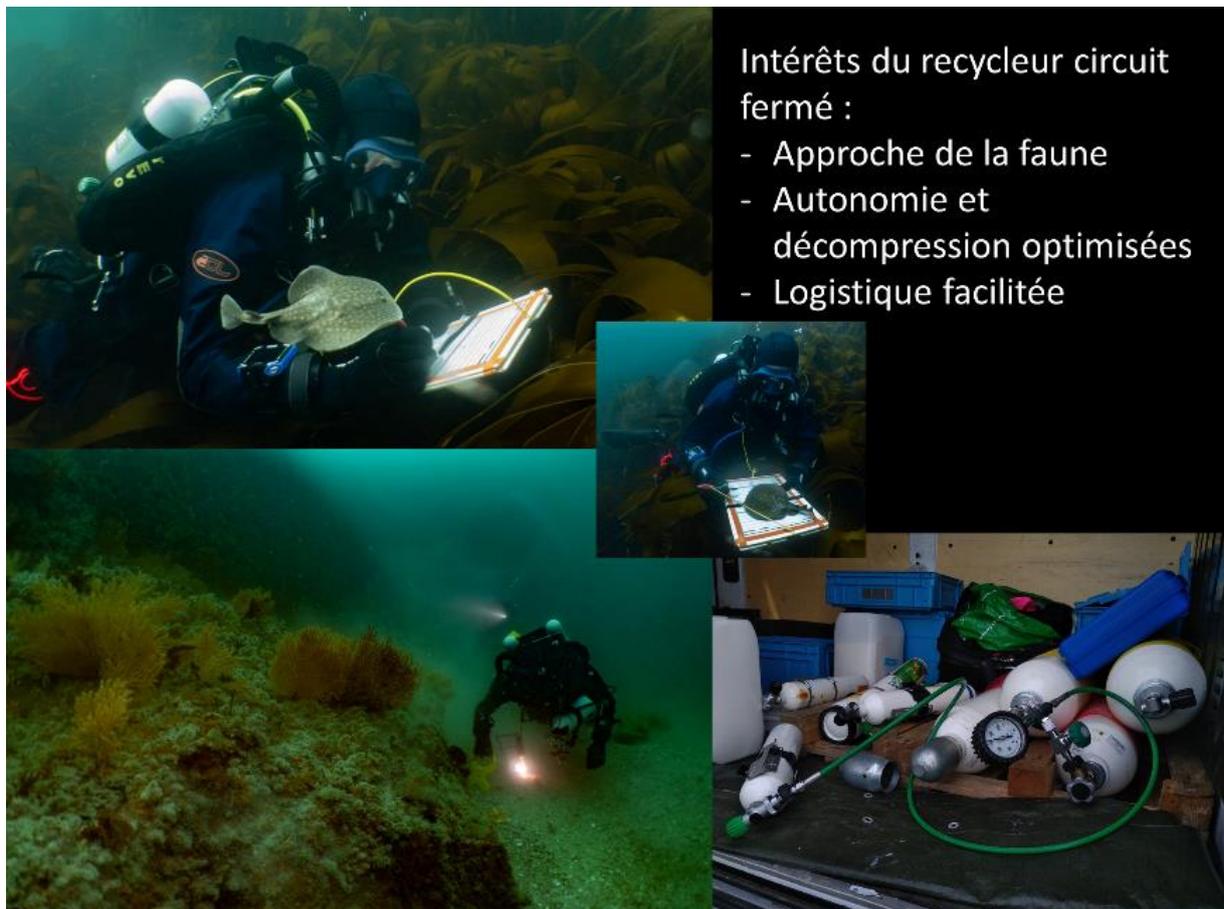
	Protocole 2016	Protocole 2018 et au-delà
Infra-littoral supérieur	 <p>H4 : compte les poissons dans 30 x 4m² x : décrit l'habitat visuellement</p>	 <p>H4 : compte les poissons dans 30 x 4m² B2 : compte les poissons dans 30 x 2m² L'habitat est filmé lors du trajet retour</p>
Infra-littoral inférieur	 <p>H4 : compte les poissons dans 30 x 4m² B2 : compte les poissons dans 30 x 2m² Les deux observateurs décrivent l'habitat visuellement lors du trajet retour</p>	<p>A noter que parfois en Infra-littoral supérieur, les densités de laminaires sont très importantes. Les stipes empêchent l'observateur B2 d'effectuer un comptage sur 2m de large. Il fait alors un comptage sur un mètre de large.</p>
Circa-littoral	 <p>C4 : compte les poissons dans 30 x 4m² x : décrit l'habitat visuellement</p>	 <p>C4 : compte les poissons dans 30 x 4m² C1 : compte les poissons dans 30 x 2m² L'habitat est filmé lors du trajet retour</p>

Figure 1. Schéma de l'évolution du protocole Transect entre 2016 et 2018 et au-delà. La position et le rôle des observateurs s'adapte au type de communauté algale (souvent corrélé à la profondeur).

Depuis 2020, le même protocole qu'en 2019 est mis en œuvre, à l'exception du fait que les plongées sont maintenant réalisées en recycleur circuit fermé (contre circuit ouvert les années précédentes). Les avantages liés au recycleur circuit fermé peuvent être résumés en 3 points (Erreur ! Référence non valide pour un signet.) :

- Très peu de bulles sont relâchées par le plongeur qui est donc plus discret. Cela permet une meilleure approche de la faune et optimise l'observation d'espèces craintives.
- Le gaz respiré est recyclé. De plus, sa composition est optimisée électroniquement en continu (en fonction de la profondeur). Cela permet d'avoir une très grande autonomie en gaz et réduire la durée des paliers de décompression. Les plongées peuvent être plus longues et plus profondes.
- Les quantités de gaz à remplir d'une plongée à l'autre sont très réduites. Le gonflage peut être fait via lyre de transfert depuis des bouteilles tampons facilement transportables. L'organisation logistique de la mission n'est plus dépendante d'une station de gonflable.



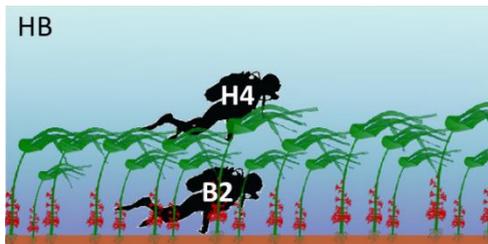
Intérêts du recycleur circuit fermé :

- Approche de la faune
- Autonomie et décompression optimisées
- Logistique facilitée

Figure 2. Intérêts du recycleur circuit fermé.

2.1.2 Détails du protocole « comptage-transect » stabilisé

Pour chaque espèce, l'abondance est estimée au plus juste, de même que la taille individuelle (exprimée en cm, longueur totale). Les erreurs d'estimations sont évaluées à 10% environ, que ce soit pour les abondances ou les tailles.



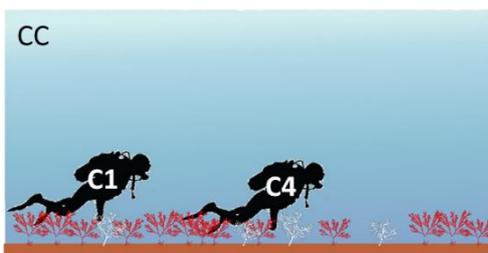
➤ En présence d'une canopée de laminaire (variante Haut-Bas - HB) :

▪ **Rôle B2** : L'observateur B2 est positionné sous la canopée et compte tous les individus détectables sous la canopée, dans un transect de 2 mètres de large, i.e. 1m de part et d'autre de l'observateur. La largeur est occasionnellement réduite à 1m (0,5 m de part et d'autre)

lorsque la densité de laminaire est trop importante. L'observateur doit avoir une stratégie de recherche mixte, pour chercher autant les espèces crypto-benthiques souvent à trou (cf. rôle C1 ci-dessus) et les espèces necto-benthiques souvent nageant proche du fonds sous la canopée. L'observateur alterne donc entre (1) scanner du regard la zone immédiatement devant lui en inspectant tous les trous et (2) un scan du regard à l'horizontal jusqu'à la limite de visibilité liée aux stipes de laminaires. Le phare de plongée indispensable.

▪ **Rôle H4** : L'observateur H4 est positionné au-dessus de la canopée, à la verticale de l'observateur B2, et compte tous les individus au-dessus de la canopée, dans un transect de 4 mètres de large (2m de part et d'autre de l'observateur). Il doit avoir une stratégie de recherche mixte, pour chercher autant les individus de petites tailles cachés aux milieux des lames de laminaires (ex. juvéniles de lieux et gobies nageurs) que les individus de grandes tailles nageant souvent plus haut dans la colonne d'eau (ex. adultes de lieux, bars et muets). Il alterne donc entre scans proche et scans lointains.

C'est l'observateur B2 qui donne le cap et l'observateur H4 le suit, en déroulant le décimètre.



➤ En absence de canopée de laminaire et en herbier (variante Côte-Côte - CC) :

▪ **Rôle C4** : l'observateur C4 compte tous les individus présents dans un transect de 4 mètres de large (2m de part et d'autre). Il compte toutes les espèces mais cherche préférentiellement les espèces necto-benthiques (labridae,

gadidae, mugilidae, moronidae, etc). Pour cela il scanne d'un regard horizontal la zone jusqu'à au moins 4 mètres devant lui.

▪ **Rôle C1** : l'observateur C1 est positionné à côté de l'observateur B, légèrement en arrière (décalé latéralement hors du sillage de B). Il compte tous les individus présents dans un transect de 1 mètre de large (0,5 m de part et d'autre). Le plongeur compte toutes les espèces mais cherche préférentiellement les espèces crypto-benthiques (blennies, gobies, trypterigion, targeur, lepadogasters, etc). Il engage la tête ou du moins le regard dans tous les trous et crevasses. Un phare de plongée est indispensable.

C'est l'observateur C4 qui donne le cap et déroule le décimètre. L'observateur C1 suit.

Que ce soit en HB ou CC, les 2 équipiers inversent leur rôle à chaque nouveau transect, afin de prévenir les confusions d'effet entre rôle et observateur.

2.1.3 Stratégie d'échantillonnage intra-site avec le protocole « comptage-transect »

Les sites de suivis POCOROCH sont sélectionnés pour être tant que possible homogènes dans leurs caractéristiques paysagères. Nous sélectionnons des « récifs » présentant tant que possible une pente moyenne d'environ 45° allant de -1 m à -20 m de profondeurs côtes marines. Cette sélection de sites ne représente qu'une seule des nombreuses strates/catégories de topographie de paysages sous-marins côtiers. C'est donc une image réductrice des milieux rocheux côtiers. Néanmoins, sélectionner ce type particulier de « récif » vise à (1) contrôler l'importante variabilité spatiale naturelle liée à la topographie des sites (Thèse de Doctorat Q. Ternon en cours), en travaillant au sein d'une strate topographique, et (2) permettre au cours d'une même plongée de passer d'une strate bathymétrique à une autre sans devoir parcourir trop de distance. Il est intéressant de noter que les sites de suivis DCE Roches Subtidales (Derrien-Courtel and Le Gal, 2013) sont sélectionnés de la même manière, pour les mêmes raisons.

L'échantillonnage d'un site « récif » en une plongée comporte 4 transects. Un transect est réalisé pour chacune des 4 strates bathymétriques (côtes marines) suivantes : [-20m, -16m], dite -18m ; [-15m, -11m], dite -13 m ; [-10m, -6m], dite -8m ; [-5m, -1m], dite -3m (Figure 3).

Le point de départ d'un transect est choisi aléatoirement au sein de la strate bathymétrique prédéfinie. Aléatoire mais à au moins 15 mètres de distance de tout précédant transect.

Le cap initial est choisi de manière à rester le plus longtemps possible au sein de la strate bathymétrique (« l'isobathe est longé »). Au gré de la topographie, lorsque le cap initial entraîne une sortie de strate bathymétrique, un nouveau cap est choisi de manière similaire. Ainsi dans un site à topographie simple, le transect est une ligne droite. Dans un site à topographie complexe, le transect est composé de segments formant des zigs et des zags.

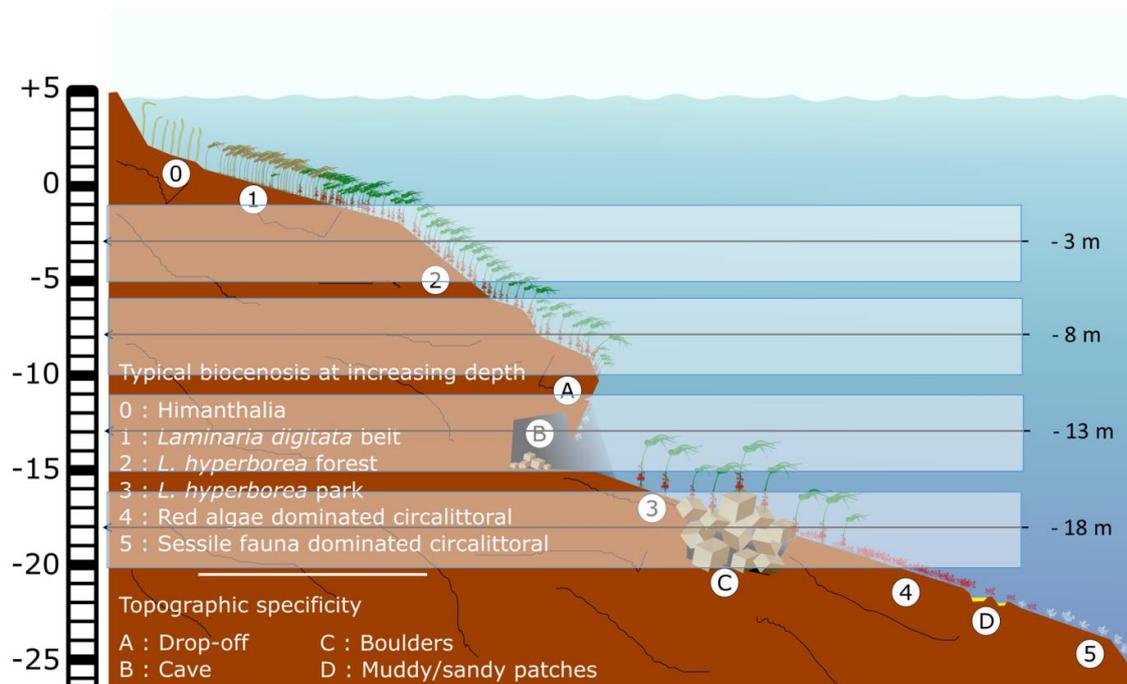
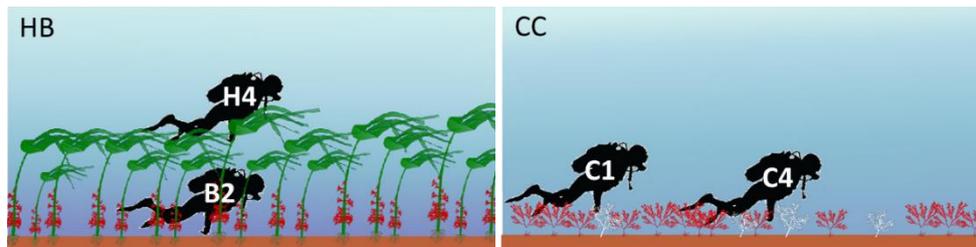


Figure 3. Strates bathymétriques échantillonnées dans les sites « récifs ». Une strate fait 4 mètres de delta-bathymétrique (± 2 m), centrée autour d'une profondeur cible (-3, -8, -13, -18 m CM – Côtes Marines).

2.1.4 Présentation du protocole comptage-temps mis en œuvre par les membres du réseau

Les agents des différentes institutions partenaires ont utilisé le protocole transect en 2016, puis ont utilisé le protocole simplifié « parcours libre » (ou comptage-temps) à partir de 2018. Ce protocole et sa stratégie d'échantillonnage ont évolué de 2018 à 2020 (**Tableau 2**). Le protocole comptage-temps est stabilisé depuis 2020. Ce protocole est présenté en détail dans un guide méthodologique (Thiriet and Le Joncour, 2020).

Le protocole « comptage-temps » est très proche du protocole comptage transect (voir **section 2.1.2**). Il reprend la répartition des rôles d'observation en fonction de l'habitat, à l'exception que les largeurs de comptages ne sont qu'approximatives, de même que la longueur parcourue. En effet, l'unité d'échantillonnage n'est pas définie par une surface mais par une durée (8 min en 2018 puis 5 min à partir de 2019). Il est demandé que durant le temps d'échantillonnage fixé, une distance approximative soit parcourue : entre 20m et 40m parcourus durant les 8 min pour la version 2018 ; entre 10 et 20m parcourus durant les 5 min pour la version 2019+.



