

# Suivi des habitats à *Sabellaria alveolata* (hermelles) dans le Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis.

Rapport final d'analyse – Projet CoEHCo.

Stanislas F. Dubois.

IFREMER Centre de Bretagne, DYNECO-LEBO – Technopole Brest-Iroise, 1625 route de Sainte-Anne – CS10070 – 29280 Plouzané, France.



Rapport produit dans le cadre du projet CoEHCo (partenariat OFB-LPO) qui associe les Réserves naturelles nationales (de la Casse Belle Henriette, de la Baie de l'Aiguillon, de Lilleau des Niges et de Moëze-Oléron ainsi qu'un site contigu à la Réserve du Marais d'Yves) gérées ou cogérées par la LPO, et le Parc (OFB)



Le projet CoEHCo est financé par le FEAMP dans le cadre de la mesure 80 « Protection et amélioration de la connaissance de l'état du milieu marin », volet 2 : Améliorer les connaissances concernant l'état du milieu marin en vue de mettre en place les programmes de suivi et de mesures prévus par la DCSMM.





## Fiche documentaire

Titre du rapport : Suivi des habitats à <i>Sabellaria alveolata</i> (hermelles) dans le Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. Rapport final d'analyse, projet CoEHCo.	
Référence interne : NA	Date de publication : 2023 07 01
Diffusion : <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet)	Version : 1.0.0
<input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d'embargo : AAA/MM/JJ	Référence de l'illustration de couverture : NA
<input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	Langue(s) : français
<b>Résumé/ Abstract</b> : L'objet de ce document est de présenter une synthèse des données collectées dans le cadre du suivi des habitats récifaux à <i>Sabellaria alveolata</i> dans le Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (PNMEGMP), dans le cadre du projet "Connaissance et Evaluation de l'Etat des Habitats benthiques Côtiers" (CoEHCo). Ce travail propose une analyse des données collectées sur 5 sites pendant 4 saisons (été 2020 à été 2022).	
<b>Mots-clés/ Key words</b> : Hermelles • <i>Sabellaria alveolata</i> • récif • estran • régimes récifal • trajectoire écologique Honeycomb worms • <i>Sabellaria alveolata</i> • reef • shore • reef state regime • ecological trajectory	
<b>Comment citer ce document</b> : Dubois S.F. (2023). Suivi des habitats à <i>Sabellaria alveolata</i> (hermelles) dans le Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. Rapport final d'analyse des données 2020-2022 du projet CoEHCo. Rapport Ifremer et Office Français de la Biodiversité, 35 p.	
Disponibilité des données : les données qui ont servi aux analyses sont bancarisées sur le serveur REEHAB (datarmor) et dans la banque de données Quadrigé <sup>2</sup> : elles sont donc accessibles par simple requête.	
DOI :	

Commanditaire du rapport : Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis

Nom / référence du contrat : <input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire <input checked="" type="checkbox"/> Rapport définitif	
Projets dans lesquels ce rapport s’inscrit (programme européen, campagne, etc.) : projet FEAMP CoEHCo, piloté par le Parc naturel marin de l’estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, bénéficiant d’un partenariat avec la Ligue pour la protection des Oiseaux (LPO), associant les Réserves Naturelles Nationales incluses dans le périmètre du Parc : RNN de la Casse de la Belle Henriette, de la Baie de l’Aiguillon, de Lilleau des Niges, du Marais d’Yves, de Moëze Oléron.	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Stanislas Dubois / <a href="mailto:sdubois@ifremer.fr">sdubois@ifremer.fr</a>	Ifremer – ODE/DYNECO/LEBCO
Encadrement(s) : Stanislas Dubois (Ifremer)	
Destinataire : Aschenbroich Adélaïde (OFB) et Eynaudi Amandine (OFB)	
Vérifié par : Aschenbroich Adélaïde (OFB) et validé par : Stanislas Dubois (Ifremer)	

## Table des matières

Introduction .....	8
Le suivi des formations récifales à <i>Sabellaria alveolata</i> .....	8
Les objectifs du projets CoEHCo.....	9
Objectif du présent rapport .....	9
Méthodologie de l'analyse .....	9
Suivis terrain .....	9
Sites pris en compte dans le suivi .....	11
Analyse statistique .....	12
Description écologique des sites suivis .....	15
Site de Vallières (commune de Saint-Georges-de-Didonne) .....	15
Site de Oléron (île d'Oléron – commune de Domino) .....	16
Site de Aix (île d'Aix).....	17
Site des Grenettes (île de Ré – commune de Sainte-Marie de Ré).....	18
Site du Grouin (commune de la Tranche sur Mer) .....	19
Analyses des données .....	20
Classification du régime des sous-quadrats .....	20
Indicateur de risque.....	26
Conclusion générale .....	30
Références bibliographiques .....	31



## Introduction

### Le suivi des formations récifales à *Sabellaria alveolata*

En Europe, les « récifs » sont listés sous l'Annexe 1 de la Directive Européenne Habitat Faune-Flore (Council Directive EEC/92/43) en tant qu'habitats marins à protéger. Ils y sont définis comme des substrats durs compacts d'origine géogénique ou biogénique, qui s'étendent sur des fonds meubles ou solides, et affleurent au niveau des zones littorales et sublittorales (Annexe 2 de la Directive « Habitat, Faune, Flore » et « Oiseaux »). A ce titre, la Directive Cadre sur la Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) a été lancée avec pour objectif l'atteinte du « bon état écologique » des habitats marins. Les habitats récifaux y sont particulièrement ciblés, en particulier les constructions biogéniques. Elles sont reconnues pour jouer de grands rôles écologiques dans les écosystèmes où elles se développent, comme la protection contre l'érosion côtière ou la fourniture de zones d'alimentation et de refuges pour une biodiversité importante.

Les bio-constructions à *Sabellaria alveolata* forment des habitats récifaux intertidaux d'importance écologique sur les côtes européennes en général, et françaises en particulier. L'étude de cet habitat a fait l'objet d'un protocole de terrain détaillé dans le projet REEHAB ([www.hermelles.fr](http://www.hermelles.fr)). Ce protocole propose de suivre de grands quadrats fixes à l'intérieur desquels des variables relatives aux bioconstructions récifales (couverture, hauteur) et aux espèces associées (huîtres, moules, macroalgues) sont suivies. Ce protocole est basé sur l'analyse de séries temporelles car les bioconstructions peuvent évoluer et prendre des formes (« types » en anglais) très variées, selon le substrat et les densités de tubes. Des formes en placages (« veneers » en anglais) sont particulièrement courantes, représentées par des encroutements plus ou moins épais – généralement moins de 5 centimètres – adossés à la roche. Des formations plus épaisses sous forme de monticules sphériques (« hummocks » en anglais) se forment dès lors que les densités de tubes deviennent plus importantes. Dans des conditions optimales de densité, de recrutement de juvéniles et d'apports continus et adaptés en sédiments, les bioconstructions peuvent prendre la forme de structures coalescentes tabulaires (« platforms » en anglais). Les bioconstructions sont des mélanges de tous ces types de structures sur des surfaces dont l'importance dépend de facteurs biotiques et abiotiques encore à déterminer précisément. Et d'une façon générale, certaines zones de ces bioconstructions peuvent être en croissance ou en développement (on parle de phase de progradation) alors que d'autres zones peuvent être en régression (on parle alors de phase de retrogradation).

Le PNMEGMP s'étend sur la façade atlantique au cœur de la zone de distribution de l'espèce *Sabellaria alveolata*. Les récifs les plus hauts sont rencontrés dans des environnements à l'hydrodynamisme et aux environnements sédimentaires particuliers comme la baie du Mont-Saint-Michel ou l'île de Noirmoutier (Barbatre). Néanmoins, le PNMEGMP présente une surface cumulée de récifs d'hermelles bien supérieure à celle des autres localités françaises, en raison de la quantité de substrats propices aux hermelles offert dans ce vaste périmètre. Par ailleurs, la diversité des types de récif (*sensu* Curd *et al.* 2019) est également la plus importante.