Le protocole « comptage-temps » est souvent également appelé « parcours libre » car contrairement au transect où les observateurs avancent tout droit (selon un cap prédéfini), dans le comptage-temps le parcours est dit « libre » puisque le binôme d'observateur est encouragé à visiter tous les micro-habitats qu'il rencontre dans une tranche bathymétrique donnée, à + ou - 2 mètres, ceci afin d'optimiser la détection d'espèces différentes.

Les autres différences entre comptage-transect et comptage-temps portent sur :

- l'estimation des abondances : nombre « exact » (+/- 10%) pour le transect vs classe d'abondance pour le parcours libre
- l'estimation des tailles individuelles : taille « réelle » (+/- 10%) pour les transects vs aucune estimation de taille (2018) ou estimation par classe (à partir de 2019) pour les parcours libre (0-5 cm, 6-15 cm, 16-40 cm et sup 41cm).

Concernant la stratégie d'échantillonnage des comptages-temps :

- En 2018, elle était identique à celle des comptages-transects : un comptage-temps pour chacune des 4 strates bathymétriques -18m, -13m, -8m et -3m (CM)
- En 2019, un total de 6 comptages-temps était réalisés, 3 répliquas dans chacune des deux strates bathymétriques -18m et -8m (CM).
- En 2020 et au-delà, un total de 8 comptages-temps sont réalisés, 2 répliquas pour chacune des 4 strates bathymétriques -18m, -13m, -8m et -3m (CM).

2.1.5 Synthèse des différentes versions des protocoles

Les protocoles transects et temps ont été affinés au cours des années (Tableau 2)

Tableau 2. Evolution des deux types de protocoles, en fonction des années, depuis 2016

Méthode	Caractéristiques de la méthode	2016	2018	2019	2020	2021
Comptage Transect	Métriques évaluées	Abondances et tailles individuelles "exactes" (+/- 10%)				
	Rôles Infralittoral supérieur	H4 : 30 x 4 m ² au-dessus de la canopée				
		B2 : 30 x 2 m ² au-dessous de la canopée				
	Rôles Infralittoral inférieur	H4 : 30 x 4 m ² au-dessus de la canopée				
		B2 : 30 x 2 m ² au-dessous de la canopée				
	Rôles Circalittoral	C4 : 30 x 4 m ² pour les necto-benthiques				
		C1 : 30 x 1 m ² pour les crypto-benthiques				
	Subdivision transects			3 tronçons contiguës de 10m		
Caractérisation Habitat	Visuelle	Vidéo (et développement de la photogrammétrie en cours dans le cadre de la thèse de doctorat de Quentin Ternon, MNHN)				
Matériel respiratoire		Circuit ouvert			Recycleur circuit fermé	
# d'échantillons par plongée		Total de 4 : 1 par tranche bathy -18m, -13m, -8m, -3m Côte Marine (CM)				
Méthode	Caractéristiques de la méthode	2016	2018	2019	2020	2021
Temps	Métriques évaluées		Abondances par classe			
				Tailles individuelles par classe		
	Rôles		H4B2 en Infralittoral et C4C1 en Circalittoral			
	Durée		8min	5min		
	Caractérisation Habitat		Visuelle			
	Matériel respiratoire		Circuit ouvert			
# d'échantillons par plongée			Total de 4 : 1 par tranche bathy -18m, -13m, -8m, -3m CM	Total de 6 : 3 par tranche bathy -18m, -et -8m CM	Total de 8 : 2 par tranche bathy -18m, -13m, -8m, -3m CM	

Nous considérons que les protocoles et stratégies d'échantillonnages sont stabilisés à partir de 2020. Des évolutions sont prévues pour les années à venir concernant les co-variables d'habitat. Cela ne remettra pas en cause l'interopérabilité des données collectées à partir de 2020, et celles qui seront collectées à l'avenir. **Nous considérons donc que 2020 marque le début de séries temporelles.**

Les données collectées les années antérieures sont d'un grand intérêt pour un certain nombre d'analyses diagnostics durant cette phase 1 de développement des protocoles. Elles ne pourront cependant *a priori* pas être incluses dans les séries temporelles (dont la phase 2 de développement des indicateurs) car on inclurait de possibles confusions d'effets entre changements de protocoles et réels changements temporels dans les peuplements de poissons.

Par conséquent, le présent rapport ne considérera que les données SLAMIR Poissons des années 2019, 2020 et 2021 afin de s'affranchir de ces biais méthodologiques (voir section 2.3)

En effet, en 2018, les sorties terrain n'ont pas permis de collecter de la donnée exploitable du fait du manque de visibilité à certaines dates, ainsi que de l'abandon de deux des quatre paires de sites échantillonnés (voir section 2.3.2).

2.2 Stratégie d'échantillonnage SLAMIR

Les protocoles et stratégies d'échantillonnages utilisées dans le cadre de SLAMIR sont similaires à ce qui a été présenté en section précédente pour l'ensemble des sites POCOROCH. Il y a eu cependant un complément important ajouté dans le projet SLAMIR. POCOROCH n'échantillonne d'habitude que des sites de type « récif » (topographie : pente autour de 45°, profondeur de -3m à -18m CM, voir discussion dans (Rey, et al., 2021)). Dans le cadre de SLAMIR, on s'intéresse d'abord à l'exploitation goémonière au peigne à *L. hyperborea*, qui ne peut avoir lieu que sur des sites de type « platier » (topographie : pente douce à nulle, profondeur entre -6m et -10m CM). Ainsi au cours du projet SLAMIR, des sites de type « Platier » ont été, avant tout, échantillonnés pour les poissons comme pour les autres volets du projet.

Des paires de sites ont été retenues et comprennent chacune 1 site exploité et 1 site non exploité à des fins de comparaison. En 2018, le choix avait été réalisé à dire d'experts, l'équipement en balises de géolocalisation des goémoniers n'étant pas obligatoire ; les sites de Men Gwen (exploité) et des Remeurs (non exploité) avaient été retenus dans l'ouest de l'archipel et le site du petit taureau et de la Roche de l'aviron dans le sud de l'archipel. Les sites Roche de l'aviron et petit taureau ont été abandonnés car des traces d'exploitation avaient été retrouvées dans une zone normalement fermée à l'exploitation. Pour les remplacer, les sites des Fourches (exploité) et des Linioux (non exploité) ont été retenus à la côte, au nord du PNMI. Le protocole POCOROCH nécessitant un échantillonnage sur une partie récifale, l'ensemble des sites a été doublé pour les besoins de POCOROCH en ajoutant cette partie récifale.

2.2.1 Topographie du paysage et hypothèses sous-jacentes

D'après la première année d'inventaires en plongée (POCOROCH) en 2016, la diversité et les densités de poissons (dont les juvéniles de lieux jaunes) semblaient plus élevées dans les paysages accidentés (récifs) que dans les paysages présentant une topographie moins complexe (platier). Or *Laminaria hyperborea* est exploitée principalement sur les platiers, les récifs n'étant pas propices à l'utilisation du peigne. Il est donc possible que cette exploitation n'impacte dans l'ensemble que peu de peuplements de poissons. Ceci resterait à vérifier.

Deux sources d'impacts sont toutefois à considérer, l'une localisée, l'autre diffuse :

- La modification de l'habitat (diminution de la densité et de la hauteur des stipes de *L. hyperborea*, et conséquences sur la flore et la faune associées) peut perturber localement les peuplements de poissons en modifiant la structure 3D de l'habitat et la disponibilité en nourriture.
- Le bruit sous-marin provoqué par les peignes raclant le fond peut perturber de manière moins localisée les peuplements de poissons, notamment ceux vivant dans les récifs adjacents aux platiers exploités. En effet, les bruits sont reconnus pour avoir des effets potentiellement délétères sur la physiologie, les mouvements, les comportements sociaux et reproducteurs et *in*

fine la distribution et l'état des populations, liés aux pressions sonores (Popper & Hastings, 2010; Weilgart, 2018).

Il a été décidé de mettre en œuvre une méthode d'échantillonnage en plongée qui permet de comparer la densité et la diversité des peuplements de poissons entre des platiers exploités, des platiers non exploités, des récifs proches de platiers exploités et des récifs éloignés de platiers exploités. Une telle stratégie d'échantillonnage permettra de tester les hypothèses suivantes :

- Hypothèse 1 : Les récifs accueilleraient-ils des peuplements de poissons plus denses et diversifiés que les platiers ?
- Hypothèse 2 : L'exploitation de *L. hyperborea* sur les platiers affecterait-elle les peuplements de poissons vivant sur ces mêmes platiers (via modification de l'habitat et/ou dérangement sonore, impossible à discerner) ?
- Hypothèse 3 : L'exploitation de *L. hyperborea* sur les platiers affecterait-elle les peuplements de poissons vivant dans les récifs adjacents (via dérangement sonore et/ou mouvements des poissons, impossible à discerner) ?

Selon les conclusions relatives à chacune de ces hypothèses, des déductions seront possibles, par exemple :

- L'exploitation de *L. hyperborea* a effectivement un effet néfaste sur les peuplements de poissons associés aux platiers (si H2 acceptée) mais cet impact est modéré puisque naturellement très peu de poissons fréquentent les platiers (si H1 acceptée).
- De plus, l'exploitation de *L. hyperborea* n'a pas d'effet néfaste sur les peuplements de poissons associés aux récifs adjacents (si H3 est refusée), l'impact global de l'exploitation de *L. hyperborea* (à l'échelle des platiers exploités et des récifs adjacents) est donc modéré.

2.2.2 Périodes et sites d'échantillonnage

Deux périodes d'échantillonnage par an ont été définies : une fois en mai-juillet, période dite « printemps » ou saison 1 ; et une fois en août-octobre, période dite « automne » ou saison 2. Dans la mesure du possible, ces deux périodes ont été échantillonnées chaque année, cependant des différences de dates intra-saisons entre les deux années sont à noter :

	2018		2019		2020		2021	
Protocoles	Comptage-transect	Comptage-temps	Les deux	Comptage-transect	Comptage-temps	Comptage-transect	Comptage-temps	
Saison 1	30 mai-1 ^{er} juin 21-22 juin	30 mai-1 ^{er} juin 21 juin	27-31 mai	15-18 juin	22-26 juin 2-3 juillet	23-25 juin	23-29 juin	
Saison 2	3-4 septembre -	- -	21-24 octobre	7-11 septembre	7-11 septembre 10 novembre	21-24 septembre	17-24 septembre	

En 2018, les deux saisons ont été échantillonnées en 4 dates (deux pour chaque saison), la première date fin mai-début juin a été marquée par une très mauvaise visibilité (<2m) ce qui rend les données

atypiques. De plus, la seconde date d'automne a été annulée pour mauvaise météo. Enfin, il est à noter que certaines dates n'ont été échantillonnées que par la méthode comptage-transect (saison 2).

A noter que les sites ne sont pas tous les mêmes d'une année à l'autre (Figure 4). Deux zones sur quatre sont communes aux deux années : Z1 Les Remeurs et Z2 Men Gwenn/Roche Loup (Figure 4). En effet, les zones 5 et 6 situées au sud de l'archipel de Molène et échantillonnées en 2018, étaient non-conforme aux exigences du protocole (traces d'exploitations dans la zone non-exploitée, peu d'exploitation dans la zone exploitée proportionnellement à d'autres secteurs, grandes différences sédimentaires entre les deux zones). Il a donc été décidé de déplacer ces deux zones à la côte au nord du Parc (Z3 Les fourches et Z4 les Linious), dans une zone d'intérêt pour l'exploitation et avec un point (Les Linious) suivi depuis 15 ans et jamais exploité.

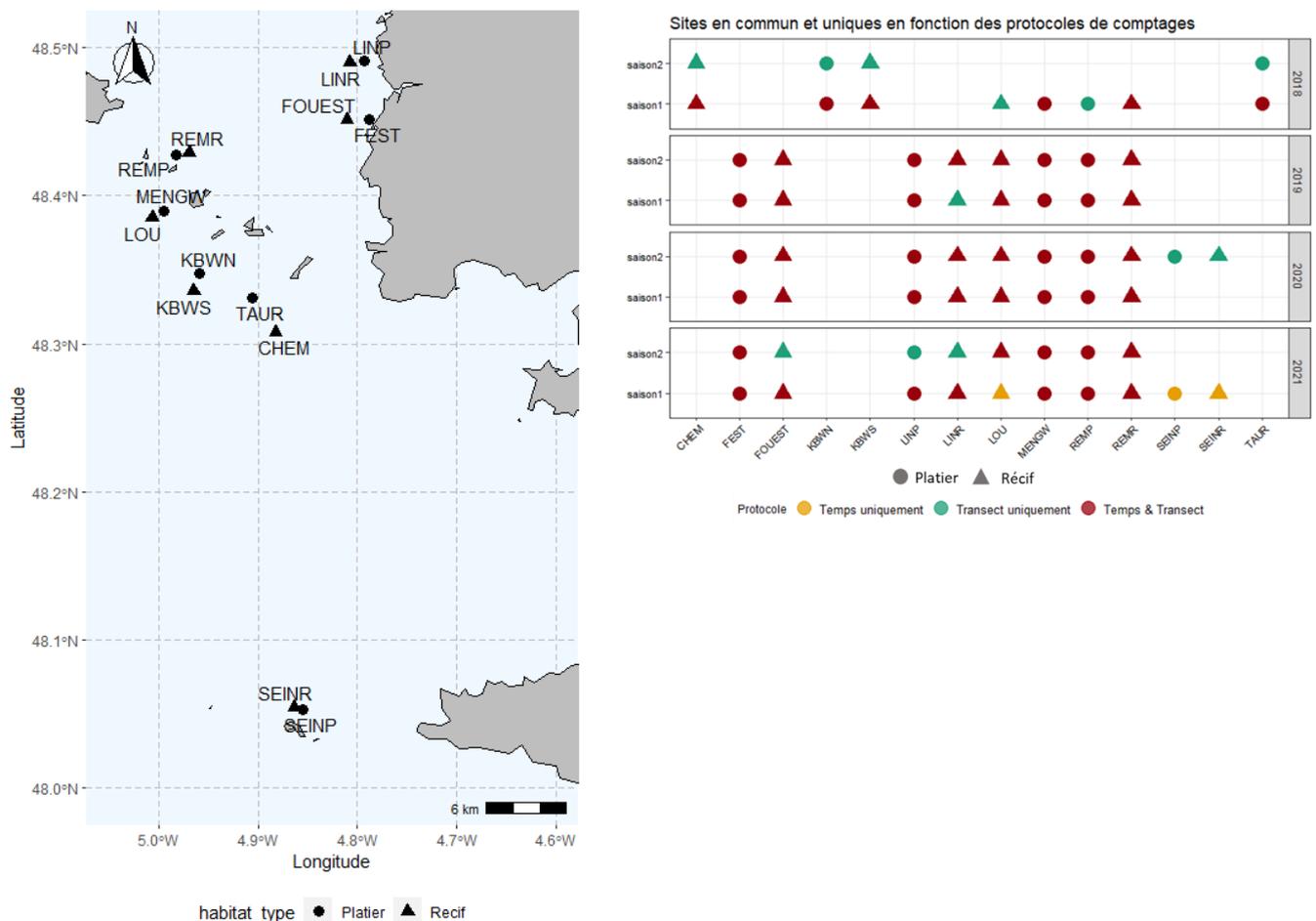


Figure 4. Localisation des sites d'échantillonnage dans le cadre de SLAMIR (à gauche) et synthèse des sites par année et saison en fonction des deux protocoles de comptage (à droite)

2.3 Données Poissons retenues pour les analyses SLAMIR

2.3.1 Bilan des données de comptages visuels à disposition

Le tableau 3 ci-dessous dresse le bilan des données collectées de 2018 à 2021. Les échantillonnages comptage-transect ont été réalisés par les agents PatriNat et ceux de comptage-temps par les agents du PNMI. L'unité d'échantillonnage correspond à un transect pour le protocole complet (comptage-transect) et à un parcours libre pour le protocole simplifié (comptage-temps).

Tableau 3. Synthèse du nombre d'unité d'échantillonnage effectués par chacun des deux protocoles, réalisés entre 2018 et 2021.