Figure 1. Croissance de récifs à *Sabellaria alveolata* (hermelles) sur roches, entre langues de sables moyens. Les récifs en croissance forment des extensions adossées à la roche dont elles se détachent largement. Ces structures (appelées hummocks) sont composées de tubes dont les ouvertures récemment créées ou modifiées par les vers donnent une coloration dorée et très proche du sable environnant. Cliché S.F. Dubois.

## Les objectifs du projets CoEHCo

Dans le cadre du projet FEAMP CoEHCo, qui a pour objectif d'améliorer les connaissances sur les habitats benthiques côtiers et de déployer les protocoles afin d'évaluer et suivre l'état écologique de ces habitats, l'équipe IFREMER LEBCO (responsable d'équipe Stanislas Dubois) a été sélectionnée pour réaliser le suivi des formations récifales à *Sabellaria alveolata* sur 5 sites dans le périmètre du PNMEGMP, selon le protocole national (<https://www.hermelles.fr/content/download/143136/file/>). Les cinq sites de suivi ont été choisis sur la base des connaissances cartographiques actuelles de la distribution de l'espèce dans le Parc. Ils feront l'objet de 5 campagnes d'acquisition (été 2020, hiver 2021, été 2021, hiver 2022 et été 2022) à l'issue desquelles une analyse complète a été réalisée.

## Objectif du présent rapport

L'objet de ce document est de présenter l'analyse des données collectées sur les 5 sites identifiés dans le PNMEGMP pour le suivi des habitats récifaux à *Sabellaria alveolata*, ou récif d'hermelles. Ces sites ont été suivis en période estivale et hivernale entre l'été 2020 et l'été 2022 (5 campagnes). Les données ont été saisies informatiquement et traitées à l'aide du protocole mis au point dans le cadre du projet REEHAB (en cours de finalisation). Le présent rapport détaille ainsi les régimes dans lesquels l'habitat à *Sabellaria alveolata* se trouve dans chacun des sites suivis, et propose une analyse de la dynamique récifale dans le temps, localement, et plus globalement à l'échelle du PNMEGMP. Il ne propose donc pas encore l'analyse de l'« état écologique » des récifs au sens DCSMM même s'il est possible de faire référence à cette évaluation récente qui se nourrit des données ici présentées.

## Méthodologie de l'analyse

### Suivis terrain

Le suivi réalisé sur le terrain est expliqué en détail dans le rapport méthodologique REEHAB. ([https://www.hermelles.fr/content/download/143136/file/REEHAB\\_Guide%20méthodologique%20terrain\\_version%20aout%202020.pdf](https://www.hermelles.fr/content/download/143136/file/REEHAB_Guide%20méthodologique%20terrain_version%20aout%202020.pdf)).

En résumé, 5 quadrats de 25 m<sup>2</sup> décomposés en 25 sous-quadrats de 1 m<sup>2</sup> sont installés de façon pérenne sur les sites de suivi. Ces quadrats sont au même niveau bathymétrique et centrés dans la zone de développement des formations récifales à *Sabellaria alveolata*. Plusieurs variables sont collectées au niveau de chaque sous-quadrat :

- le **pourcentage de récif** – il est demandé d'évaluer la surface recouverte par les tubes de *Sabellaria*. La proportion de substrat recouverte par l'espèce est l'information principale. Un substrat qui tend à être colonisé à 100% indique un substrat favorable et une attractivité maximale des larves dans la colonne d'eau ;
- la **hauteur du récif (cm)** – il est demandé de noter la plus grande hauteur (épaisseur) des bioconstructions, estimée perpendiculairement au substrat sous-jacent. Couplée au pourcentage de couverture, cette valeur fournit une estimation du volume de sédiment bioconstruit ;
- le **pourcentage d'algues vertes** – Ce recouvrement est estimé indépendamment des autres, c'est-à-dire que la somme de tous les recouvrements peut dépasser 100% : en effet, les algues vertes se développent particulièrement bien sur les bioconstructions ;
- le **pourcentage d'algues brunes ou rouges** – Ce recouvrement est estimé également indépendamment des autres : en effet, les algues rouges et les algues vertes peuvent se superposer et se développer sur les bioconstructions ;
- **nombre d'huîtres et de moules** – ces deux espèces se développent en compétition pour la place et la nourriture avec les hermelles ;

Les données collectées sont saisies informatiquement et sauvegardées sur des serveurs dédiés (datarmor). Des photographies de chaque sous-quadrat sont également bancarisées, pour vérification *a posteriori* ou analyses complémentaires futures.

## Sites pris en compte dans le suivi

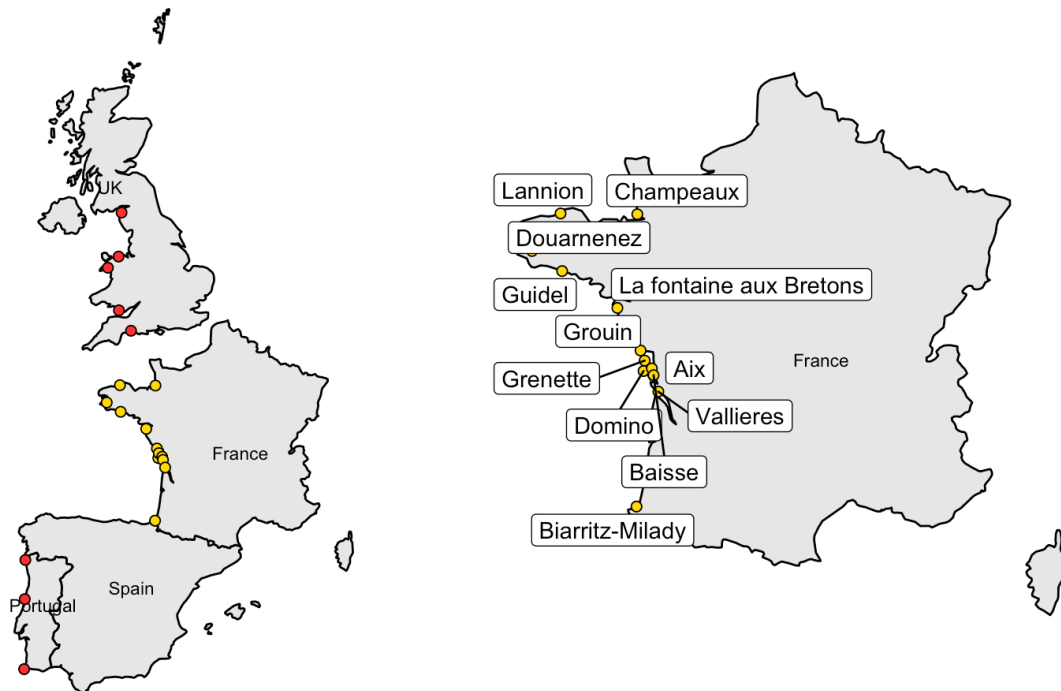


Figure 2. Sites de suivi des récifs à *Sabellaria alveolata* (hermelles) en France (points jaunes) et plus globalement en Europe (points rouges) (panneau de gauche). Ce rapport s'intéresse aux sites situés dans le Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, i.e. du nord au sud : la Tranche sur Mer, phare du Grouin (Grouin), ile de Ré plage des Grenettes (Grenette), ile d'Aix (Aix), ile d'Oléron plage de Domino (Domino), réserve de Moeze-Oléron chenal de Baisse (Baisse), Saint-Georges de Didone phare de Vallières (Vallières) (panneau de droite).

Au total, 5 sites sont suivis dans le cadre du projet CoEHCo : du nord au sud, la Tranche-sur-Mer au niveau du phare du Grouin (code terrain GRO), l'île de Ré sur la plage des Grenettes (code terrain GRE), l'île d'Aix (code terrain AIX), l'île d'Oléron sur la plage de Domino (code terrain OLE), et Saint-Georges de Didone au niveau du phare de Vallières (code terrain VAL). Des données sont collectées en parallèle au niveau de la réserve naturelle de Moëze-Oléron (chenal de Baisse – code terrain BAI) par la LPO (responsable du suivi Stéphane Guenneteau). La difficulté d'accès au site, où le sédiment est très meuble, rend le positionnement et l'exploration du quadrat difficile. Les données collectées ont néanmoins été incorporées à l'analyse.