Année	Saison	Site	Code Site	Topographie	Protocole Temps	Protocole Transect	
2018	Saison 1	Kleuz Baz Wenn Nord (platier)	KBWN	Platier	3	3	
		Kleuz Baz Wenn Sud (recif)	KBWS	Recif	7	6	
		Le Petit Taureau (platier)	TAUR	Platier	4	4	
		Les Remeurs (recif)	REMR	Recif	4	4	
		Les Trois Cheminees (recif)	CHEM	Recif	8	5	
		Men Gwenn (platier)	MENGW	Platier	8	4	
		Les Remeurs (platier)	REMP	Platier	-	5	
		Roche du Loup (recif)	LOU	Recif	-	3	
	Saison 2	Kleuz Baz Wenn Nord (platier)	KBWN	Platier	-	4	
		Kleuz Baz Wenn Sud (recif)	KBWS	Recif	-	3	
		Le Petit Taureau (platier)	TAUR	Platier	-	5	
		Les Trois Cheminees (recif)	CHEM	Recif	-	4	
	2019	Saison 1	Les Fourches Est (platier)	FEST	Platier	6	4
			Les Fourches Ouest (recif)	FOUEST	Recif	6	5
Les Linious (platier)			LINP	Platier	6	3	
Les Remeurs (platier)			REMP	Platier	6	4	
Les Remeurs (recif)			REMR	Recif	5	4	
Men Gwenn (platier)			MENGW	Platier	6	4	
Roche du Loup (recif)			LOU	Recif	6	4	
Les Linious (recif)			LINR	Recif	-	4	
Saison 2		Les Fourches Est (platier)	FEST	Platier	6	4	
		Les Fourches Ouest (recif)	FOUEST	Recif	6	4	
		Les Linious (platier)	LINP	Platier	6	4	
		Les Linious (recif)	LINR	Recif	6	5	
		Les Remeurs (platier)	REMP	Platier	6	4	
		Les Remeurs (recif)	REMR	Recif	6	4	
Men Gwenn (platier)	MENGW	Platier	6	4			

2020	Saison 1	Roche du Loup (recif)	LOU	Recif	6	5
		Les Fourches Est (platier)	FEST	Platier	8	4
		Les Fourches Ouest (recif)	FOUEST	Recif	8	4
		Les Linious (platier)	LINP	Platier	8	5
		Les Linious (recif)	LINR	Recif	8	4
		Les Remeurs (platier)	REMP	Platier	8	5
		Les Remeurs (recif)	REMR	Recif	8	4
		Men Gwenn (platier)	MENGW	Platier	8	4
	Saison 2	Roche du Loup (recif)	LOU	Recif	6	4
		Les Fourches Est (platier)	FEST	Platier	8	4
		Les Fourches Ouest (recif)	FOUEST	Recif	8	4
		Les Linious (platier)	LINP	Platier	8	4
		Les Linious (recif)	LINR	Recif	6	5
		Les Remeurs (platier)	REMP	Platier	8	4
		Les Remeurs (recif)	REMR	Recif	8	4
		Men Gwenn (platier)	MENGW	Platier	8	4
		Roche du Loup (recif)	LOU	Recif	7	4
		Sein platier	SEINP	Platier	-	5
		Sein Recif	SEINR	Recif	-	4
2021	Saison 1	Les Fourches Est (platier)	FEST	Platier	8	4
		Les Fourches Ouest (recif)	FOUEST	Recif	8	5
		Les Linious (platier)	LINP	Platier	8	4
		Les Linious (recif)	LINR	Recif	8	4
		Les Remeurs (platier)	REMP	Platier	8	4
		Les Remeurs (recif)	REMR	Recif	8	5
		Men Gwenn (platier)	MENGW	Platier	8	5
		Roche du Loup (recif)	LOU	Recif	6	-
		Sein platier	SEINP	Platier	8	-
	Saison 2	Sein Recif	SEINR	Recif	8	-
		Les Fourches Est (platier)	FEST	Platier	8	4
		Les Remeurs (platier)	REMP	Platier	8	5
		Les Remeurs (recif)	REMR	Recif	8	4
		Men Gwenn (platier)	MENGW	Platier	8	4
		Roche du Loup (recif)	LOU	Recif	5	4
		Les Fourches Ouest (recif)	FOUEST	Recif	-	3
		Les Linious (platier)	LINP	Platier	-	4
Les Linious (recif)	LINR	Recif	-	4		

Un travail de bancarisation au sein du SINP (<https://inpn.mnhn.fr/informations/sinp/presentation>) est en cours. L'objectif est que les données SLAMIR soient bancarisées (avec les autres données d'immersion collectées lors du projet POCOROCH (Rey et al., 2021) courant 2022.

2.3.2 Sélection des sites et années à analyser

Bien que 4 années de suivi (2018-2021) aient été effectuées, l'année 2018 ne sera pas gardée pour les analyses de données car 2 des 4 paires de sites échantillonnés durant cette année n'ont pas été poursuivis après 2018. De plus, un certain nombre de dates étaient manquantes ou inexploitable (en lien avec la visibilité médiocre). Nous avons donc décidé de concentrer les analyses sur les 3 années 2019 à 2021, où 8 sites ont pu être échantillonnés à chacune des 2 saisons pour au moins l'un des deux protocoles de comptage. Les 8 sites échantillonnés (Figure 5) sont les sites Nord PNMI (Les Linious platier et récif), les Fourches (platier et récif), les Remeurs (platier et récif) et Men Gwenn (platier et récif).

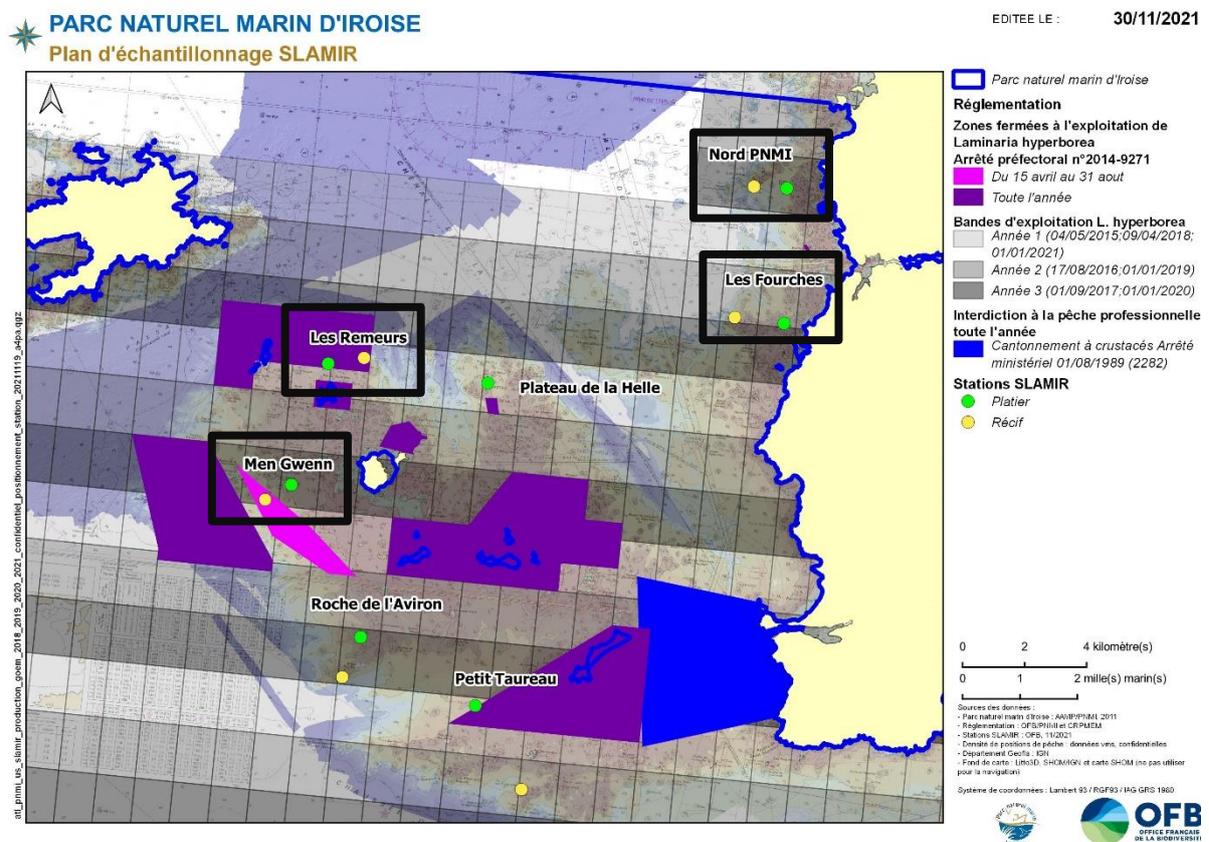


Figure 5. Carte synthèse de l'exploitation des champs de laminaires au sein du PNMI avec les 8 sites sélectionnés pour les analyses (couple sites platier-récif encadré en noir).

2.3.3 Pré-traitement des données de comptage

Pour l'analyse des données, un pré-traitement a été appliqué pour chaque protocole :

- protocole Transect : l'abondance par unité de surface est quantifiée par la somme des densités sur 100 m² des 2 rôles (H4 et B2)
- protocole Temps : l'abondance par unité de temps est quantifiée en sélectionnant le rôle qui a l'abondance maximale de l'espèce-classe de taille (H4 ou B2)

Les données des deux types de protocoles ne sont donc pas directement comparables et seront donc volontairement montrées séparément.

Les différents prétraitements appliqués à chaque protocole se justifient par le raisonnement suivant : lors du protocole Transect les plongeurs évoluent en même temps le long du transect, les 2 plongeurs ne comptent pas 2 fois le même poisson et donc les abondances pour une même espèce ou classe de taille peuvent être additionnées. *A contrario* pour le protocole Temps, les plongeurs ont une liberté de mouvement accrue. Il ne peut pas être exclu que le même poisson soit compté par les 2 plongeurs. L'abondance maximale entre les 2 observateurs est retenue.

2.4 Caractérisation environnementale des sites et dates d'échantillonnage

2.4.1 Variables environnementales du substrat et de la colonne d'eau

Afin de caractériser les conditions environnementales des sites échantillonnés, les variables présentées dans le Tableau 4 ont été collectées. Les données obtenues par extraction de la base de données Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en>) sont issues de modèles.

Tableau 4. Détail des variables environnementales utilisées pour les analyses.

	Variable	Notation	Unité	Echelle temporelle	Collecteur	Source
Physique	Température moyenne sur toutes les des profondeurs du site	tp	°C	Mensuelle	PNMI	Copernicus
	Hauteur de vague maximale	vmh0_max	m	Annuelle	Equipe Biodiversité	MARC
Chimie	Concentration en dioxygène moyenne sur toutes les des profondeurs du site	o2	μmol.L ⁻¹	Mensuelle	PNMI	Copernicus
	Concentration en nitrates moyenne sur toutes les des profondeurs du site	no3	μmol.L ⁻¹	Mensuelle	PNMI	Copernicus
	Concentration en phosphates moyenne sur toutes les des profondeurs du site	po4	μmol.L ⁻¹	Mensuelle	PNMI	Copernicus
	Concentration en Chlorophylle a moyenne sur toutes les des profondeurs du site	chl	μmol.L ⁻¹	Mensuelle	PNMI	Copernicus
Morphol	Proportion de sédiment meuble dans une zone tampon de 100m	prop_sed	%	-	Equipe Poisson + PNMI	carto nature des fonds réalisée dans le cadre de la

	autour du site d'échantillonnage. La proportion du récif serait égale à 1-proportion de sédiment					cartographie prédictive des laminaires IFREMER complétée par les données emodnet-euseamap
	Orientation des pentes exprimée en degrés	aspect	0° → Nord	-	Collecte PNMI, calcul Equipe Poisson	litto3D SHOM/IGN complété par Homonim SHOM
	Pente	slope	0° → plan horizontal	-		
	Pente de la pente -> proxy de complexité	slope_slope		-		
	Indice de rugosité	roughness	m	-		
	Courbure de profil	profilcurv		-		
	Courbure plane	plancurv		-		

2.4.2 Données d'exploitation des champs de laminaire

Les données agrégées à l'échelle d'une maille d'exploitation des champs de laminaire du parc, ont été transmises par l'Ifremer, via le PNMI, pour les années 2019 à 2021 par saison d'exploitation (saison 1 : 1^{er} Janvier au 15 Mai et saison 2 : 1^{er} Septembre au 31 Décembre). L'exploitation de laminaires se fait par bande d'exploitation, chacune constituée de maille d'environ 2 km². Pour chacun des 8 sites (platier et récif), nous avons pu extraire les variables, présentées dans le tableau 5, du secteur dans lequel se trouve le site d'échantillonnage (cf. Figure 5).

Tableau 5. Détail des données d'exploitations des champs de laminaire utilisées pour les analyses.

	Variable	Notation	Unité	Echelle temporelle	Collecteur	Source
Exploitation laminaire	Modélisation de la biomasse totale de Laminaire présente sur chaque secteur d'exploitation	biomasse	tonne	Mensuelle	PNMI	Equipe Martial Laurans
	Quantité en tonne de laminaire débarquée par secteur d'exploitation	tonnage	tonne	Cumulée sur 2019-2020-2021	PNMI	Equipe Martial Laurans
	Taux d'exploitation entre la récolte et la biomasse de laminaire	Exploitation	%	Mensuelle	PNMI	Equipe Martial Laurans
	Nombre de bateau sur le secteur d'exploitation → intensité/fréquence d'exploitation	nb_bateau	-	Mensuelle	PNMI	Equipe Martial Laurans

3 Résultats et Discussions

3.1 Caractérisation environnementale des sites et dates

3.1.1 Substrat et colonne d'eau

Dans un premier temps, il semble nécessaire de caractériser les 8 sites échantillonnés. Deux Analyses en Composantes Principales (ACP) ont été réalisées pour répondre à cet objectif : une ACP caractérisant les sites sur leurs caractéristiques morphologiques et d'habitat (Figure 6) et une ACP intégrant en plus de l'habitat, les variables environnementales physico-chimiques afin de comprendre l'importance de la saison (Figure 7). Une sélection de variables basée sur l'Analyse d'Inflation de la Variance (VIF) a été effectuée afin d'enlever les variables colinéaires. Suite à cette analyse certaines variables ont été retirées : *slope* et *slope_slope* (variables d'habitat) et la température (variables physico-chimiques) car colinéaire avec la saison, le dioxygène *o2* et la chlorophylle *a chl*. Les variables sélectionnées ont été centrées et réduites.

L'ACP sur l'habitat révèle que les caractéristiques morphologiques du fond séparent les sites en fonction de leur type d'habitat (platier et récif) pour les sites récif FOUEST, LOU et REMR et les sites platier FEST, LINP et REMP. Les sites récif LINR et platier MENGW ne sont pas regroupés avec leur type d'habitat respectif. Dans le cas de LINR, la proportion de sédiment dans une zone tampon de 100 m est de 25 % en comparaison aux 3 autres sites récifs (0 % pour FOUEST et LOU et 10 % pour REMR), ce qui peut expliquer son rapprochement avec des sites platsiers où la proportion de sédiment est plus importante (entre 29 et 42%). Les caractéristiques morphologiques sélectionnées ici permettent de distinguer les sites platier des sites récif pour les Fourches et Remeurs mais pas pour ceux de Men Gwenn et Linioux.

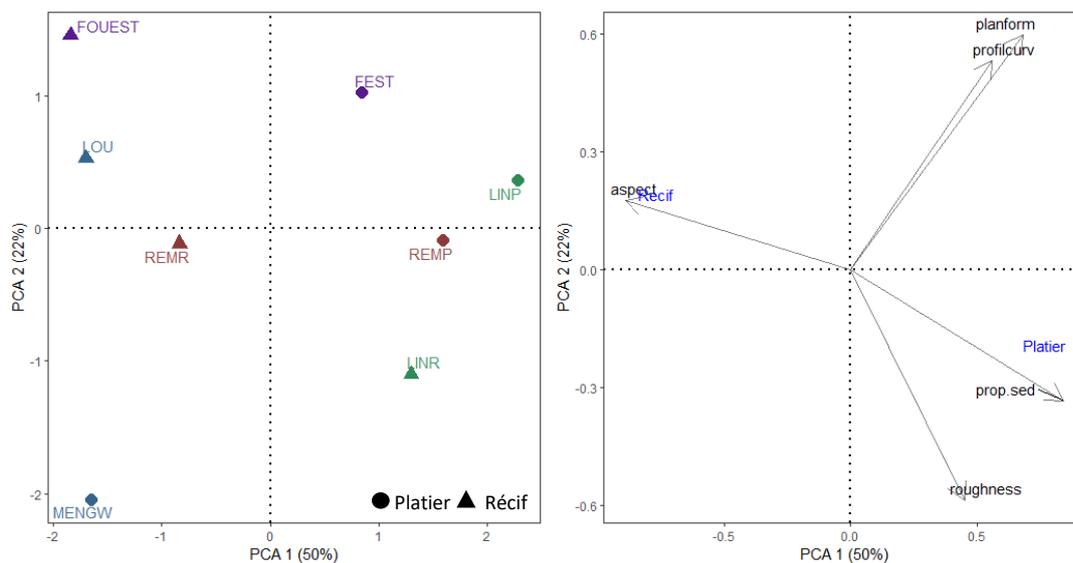


Figure 6. Représentation graphique des Analyses en Composantes Principales à partir des données de morphologie des sites et de substrat des 8 sites échantillonnés au cours de SLAMIR.

L'ACP intégrant les variables environnementales permet d'observer l'effet saisonnier. On peut observer que l'année 2019 se distingue des années 2020 et 2021 pour la saison 1, alors que c'est l'année 2020 qui se différencie des autres pour la saison 2.

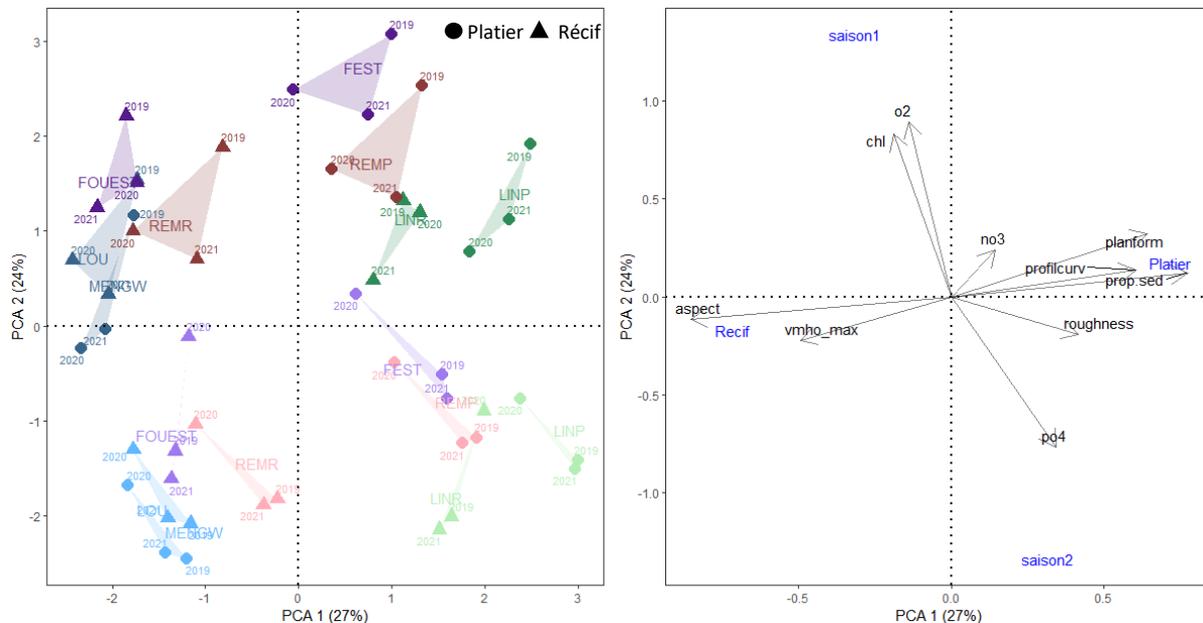


Figure 7. Représentation graphique des Analyses en Composantes Principales à partir des données de morphologie des sites, de substrat et des variables physico-chimiques et de courant des 8 sites échantillonnés au cours de SLAMIR.

Synthèse sur la caractérisation des sites

- La saison et le type d'habitat sont observés via les variables environnementales et les caractéristiques morphologiques des sites sélectionnés et expliquent environ 50 % de la variance totale.
- Les caractéristiques morphologiques des sites distinguent les platiers des récifs pour les Remeurs et Fourches uniquement, indiquant que pour les Linioux et Men Gwenn, la distinction entre platier et récif nécessite potentiellement l'intégration d'autres caractéristiques morphologiques, ou bien que la caractérisation en platier ou récif n'est pas observable à l'échelle du site mais seulement au niveau des transects.
- Les caractéristiques environnementales indiquent une importante variation interannuelle, potentiellement dû au décalage dans la période d'échantillonnage entre les années ou à des changements environnementaux.
- La répartition géographique (ex. côte vs archipel Molène) n'est pas observée sur les 2 axes principaux de variation.

En conclusion, les regroupements des sites choisis *a priori* selon des caractéristiques empiriques (nord vs sud et platier vs récif), ne sont pas retrouvés à partir des analyses basées sur des variables morphologiques et provenant des SIG.

3.1.2 L'exploitation à *Laminaria hyperborea*

L'échantillonnage des peuplements de poissons a été effectué après la saison d'exploitation des laminaires pour la saison 1 et pendant la saison d'exploitation pour la saison 2 (Tableau 6).

Tableau 6. Concordance entre période d'exploitation des laminaires et d'échantillonnage des poissons. Violet : échantillonnage pendant la période d'exploitation ; Orange : échantillonnage après la période d'exploitation

	Exploitation	Echantillonnage		
		2019	2020	2021
Saison 1	1 janvier – 15 mai	27-31 mai	15 juin – 3 juillet	23-29 juin
Saison 2	1 septembre – 31 décembre	21-24 octobre	7 septembre – 10 novembre	17-24 septembre

Sur les 4 zones échantillonnées, seulement le site Les Fourches représente un taux d'exploitation dans la fourchette haute (env. 14 %), le site Men Gwenn est peu exploité (env. 0,02 %). Les sites Linioux et Remeurs ne sont pas du tout exploités (Figure 8). Puisque ce sont seulement les sites platier qui sont exploités, il y a 1 site (Les Fourches platier, FEST) exploité, 1 dont les données de géolocalisation ont révélé qu'il l'était peu contre 6 non exploités, ce qui induit un fort déséquilibre dans les données poissons à analyser (Tableau 7).

Tableau 7. Synthèse des taux d'exploitation de la maille en fonction de l'exploitation du site.

Zone	Habitat	Taux d'exploitation de la maille (env.)	Exploitation sur le site d'échantillonnage
Fourches	Platier	14%	expl. en 2019
	Récif	11%	non expl.
Men Gwenn	Platier	0.02%	expl. en 2021
	Récif	0%	non expl.
Linioux	Platier	5 %	expl.
	Récif	5%	non exploitable
Remeurs	Platier	1.5% ¹	non expl.
	Récif	2.5%	non expl.

¹ Le rapport de Laurans *et al*, 2022 renseigne un taux d'exploitation de 2.53% en 2021. En effet, le site des Remeurs suivi dans SLAMIR est situé dans un carré du carroyage d'exploitation qui est en partie exploité et en partie non exploité. Ce site est bien localisé dans la partie non exploitée.

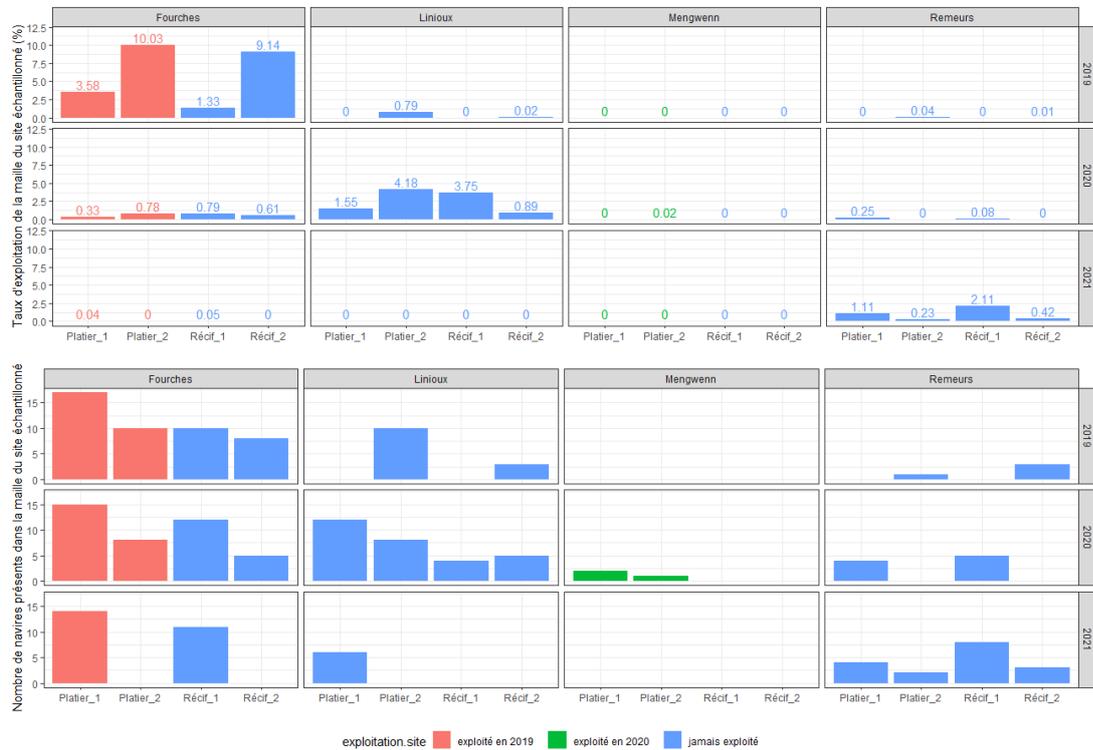


Figure 8. Synthèse des données d'exploitation des laminaires (en haut) et de nombre de navires goémoniers dans la maille (en bas) pour chaque site récif ou platier de l'une des 4 zones échantillonnées lors de SLAMIR pour chaque saison. Les couleurs représentent l'année où le site a été exploité.

3.2 Validation des protocoles Temps et Transect

3.2.1 Complémentarité des deux protocoles

Les 2 protocoles Temps et Transect détectent la majorité des espèces dans les mêmes ordres de grandeur, confirmant leur concordance en termes d'observation (Figure 9). Les taxons uniquement détectés par le protocole Temps ou Transect sont majoritairement des espèces crypto-benthiques (associés à des micro-habitats particuliers) ou à occurrence rare en comptages visuels.

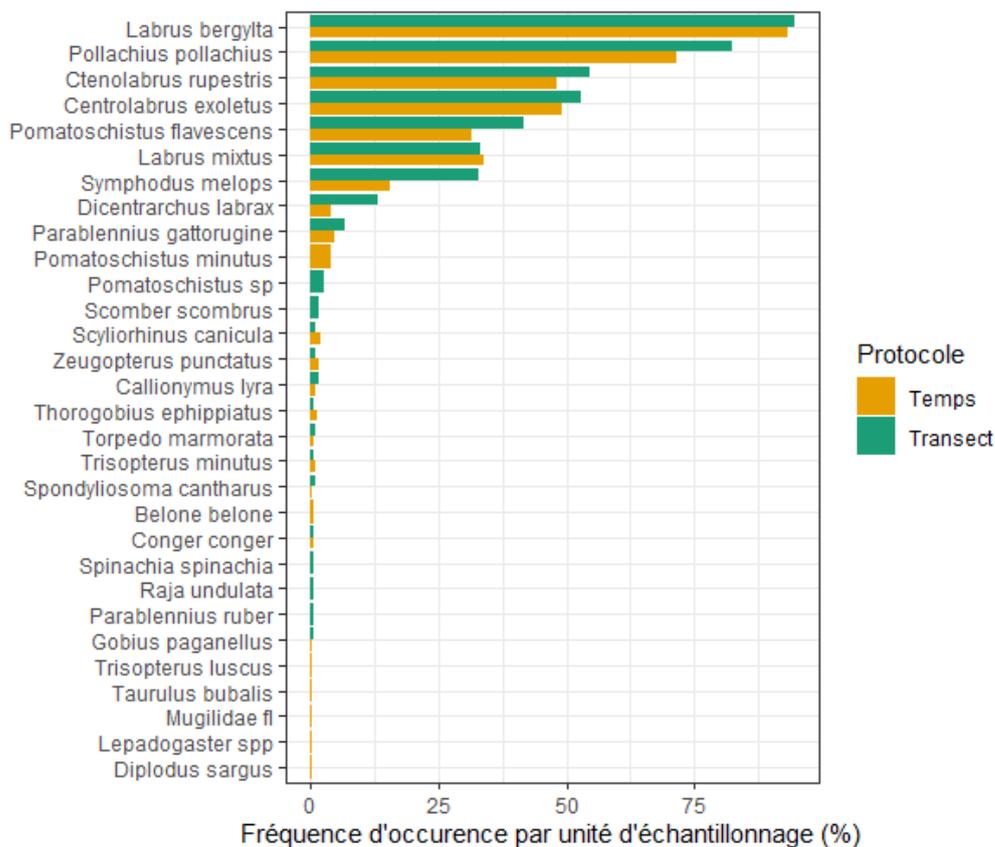


Figure 9. Liste des espèces observées et fréquence d'occurrence par unité d'échantillonnage des taxons observés par les 2 protocoles de comptage.

Les courbes d'accumulation (Figures 10 et 11) confirment ce patron puisqu'on peut observer que les courbes présentent le plus souvent la même évolution quel que soit le protocole de comptage, bien qu'il y ait quelques différences interannuelles ou intersites, notamment en 2021, où le protocole Transect semble avoir détecté une plus grande diversité. Cependant les intervalles de confiance à 95 % des courbes se chevauchant, il est impossible de conclure que l'un des 2 protocoles de comptage détecte systématiquement plus de diversité.

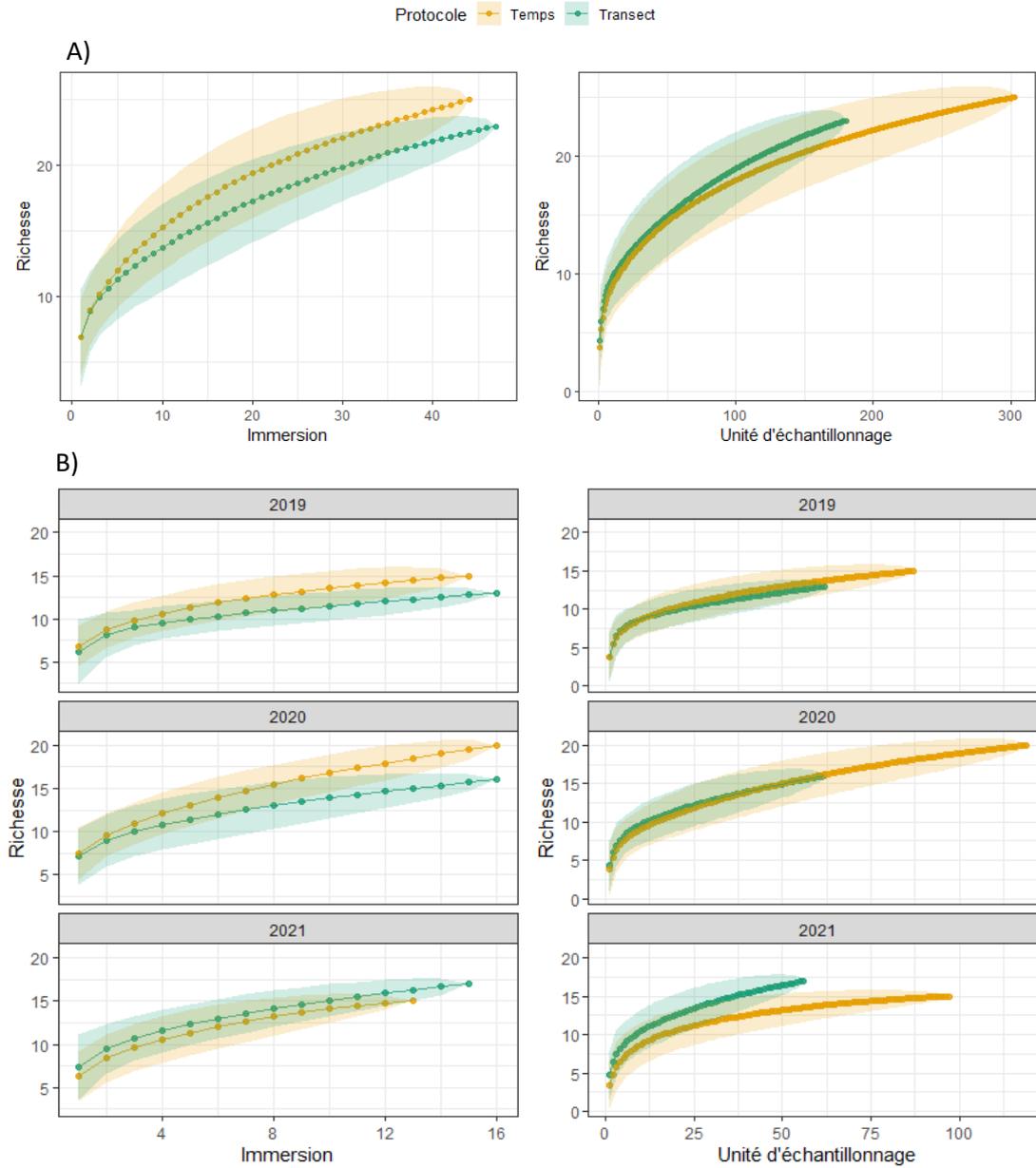


Figure 10. Courbes d'accumulation au niveau immersion et unité d'échantillonnage pour les sites échantillonnés avec les 2 protocoles de comptage sur toutes les années du projet confondues (A) et par année (B).