Le site de suivi sur l'île d'Oléron (Domino) est suivi depuis l'hiver 2016 car il fait partie d'un réseau déjà initié dans le cadre du projet REEHAB. Les données acquises depuis 2016 ont toutes été intégrées à ce rapport. Par ailleurs, si le suivi a démarré en été 2020 sur les sites de GRO, GRE, AIX et VAL, celui-ci existe depuis l'hiver 2020 sur le site de BAI. Bien que non incluses dans les analyses présentées ici, les données acquises sur le site de Cordouan (plateau rocheux de Cordouan, estuaire de la Gironde), est suivi depuis 2022 par le SMIDDEST et le Parc.

## Analyse statistique

### • *Identification des régimes écologiques associés aux formations récifales*

Sur la base des données collectées dans chaque sous-quadrat, une classification statistique<sup>1</sup> a permis de d'obtenir 6 groupes (clusters) de sous-quadrats correspondant à 6 régimes (ou état) écologiques observables sur le terrain (Figure 3):

- **Roche nue (bare rocky reef)** – les sous-quadrats sont majoritairement de la roche nue, sans épibiontes, macroalgues ou hermelles, ou en faible présence ;
- **Récifs d'hermelles en formations plaquées (vener reef)** – les sous-quadrats sont dominés par les hermelles mais les bioconstructions sont peu développées. Cela n'exclut pas la présence éventuelle d'une colonisation très marginale par les moules, les huitres ou les macroalgues ;
- **Récifs d'hermelles développés en monticules (hummock reef)** - les sous-quadrats sont dominés par les hermelles et les bioconstructions sont bien développées. Cela n'exclut pas la présence éventuelle d'une colonisation marginale par les moules, les huitres ou les macroalgues ;
- **Communauté de substrat dur dominée par les huitres (oyster-dominated reef)** – les sous-quadrats sont dominés par les huitres dont l'abondance est forte. Ces huitres peuvent avoir colonisé la roche mère (colonisation primaire) ou des récifs d'hermelles (colonisation secondaire). Cela n'exclut pas la présence en faible densité d'autres épibiontes telles que les hermelles, les moules ou les macroalgues ;
- **Communauté de substrat dur dominée par les macroalgues (algae-dominated reef)** – les sous-quadrats sont dominés par les macroalgues dont la couverture est forte. Ces macroalgues (rouges, vertes ou brunes) peuvent avoir colonisé la roche mère (colonisation primaire) ou des récifs d'hermelles (colonisation secondaire). Cela n'exclut pas la présence éventuelle de moules ou d'huitres ;
- **Communauté de substrat dur dominée par les moules (mussel-dominated reef)** – les sous-quadrats sont dominés par les moules dont l'abondance est forte. Ces moules peuvent avoir colonisé la roche mère (colonisation primaire) ou des récifs d'hermelles (colonisation secondaire). Cela n'exclut pas la présence éventuelle d'huitres ou de macroalgues.

Deux de ces régimes sont dominés par les bioconstructions à *Sabellaria alveolata* (vener et hummock reef), et peuvent être agrégés en « récifs » (reef en anglais), par opposition aux « autres » (BAMO pour Bare, Algae, Mussel and Oyster en anglais) régimes écologiques que constituent les communautés dominées par les macroalgues, les huitres ou les moules. Ces nomenclatures « REEF » et « BAMO » sont utilisées dans les figures par souci de concision.

---

<sup>1</sup> Une méthode de groupement par K-centroïdes (MacQueen, 1967) a été utilisée et le nombre optimal d'états récifaux a été identifié en répétant la procédure de groupement avec différents nombres de groupes, allant de 2 à 20, et en optimisant le critère de Caliński & Harabasz (1974).