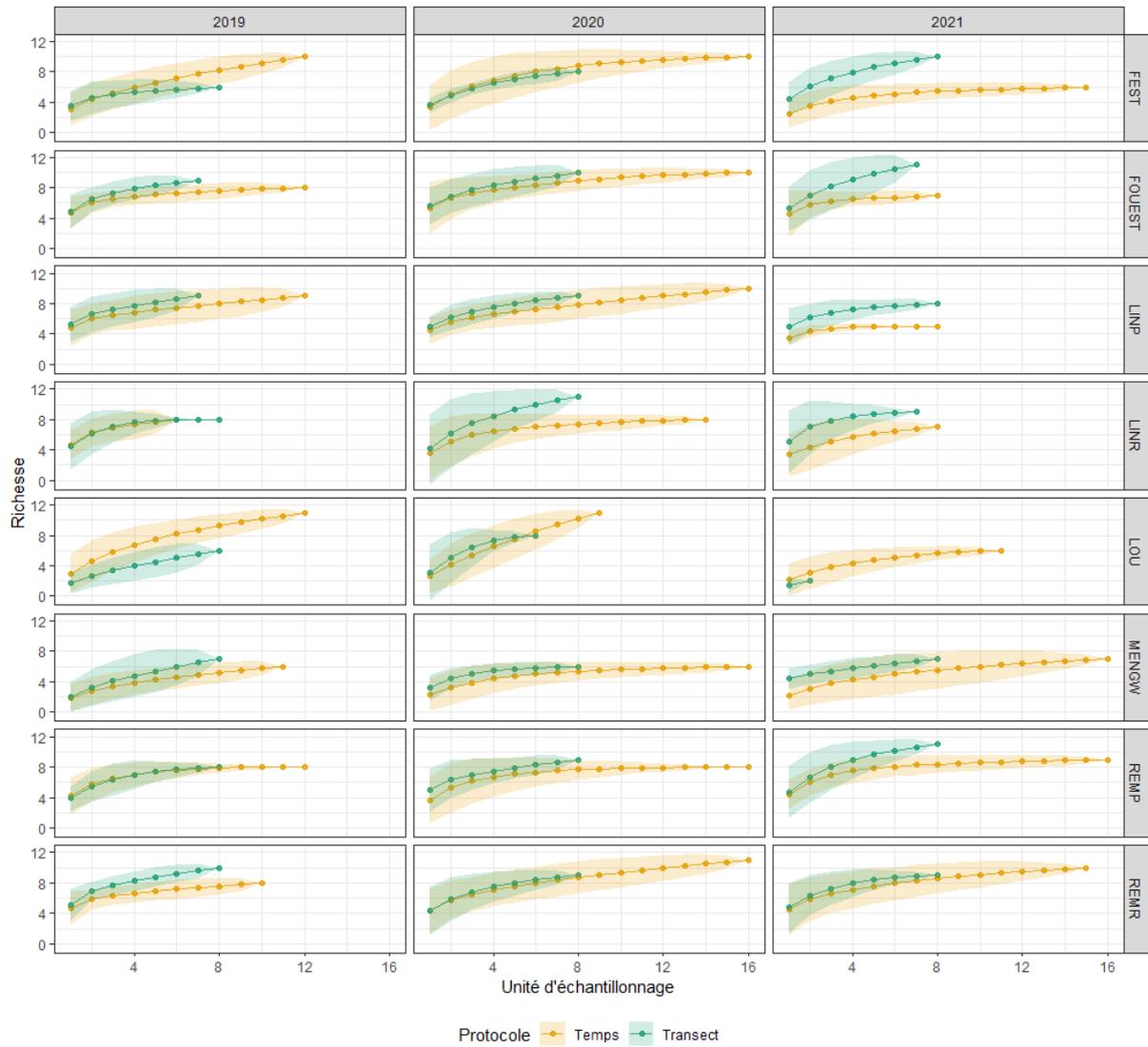


Figure 11. Courbes d'accumulation au niveau immersion et unité d'échantillonnage pour les sites échantillonnés avec les 2 protocoles de comptage par site et année.

Concernant les patrons de diversité β , qui est une mesure de la biodiversité qui consiste à comparer la diversité des espèces entre écosystèmes ou comme dans ce cas, entre protocoles de comptages, une analyse multivariée de co-inertie (Legendre and Legendre, 1998) a été produite. Succinctement, l'objectif d'une analyse multivariée de co-inertie est de décrire la structure commune de deux jeux de données provenant de sites communs. Appliquée aux données d'abondance (espèce, taille individuelle et classe de taille du protocole Temps) des communautés de poissons recensées par chaque protocole de comptage, cette méthode permet de tester l'hypothèse selon laquelle les deux communautés de poissons ont une structure similaire, traduit par la valeur du coefficient RV qui s'apparente à un coefficient de corrélation entre les deux tables d'abondances dans notre cas (tableau 8). Le coefficient RV varie de 0 à 1, avec la valeur de 1 indiquant une corrélation maximale entre les deux jeux de données (Legendre and Legendre, 1998). On peut observer que la corrélation est modérée lorsque les 3 années de suivi sont considérées ensemble ($0.33 \leq RV \leq 0.43$) et que la corrélation est plus forte lorsque l'analyse est faite par année, notamment pour l'année 2021 ($0.67 \leq RV \leq 0.72$). **Le fait que la corrélation soit forte pour 2021 illustre la concordance des 2 protocoles de comptage à observer une diversité β relativement similaire puisque c'est l'année où les périodes d'échantillonnage pour les 2 protocoles de comptage ont été quasiment faites en même temps (Tableau 8). La corrélation plus faible pour les autres années (et par conséquent lorsque les 3 années sont analysées ensemble) pourrait être expliquée par le fait que les périodes d'échantillonnage sont moins proches entre protocoles que pour 2021.** Il est aussi intéressant de constater que pour toutes les comparaisons, l'intégration des données de taille par rapport à l'utilisation seule des espèces permet d'avoir une corrélation plus forte entre les 2 protocoles de comptage, illustrant l'intérêt de cette métrique. De plus, on peut observer que ce sont les mêmes classes de taille qui « tirent » les patrons expliquant la structure commune des communautés observée entre les 2 protocoles de comptage (Figure 12).

Tableau 8. Coefficients RV des analyses de co-inerties comparant les 2 protocoles de comptages pour différentes métriques indicatrices. Le coefficient RV varie de 0 à 1, avec la valeur de 1 indiquant une corrélation maximale entre les deux jeux de données (Legendre and Legendre, 1998).

	Abondance (Temps) vs Densité (Transect) par espèce	Abondance (Temps) vs Densité (Transect) par taille de classe Temps	Abondance (Temps) par taille individuelle vs Densité (Transect) par taille de classe Temps
2019-2020-2021	0.33	0.44	0.43
2019	0.39	0.56	0.51
2020	0.46	0.65	0.60
2021	0.67	0.68	0.72

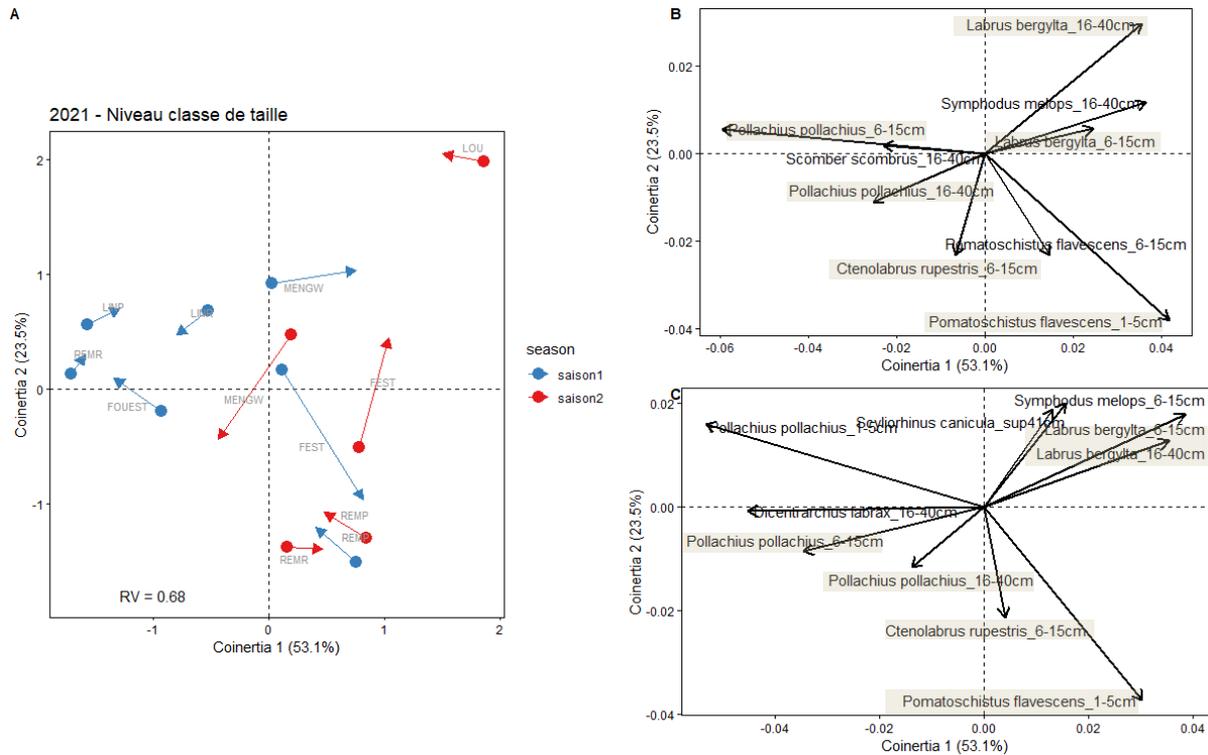


Figure 12. Représentation graphique de l'analyse de co-inertie présentée en Tableau 8 comparant les patrons de diversité β des communautés basées sur les abondances par classe de taille des espèces issues des protocoles Transect et Temps pour les sites du projet SLAMIR en 2021. Les données d'abondance ont été transformées avec la distance Hellinger (Legendre and Gallagher, 2001). Les 2 premiers axes sont montrés et représentent 76.6 % de la variance totale expliquée par la co-inertie dont le coefficient RV est de 0.68. La figure A) indique les positions des sites sur les axes de la co-inertie dont le symbole rond représente le site du protocole Transect et la tête de flèche le site du protocole Temps. Plus la flèche est courte, plus la correspondance entre les 2 projections concorde. Les figures B) et C) indiquent la contribution des groupes de variables (classe de taille - taxons du protocole Transect en B et classe de taille - taxons du protocole Temps en C). Les vecteurs pointant dans la même direction sont corrélés et plus les vecteurs sont longs, plus ils contribuent à la structure. Seuls les 20 % des classe de taille - taxons qui avaient la longueur de vecteur la plus haute sont représentés. Surlignés en beige sont les classes de taille – taxons retrouvés en commun entre les 2 protocoles de comptage.

Synthèse sur la comparaison des protocoles de comptage :

Les deux protocoles de comptage sont concordants dans leurs estimations de richesse spécifique, la fréquence d'observation des espèces ainsi que les patrons de diversité β .

Les deux protocoles de comptages sont complémentaires, grâce à leurs spécificités :

- Le protocole Transect permet d'obtenir des abondances et tailles plus précises et est restreint à une surface spécifique, ce qui permet des calculs de biomasse et de densité plus précis comparé au protocole Temps. Le protocole Transect permet donc de mieux apprécier la diversité β ;
- Le protocole Temps est beaucoup plus facile à mettre en place que le protocole Transect et permettrait donc a priori d'échantillonner à plus large échelle et/ou haute fréquence, grâce à l'implication des agents du parc et éventuellement des bénévoles. Il serait par ailleurs plus

efficace pour l'estimation de la diversité α d'un site (nombre maximum d'espèces observées dans un site).

3.2.2 Retour sur l'utilité des rôles Haut et Bas des plongeurs

Autant pour le protocole comptage-transect que pour le protocole comptage-temps, le rôle Bas « B2 » détecte une plus grande diversité que le rôle Haut « H4 » (Figure 13). Cependant, le rôle H4 reste essentiel afin de détecter les taxons benthopélagiques tels que le lieu jaune (*P. pollachius*) ou le bar (*D. labrax*) (Figure 14). Il est donc important de garder le rôle Haut en plus du Bas afin de (1) mieux évaluer la diversité/composition du peuplement, et (2) évaluer au mieux l'abondance de ces espèces benthopélagiques à fortes valeurs commerciales et écologiques.

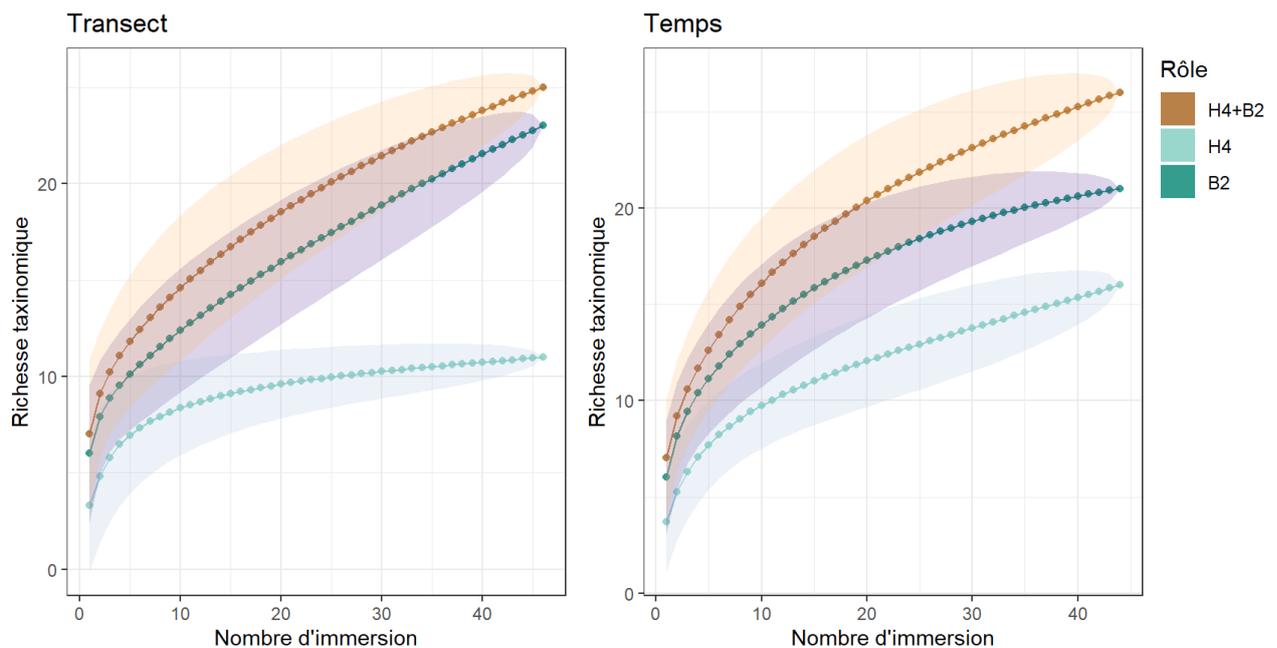
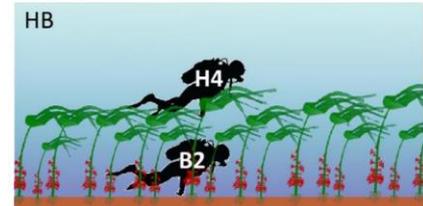


Figure 13. Courbe d'accumulation pour chaque protocole de comptage comparant la richesse accumulée en considérant les observations des 2 rôles (H4+B2) ou celles du rôle Haut ou Bas uniquement.

Haut Bas - espèces présentes dans plus de 10 transects

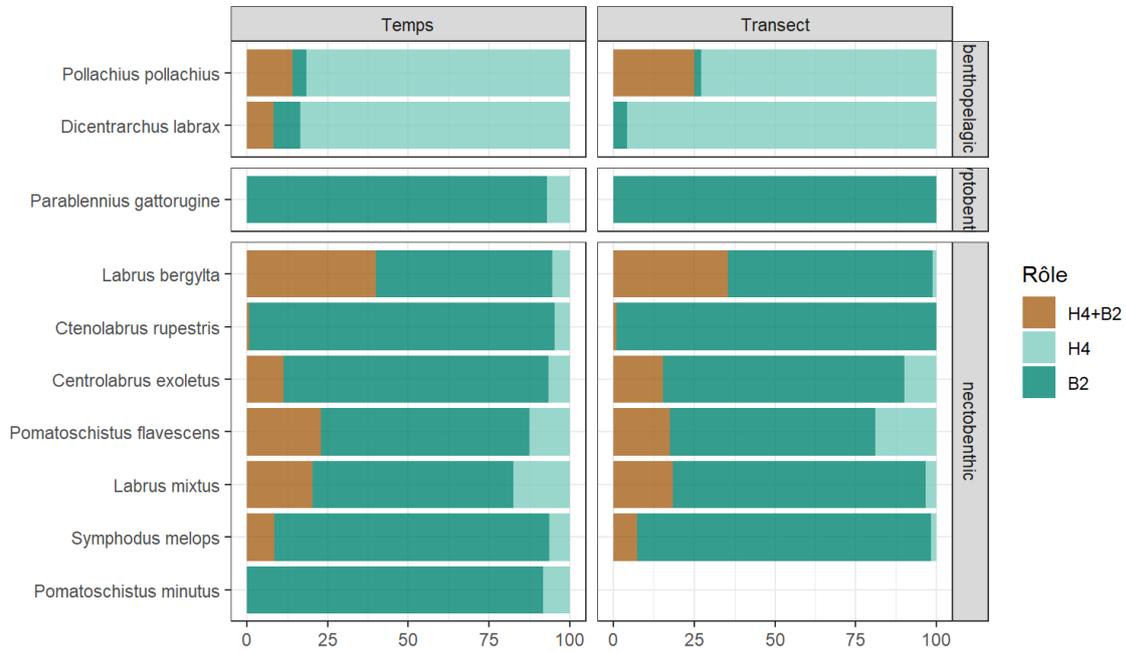


Figure 14. Détectabilité de chaque rôle en fonction des préférences d'habitat pour les espèces les plus fréquentes en infralittoral. Pourcentage des transects pour chaque protocole de comptage dans lesquels les espèces sont observées par les 2 rôles (H4+B2), par le rôle Haut ou par le rôle Bas.

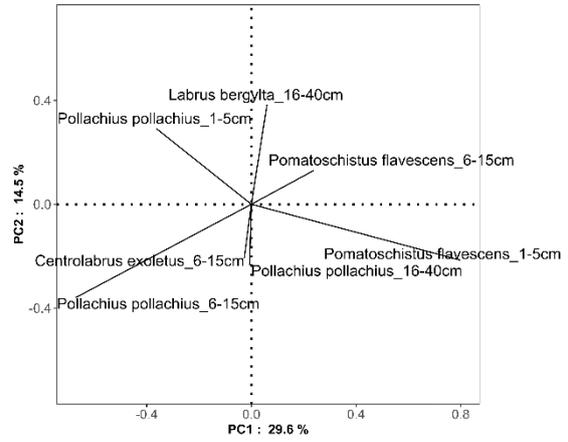
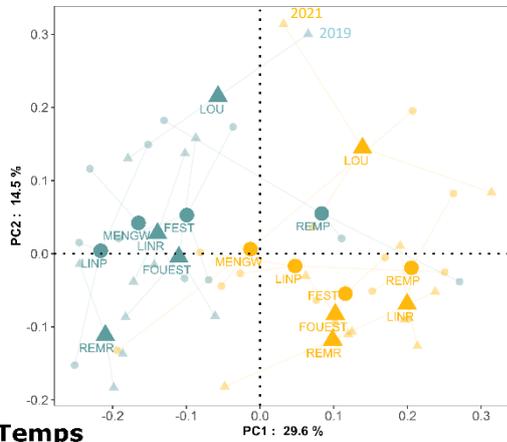
3.3 Structure et variabilité du peuplement de poisson associé aux champs de laminaires

La saisonnalité est le facteur structurant le plus important à l'échelle du peuplement, comme l'indiquent les résultats de l'ACP, méthode d'ordination non-contrainte, (Figure 15) ainsi que les résultats de la RDA, méthode d'ordination contrainte (Figure 16). On peut observer que le lieu jaune et le gobie nageur sont deux espèces qui caractérisent l'importance de la saisonnalité au niveau du peuplement. En effet, pour le lieu jaune on observe qu'en saison 1, les individus les plus abondants sont des petites classes de taille correspondant à des juvéniles (1 à 5 cm et 6 à 15cm) alors qu'en saison 2, ce sont des plus grands individus (16 à 40cm). Pour le gobie nageur, les individus sont plus abondants en saison 2 qu'en saison 1 qu'importe la classe de taille (1 à 5 cm et 6 à 15cm). Concernant la diversité α , la saison n'a pas d'impact significatif sur la richesse spécifique totale mais il semble qu'en moyenne plus d'espèces rares soient observées en saison 2 (test de comparaison des moyennes de l'indice de Shannon significatif à 0.05) (Figure 9, 17).

Les sites récif et platier échantillonnés avec le protocole Temps et le site récif uniquement avec le protocole Transect de la zone Men Gwenn se séparent des autres sites sur l'axe 2 de l'ACP. Diverses raisons peuvent expliquer les différences de communautés avec les autres sites (Figure 15). En effet, durant 2020 une disparition des laminaires non associée à l'exploitation a eu lieu, disparition qui pourrait être due à un phénomène de nécrose des laminaires (Figure 18) et en 2021 les conditions météorologiques ont entraîné une mauvaise visibilité lors de l'échantillonnage conduisant à une baisse des observations.

Le type d'habitat (platier vs récif) a un faible impact sur la structure des communautés (Figures 15 et 16). Ce patron est aussi observé au niveau de la diversité α (richesse spécifique et indice de Shannon, Figure 19). Cependant, on peut observer que sur l'abondance des 7 espèces les plus fréquemment observées lors des comptages (*i.e.* *Labrus bergylta*, *Pollachius pollachius*, *Ctenolabrus rupestris*, *Centrolabrus exoletus*, *Pomatoschistus flavescens*, *Labrus mixtus* et *Symphodus melops*), pour 3 d'entre elles (*Centrolabrus exoletus*, *Ctenolabrus rupestris* et *Labrus mixtus*), la moyenne d'abondance est significativement plus haute dans les sites récif que platier pour les 2 protocoles de comptage (Figures 20 et 21). Pour le lieu jaune, cette tendance n'est significative qu'avec les observations du protocole Temps. On peut observer que pour *Centrolabrus exoletus*, *Ctenolabrus rupestris* et *Labrus mixtus* ce sont dans les zones où la distinction entre platier et récif est la plus évidente, Fourches et Remeurs (voir section 3.1.1, figure 6), que l'abondance est plus forte dans les récifs que dans les platiers (Figure 21).

Transect



Temps

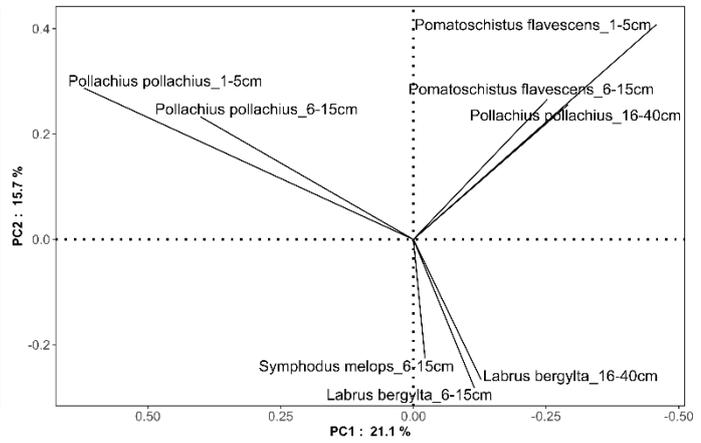
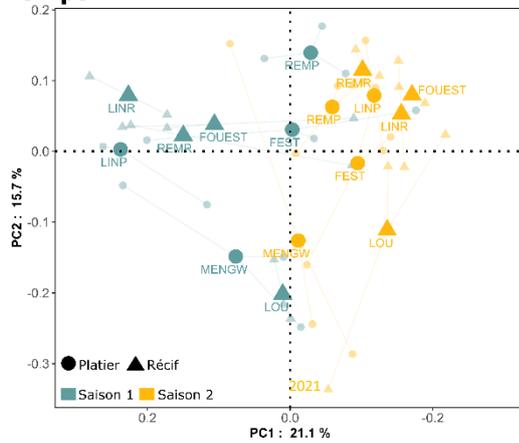


Figure 15. Représentation graphique de l'Analyse en Composantes Principales à partir des données d'abondance par classe de taille pour les 2 protocoles de comptage. Les matrices de communautés ont été transformées avec la distance de Hellinger (Legendre and Gallagher, 2001). A gauche : la position des immersions de chaque année est représentée ainsi que le centroïde des 3 années (point plus gros reliant les points des 3 années). A droite : la direction des vecteurs des classes de taille par taxon. Seuls les vecteurs dont la longueur est supérieure à 0.2 sont représentés.

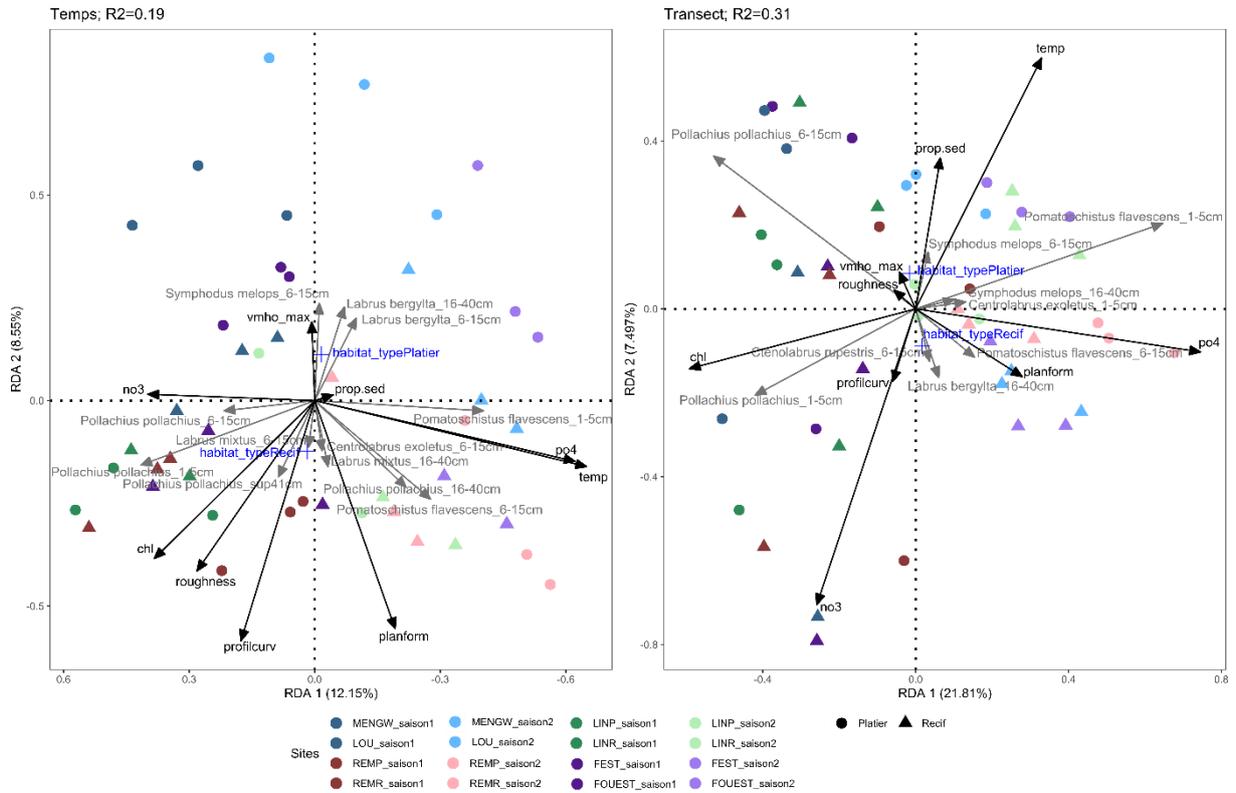


Figure 16. Représentation graphique des analyses de redondances (RDA) effectuées à partir des données d'abondance par classes de taille issues des 2 protocoles de comptage. Les matrices de communautés ont été transformées avec la distance Hellinger (Legendre and Gallagher, 2001). Pour les vecteurs représentant les taxons par classe de taille, seuls les vecteurs dont la longueur est supérieure à 0.1 sont représentés.

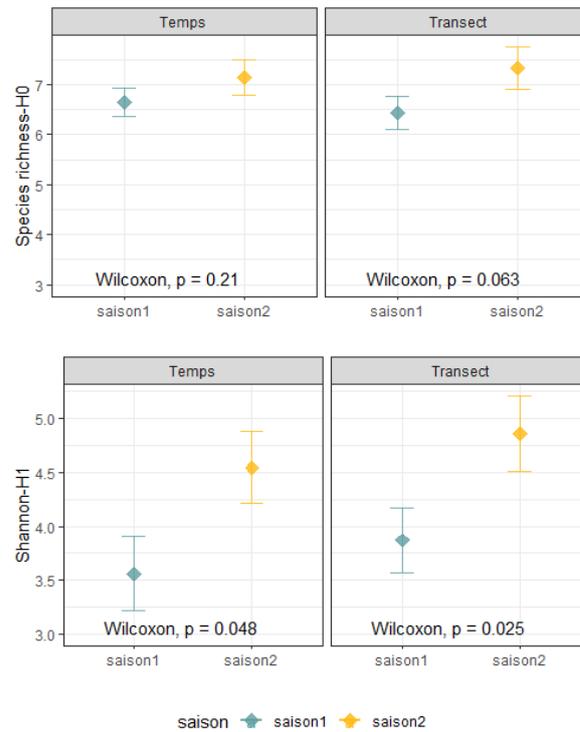


Figure 17. Moyenne (et intervalle de confiance à 95%) de la richesse spécifique (nombre moyen de taxons observés par unité d'échantillonnage ; h0) et de l'indice de Shannon (h1) calculée à partir des indices de Hill par protocole et saison



Figure 18. Photo illustrant la disparition des laminaires sur les sites platier et récif de Men Gwenn en Juin 2020. Causes possibles de la disparition : maladie, tempête, ... mais pas d'exploitation

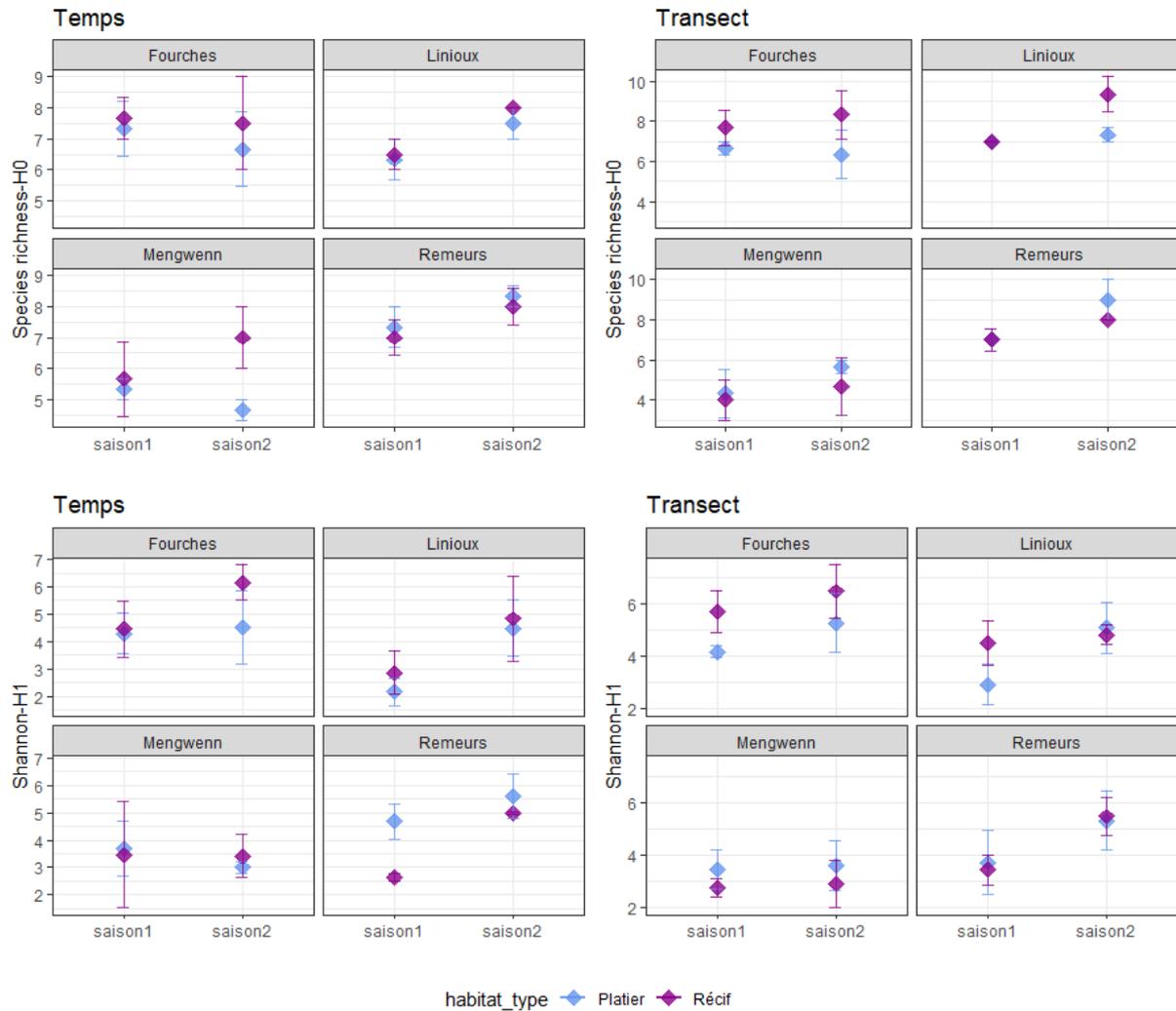


Figure 19. Moyenne (et intervalle de confiance à 95%) de la richesse spécifique (nombre moyen de taxons observés par unité d'échantillonnage ; h0) et de l'indice de Shannon (h1) calculée à partir des indices de Hill par protocole et par type d'habitat.

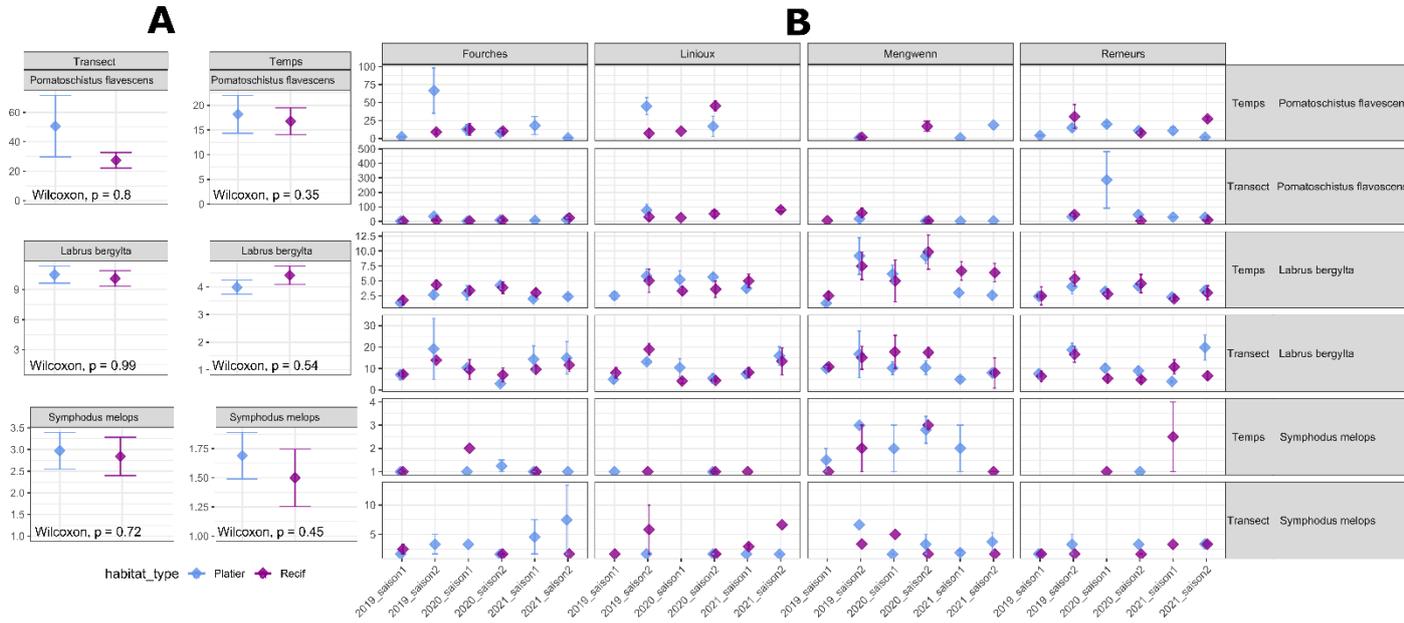


Figure 20. Moyenne (et intervalle de confiance à 95%) de la densité (individus/100 m²) pour le comptage Transect et l'abondance pour le comptage Temps des espèces les plus fréquemment observées pour lesquelles il n'y a pas de différence significative de moyenne entre platier et récif. (A) Moyenne entre platier et récif par unité d'échantillonnage (B) Moyenne entre platier et récif par unité d'échantillonnage par année et saison.

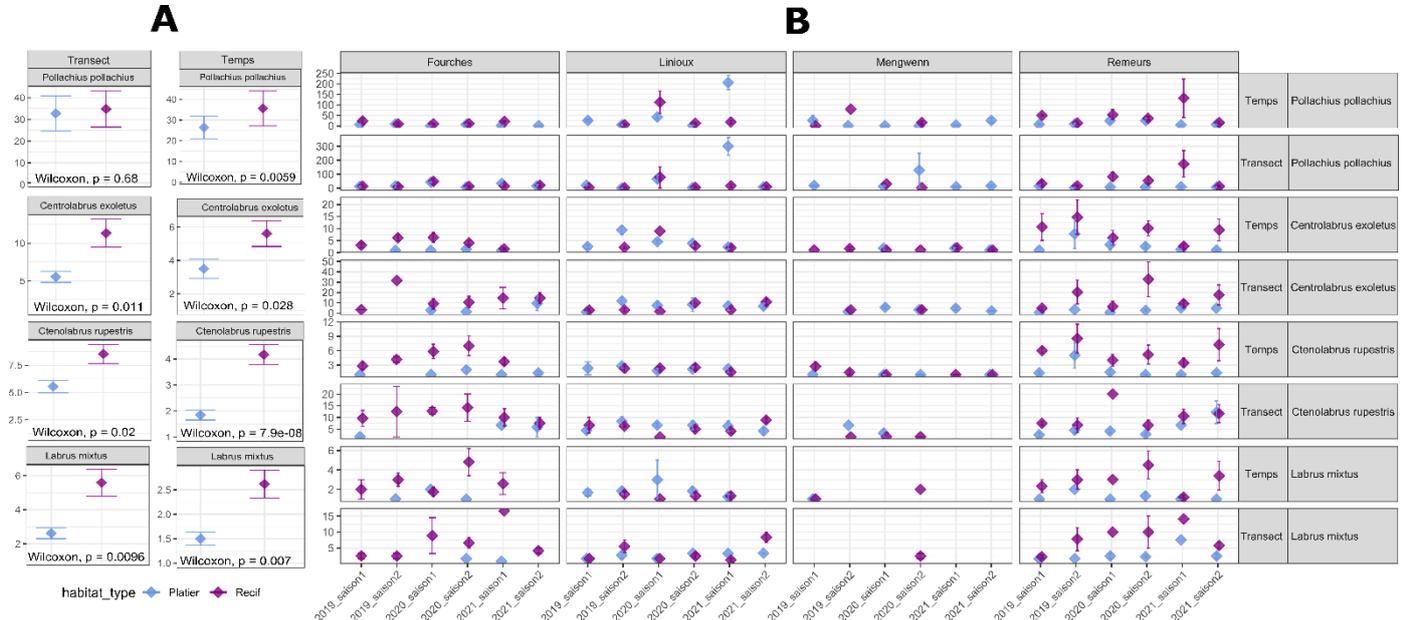


Figure 21. Moyenne (et intervalle de confiance à 95%) de la densité (individus/100 m²) pour le comptage Transect et l'abondance pour le comptage Temps des espèces les plus fréquemment observées pour lesquelles il y a une différence significative de moyenne entre platier et récif. (A) Moyenne entre platier et récif par unité d'échantillonnage (B) Moyenne entre platier et récif par unité d'échantillonnage par année et saison.

Synthèse sur la structure des communautés :

- La saisonnalité est le facteur le plus structurant des assemblages de poissons, principalement expliqué par les abondances des différents stades de vie du lieu jaune et du gobie nageur, espèces les plus abondantes.
- *A priori*, la topographie récif vs platier a un faible impact sur les assemblages de poissons ainsi que sur la diversité, cependant pour quelques espèces (*Centrolabrus exoletus*, *Ctenolabrus rupestris* et *Labrus mixtus*) il semble que les récifs présentent des abondances plus fortes que les platiers.

3.4 Effet potentiel de l'exploitation goémonière de *Laminaria hyperborea*

Plusieurs points de vigilance existent concernant l'utilisation des données à disposition dans le but de comprendre si l'exploitation peut avoir un effet sur les assemblages de poissons :

- L'échantillonnage des peuplements de poissons a été effectué après la saison d'exploitation pour la saison 1 et pendant la saison d'exploitation pour la saison 2. Il est possible que l'effet de l'exploitation via dérangement sonore et/ou mouvements des poissons soit donc potentiellement différent entre les 2 saisons d'échantillonnage. Cependant, comme vu dans la section 3.3, la saison est le facteur le plus structurant des peuplements de poissons. Les 2 facteurs (saisonnalité et saison d'exploitation) sont donc confondants.

- Il n'y a qu'un site (Les Fourches platier, FEST) fortement exploité contre 6 non exploités et 1 quasi pas exploité (Men Gwen). Il existe des gradients d'exploitation selon la localisation ; en effet, en fonction du champ, de son exposition, de la distance par rapport au port de débarquement, l'exploitation goémonière n'est pas la même partout. Il était initialement prévu d'avoir deux paires de sites « platier », présentant chacune un platier exploité et un platier non exploité (Men Gwen exploité vs Remeurs non exploité ; les Fourches exploité vs les Linioux non exploité). Cependant, Men Gwen n'étant presque pas exploité, cette paire de site ne peut pas être incluse dans analyse l'effet de l'exploitation. Il ne reste donc que la paire Fourches/Linioux. Il n'y a donc aucune réplication, ce qui ne permet pas de comparer de manière statistique ni même de manière qualitative, si la différence est liée au niveau d'exploitation et/ou à tout autre variable naturelle et/ou anthropique variant d'un site à l'autre (pour plus de détail, voir par exemple l'article de Guidetti et al, 2002).

Les facteurs confondants ainsi que l'absence de gradient d'exploitation, disponibles au moment de la rédaction de ce rapport, rendent impossible les tests d'inférences. Nous avons donc décidé de présenter des graphes exploratoires comparant les abondances totales et des 7 espèces les plus fréquentes pour les zones Les Fourches et Les Remeurs (Figures 22 et 23). Ces 2 zones ont été choisies car pour Les Fourches il y a eu de l'exploitation dans la maille et particulièrement sur le site platier échantillonné et pour Les Remeurs il n'y a pas eu d'exploitation (site contrôle ou témoin non exploité).

Ces visualisations ne mettent en évidence aucune différence claire entre les sites exploités et non exploités. Cependant, les données à disposition ne sont pas suffisantes pour statuer sur l'existence d'un effet ou non de l'exploitation des champs de laminaires sur les abondances des poissons de roche.

Il n'est pas possible de savoir s'il y a un effet de l'exploitation qui a été masqué par la variabilité spatiale naturelle, ou s'il n'y a pas d'effet.

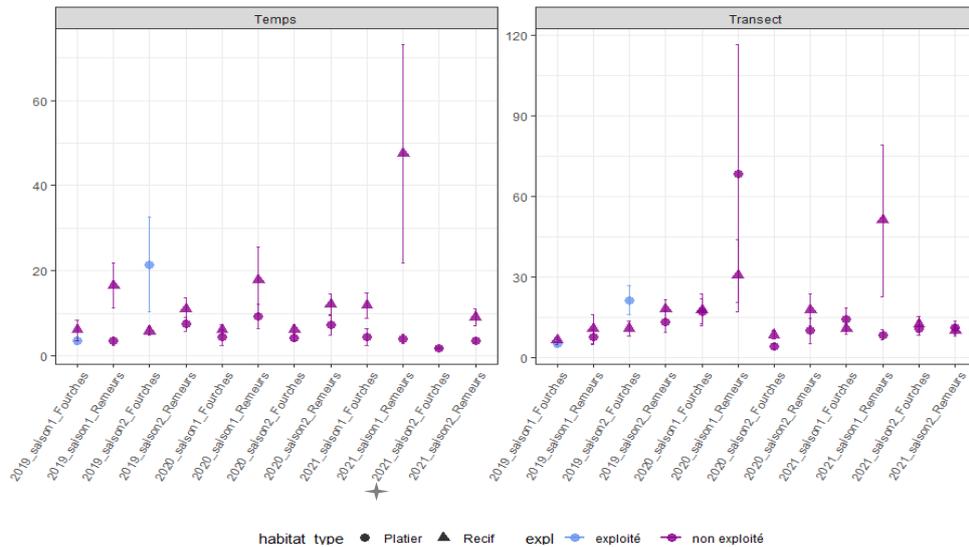


Figure 22. Moyenne (et intervalle de confiance à 95%) de la densité (individus/100 m²) totale pour le comptage Transect et l'abondance totale pour le comptage Temps par unité d'échantillonnage. La couleur indique si le site (platier ou récif) a été exploité. La croix en dessous du site « 2021_saison2_Fourches » indique que l'échantillonnage n'a pas eu lieu pour le site récif FOUEST avec le protocole Temps.

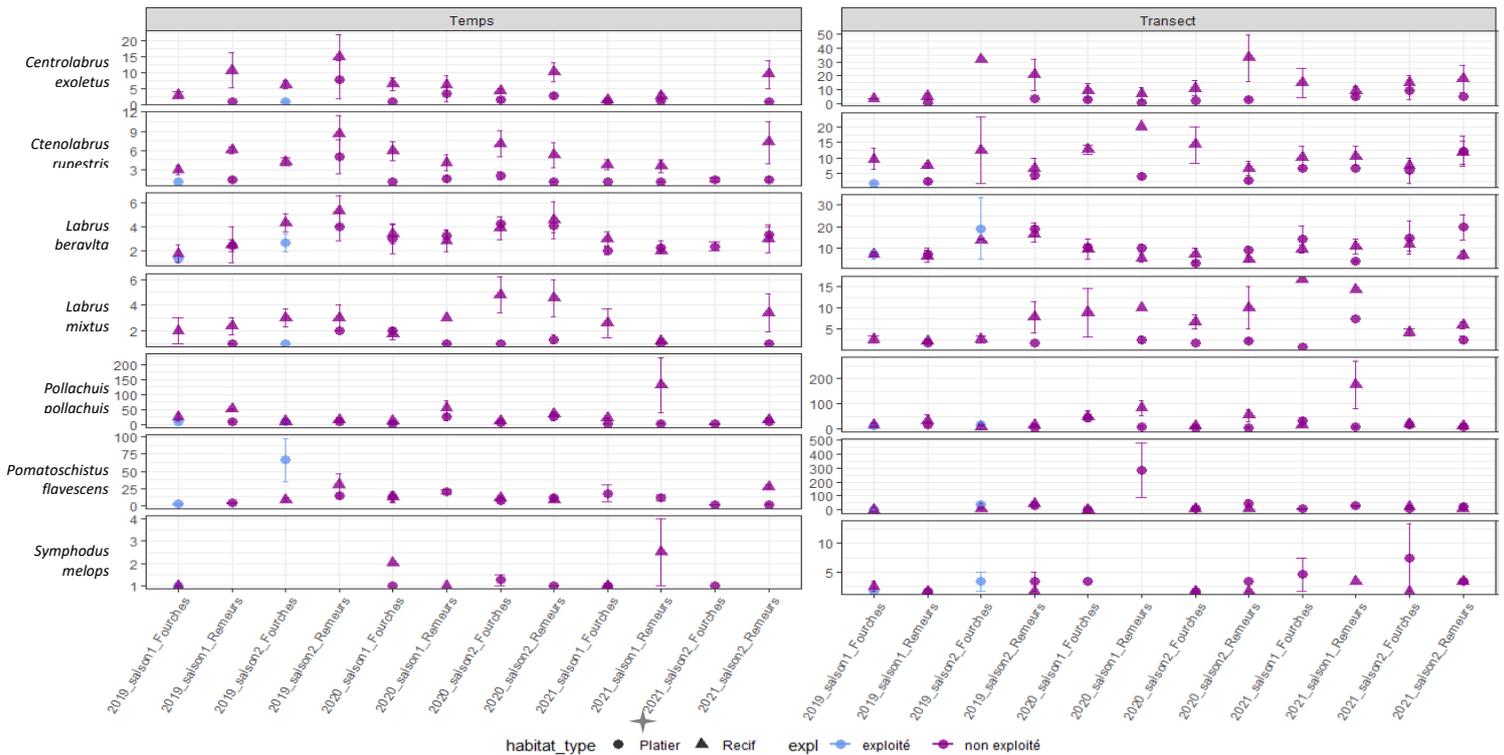


Figure 23. Moyenne (et intervalle de confiance à 95%) de la densité (individus/100 m²) pour le comptage Transect et l'abondance pour le comptage Temps par unité d'échantillonnage pour les 7 espèces les plus fréquemment observées. La couleur indique si le site (platier ou récif) a été exploité. La croix en dessous du site « 2021_saison2_Fourches » indique que l'échantillonnage n'a pas eu lieu pour le site récif FOUEST avec le protocole Temps.

4 Conclusions et perspectives

Les 4 objectifs opérationnels qui ont guidé les travaux étaient les suivants :

- (1) Évaluer l'efficacité des protocoles de comptage (Transect et Temps) déployés dans le cadre d'un suivi des peuplements de poisson au sein du PNMI
- (2) Caractériser la structure du peuplement de poisson (diversité, abondance et spectre de taille) associé aux champs de laminaires à dominance de *L. hyperborea* du PNMI. Dédire les fonctionnalités associées
- (3) Évaluer l'impact potentiel de l'exploitation des champs de laminaires sur les peuplements de poissons
- (4) Proposer des améliorations et compléments de protocoles en vue d'établir un suivi long terme des poissons rocheux au sein du PNMI

4.1 Efficacité et complémentarité des protocoles de comptage Transect et Temps

Les comptages visuels apparaissent comme une méthode appropriée pour surveiller les peuplements de poissons inféodés aux champs de laminaires, surtout pour échantillonner des métriques de structure telles que abondances et spectres de taille, pour les espèces nectobenthiques diurnes. Le développement du protocole POCOROCH et la mise en place d'un réseau de suivi vise à répondre en premier lieu aux besoins de surveillance et d'évaluation formulés par la Directive Cadre Sur le Milieu Marin (DCSMM), ainsi qu'aux besoins locaux des différents partenaires et membres du réseau.

Les deux protocoles de comptages POCOROCH (version 2020 +) sont complémentaires d'un point de vue précision des données collectées (meilleures avec le comptage-transect) et d'un point de vue potentiel de mise en œuvre à large échelle (meilleur avec le comptage-temps). Ils permettent donc de répondre aux besoins de suivi du PNMI et de surveillance de la DCSMM.

Précision des données collectées, évaluée en regard des descripteurs DCSMM que le protocole POCOROCH a été développé pour renseigner :

Descripteur DCSMM	Critère	Métrique	Comptage Transect	Comptage Temps	Remarque
D1 (Population)	D1C2	Abondance	+++	++	Unité d'échantillonnage mieux définie par transect
	D1C2	Biomasses	+++	+	Idem + grosse perte de précision par comptage temps car relations taille-poids calculées sur classe de taille et non taille précise
	D1C3	Spectre de taille	+++	+	Grosse perte de précision par comptage temps car abondances par classe de taille et non taille précise
	D1C4 (en complément de l'ADNe) et D1C5	Potentiellement toutes les métriques ci-dessus	+++	+	La distribution biogéographique et le lien avec l'habitat (et ses fonctions) peut/doit être étudiée

					au regard des différentes métriques
D4 (Peuplement)	D4C1 (en complément de l'ADNe)	Composition en espèces	++	+++	L'aspect semi-aléatoire du comptage temps favoriserait la détection d'un plus grand nombre d'espèces (voir section Erreur ! Source du renvoi introuvable.) Pour les 2 protocoles, certaines espèces sont mal détectées (voir Erreur ! Source du renvoi introuvable. et Erreur ! Source du renvoi introuvable.)
	D4C2	Abondances par guildes	+++	++	Unité d'échantillonnage mieux définie par transect
	D4C2	Biomasses par guildes	+++	+	Idem + grosse perte de précision par comptage temps car relations taille-poids calculées sur classe de taille et non taille précise
	D4C3	Spectre de taille des guildes	+++	+	Grosse perte de précision par comptage temps car abondances par classe de taille et non taille précise

Potentiel de mise en œuvre à large échelle :

		Comptage Transect	Comptage Temps
		<i>Formation initiale</i>	10 jours
Déploiement du protocole à large échelle	<i>Recyclage annuel</i>	5 jours	1-2 jours
	<i>Intégration des sciences participatives</i>	Protocole trop complexe	Protocole adapté
	<i>Nombre de sites échantillonnés</i>	Conditionné par le nombre d'agents experts formés 1 site = 2 plongées à 2 plongeurs experts	Potentiellement largement supérieur au comptage Transect 1 site = 2 plongées à 2 plongeurs

Compte tenu de ces complémentarités, nous recommandons de développer **des stratégies d'échantillonnages d'observatoires état-pression, qui auront des fréquences spatio-temporelles différentes :**

(1) le protocole comptage-transect, apportant des données plus précises, mais restreint à un faible nombre d'opérateurs experts, est à mettre en œuvre dans les sites les plus stratégiques (aux extrémités des gradients environnementaux), à une fréquence pluriannuelle (*via* une rotation de sites, à l'instar des suivis DCE-Roches subtidales).

(2) le protocole comptage-temps, apportant des données moins précises pour un site donné, mais pouvant être réalisé par un plus grand nombre d'opérateurs (gestionnaires AMPs, bénévoles), est à mettre en œuvre dans un plus grand nombre de site (distribués le long des gradients environnementaux) et potentiellement suivant une fréquence annuelle. Le nombre de sites et la fréquence temporelle seront définis pour compléter les suivis transect mais aussi pour satisfaire les

objectifs propres des opérateurs locaux. Ils ont en effet parfois des besoins qui vont au-delà de ceux de la DCSMM. Ils pourront satisfaire leurs besoins grâce au protocole comptage-temps, et ce sera des informations complémentaires pour l'évaluation DCSMM. Pour cela, au moins une partie des sites et années d'échantillonnage devront être communs aux deux protocoles, afin de maintenir l'inter-calibration.

4.2 Structure des peuplements de poissons dans les champs de laminaires du PNMI

L'hypothèse 1 « Les récifs accueillent des peuplements de poissons plus denses et diversifiés que les platiers » est validée dans une certaine mesure. En effet, les peuplements de poissons dans les champs de *Laminaria hyperborea* au sein du PNMI présentent une forte variabilité saisonnière, et des différences d'abondance entre platiers et récifs pour certaines espèces et/ou stade de vie. Les juvéniles de lieu jaune, notamment, sont très abondants, en particulier au printemps dans les récifs et autre zones accidentées (eg. Basse Vihan), ce qui suggère une fonctionnalité nourricière des champs de *L. hyperborea* pour cette espèce commerciale.

Au cours des suivis en plongée, plusieurs fonctionnalités ichtyologiques supplémentaires des champs de *L. hyperborea* ont été identifiées. Les fonctions d'habitat permanent et d'alimentation de cet habitat pour de nombreuses espèces de poissons, dont les gadidés et les labridés, sont également reconnue dans la littérature (Bertocci, Araùjo, Oliveira, & Sousa-Pinto, 2015; Norderhaug, Christie, Fossa, & Fredriksen, 2005). De plus, l'utilisation des champs de laminaires comme habitat de ponte ou de nidification a été observée à de nombreuses reprises, notamment par le labre *Symphodus bailloni* (Figure 24).



Figure 24 : *Symphodus bailloni* gardant son nid.

4.3 Evaluation de l'impact potentiel de l'exploitation de *L. hyperborea* sur les peuplements de poissons

La stratégie d'échantillonnage n'a pas permis de tester les potentiels effets du système d'exploitation. Il n'est donc pas possible de statuer sur les hypothèses 2 « L'exploitation de *L. hyperborea* sur les platiers affecte les peuplements de poissons vivant sur ces mêmes platiers (via modification de l'habitat et/ou dérangement sonore, impossible à discerner) » et 3 « L'exploitation de *L. hyperborea* sur les platiers affecte les peuplements de poissons vivant dans les récifs adjacents (via dérangement sonore et/ou mouvements des poissons, impossible à discerner) », du fait du manque de puissance statistique notamment. Le retour d'expérience de SLAMIR et la récente disponibilité des données d'exploitation permettra à l'avenir de sélectionner un ensemble de sites cohérents selon leur niveau d'exploitation effectif.

Cependant, il n'est pas exclu que l'exploitation goémonière ait un impact sur les peuplements de poissons des platiers à *L. hyperborea*. En effet, des impacts négatifs de l'exploitation des laminaires ont été documentés en Norvège. Il a été montré dans cette étude que l'exploitation des champs de laminaires pouvait impacter négativement les fonctionnalités de nourriceries et d'alimentation de cet habitat, ce qui peut en retour engendrer des modifications dans le réseau trophique et la disponibilité en proie pour des prédateurs comme le grand cormoran *Phalacrocorax carbo* (Lorentsen, Sjøtun, & Grémillet, 2010). Les auteurs de cette étude spécifique au cadre de gestion de *L. hyperborea* en Norvège, qui est bien différent de celui de *L. hyperborea* en France (Bretagne), appellent donc à une réévaluation des pratiques de gestion liées à l'exploitation goémonière.

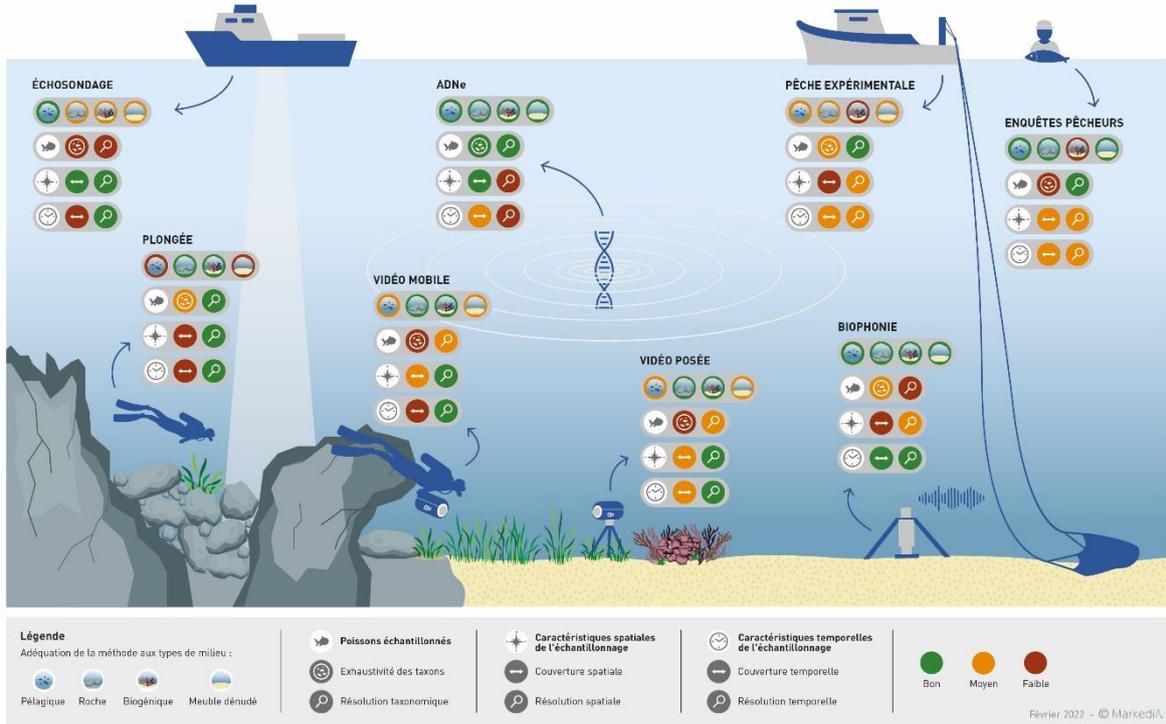
4.4 Perspectives d'amélioration et de complément de protocoles

En perspectives, afin de mieux évaluer l'importance des fonctionnalités ichthyologique des champs de *L. hyperborea*, il serait intéressant de comparer les structures de peuplements de poissons entre cet habitat et les autres habitats structurellement complexes caractéristiques de la région, en appliquant le protocole POCOROCH dans les champs d'himanthalles, les herbiers à zostères, les fonds de maerls et les fonds rocheux circalittoraux notamment.

D'autres phénomènes sont encore à appréhender, tels que les courants de marées et la micro-topographie, qui semblent avoir un effet interactif sur la distribution à fine échelle des poissons (via comportement alimentaire et repos). Notamment les lieux jaunes juvéniles s'agrègent à l'abri du courant derrière les roches (e.g. Men Gwen) et les têtes de récifs. Cela inclut de la patchiness à l'échelle des surfaces échantillonnées en plongées. Une méthode d'échantillonnage à plus large échelle telle que l'échosondage serait complémentaire pour mieux apprécier ce phénomène et mieux comprendre les fonctionnalités des champs dans leur ensemble.

Plus généralement, il est intéressant d'envisager une combinaison de méthode pour mieux évaluer les différentes facettes de la biodiversité et la structure des peuplements de poissons en milieux côtiers.

Suivis des poissons côtiers - Méthodes complémentaires



5 Références

- Bertocci, I., Araùjo, R., Oliveira, P., & Sousa-Pinto, I., 2015. Review: Potential effects of kelp species on local fisheries. *Journal of Applied Ecology*.
- Derrien-Courtel, S., Le Gal, A., 2013. Protocole de surveillance DCE pour l'élément de qualité « Macroalgues subtidales » : Bilan et Perspectives. Contrat IFREMER-MNHN, Décembre 2013, 45p.
- Legendre, P., Gallagher, E.D., 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129, 271–280. <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- Legendre, P., Legendre, L., 1998. *Numerical Ecology, Developments in Environmental Modelling*, Developments in Environmental Modelling. Elsevier.
- Lorentsen, S.-H., Sjøtun, K., & Grémillet, D., 2010. Multi-trophic consequences of kelp harvest. *Biological Conservation*.
- Norderhaug, K., Christie, H., Fossa, J., & Fredriksen, S., 2005. Fish-macrofauna interactions in a kelp (*Laminaria hyperborea*) forest. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, Volume 85, Issue 5*, 1279 - 1286.
- Popper, A. N., & Hastings, M. C., 2010. The effects of human-generated sound on fish. *Integrative Zoology*, 10.
- Rey, A., Gauthier, O., Delesalle, M., Le Joncour, A., Ternon, Q., Thiriet, P., 2021. Développement méthodologique d'un dispositif de surveillance et d'observation des poissons dans les milieux côtiers rocheux de la façade Atlantique-Manche-Mer du Nord, par comptages visuels en plongée sous-marine. Phase 1 : validation des protocoles et de la stratégie d'échantillonnage intra-site. Rapport PatriNat.
- Thiriet, P., 2016. Développement d'une méthode de suivi des peuplements de Poissons Côtiers des ROches et Herbiers d'Atlantique NE. Bilan intermédiaire 2016. Rapport MNHN-Dinard.
- Thiriet, P., Le Joncour, A., 2020. Guide méthodologique du réseau de suivis POCOROCH : du protocole sous-marin à la bancarisation des données. Rapport PatriNat.
- Weilgart, L. 2018. The impact of ocean noise pollution on fish and invertebrates. Switzerland: Report for OceanCare.



PatriNat (OFB-CNRS-MNHN)

Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel

Muséum national d'Histoire naturelle

CP41 – 36 rue Geoffroy Saint-Hilaire

75005 Paris

www.PatriNat.fr