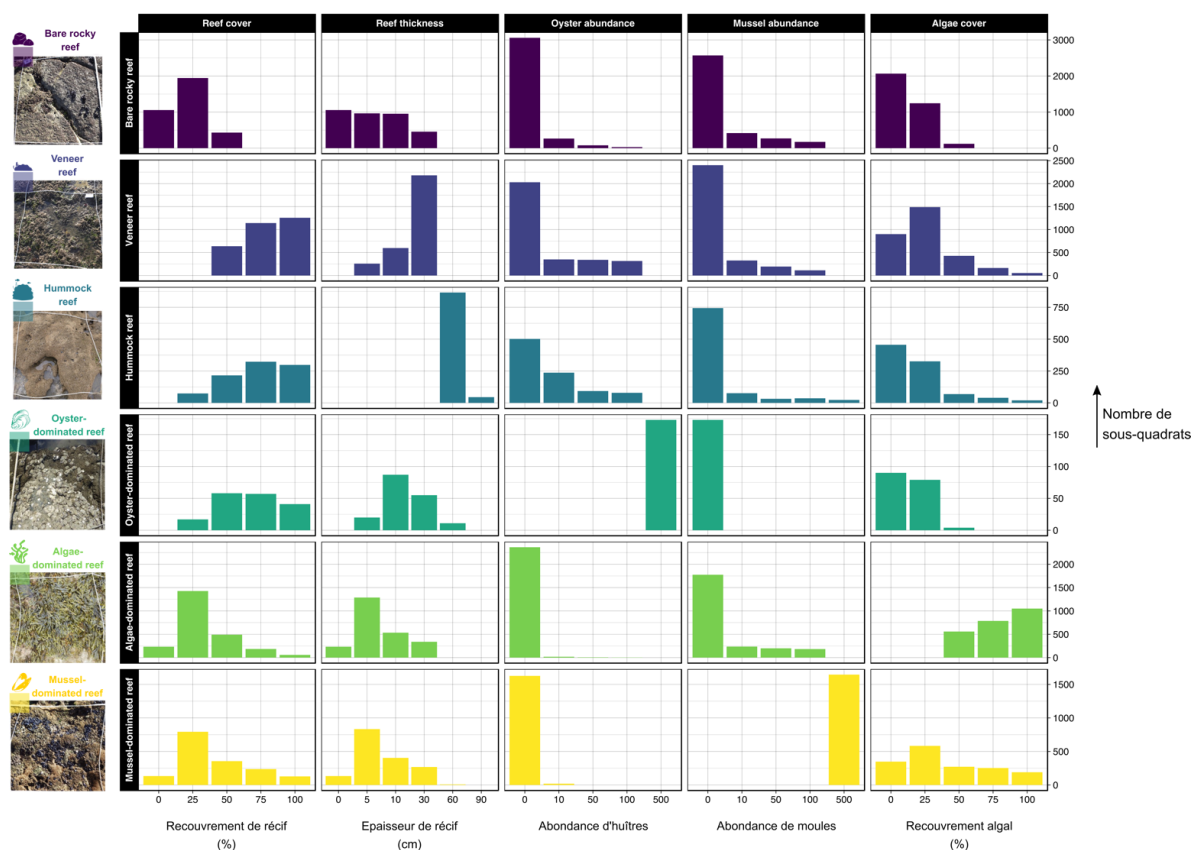


Figure 3. Description des six états proposés pour classifier les formations récifales à *Sabellaria alveolata*. Pour chacun des six états, à gauche du graphique, une illustration d'un sous-quadrat de 1m<sup>2</sup> caractéristique de l'état est présentée. Chaque état est caractérisé par une combinaison distincte des cinq variables observées sur le terrain. Par exemple, l'ensemble des sous-quadrats classifiés dans l'état mussel-dominated reef ont comme point commun des abondances de moules observées à 500+, des abondances d'huîtres à 0 et des recouvrements récifaux relativement faibles, mais ces sous-quadrats peuvent différer en termes de recouvrement algal et, à un degré moindre, de recouvrement et d'épaisseur récifale. Les états à fort recouvrement récifaux de type veneer et hummock se distinguent quant à eux principalement par l'épaisseur des récifs d'hermelle. Les récifs sont ainsi dit de type hummock lorsque leur épaisseur dépasse 60 cm.

- *Quantification de la part des sites occupée par chaque régimes*

Sur les 125 sous-quadrats réalisés pour chaque site et pour chaque saison, un nombre (et une proportion) de sous-quadrats appartenant à chacun des 6 régimes écologiques a été calculé. Puis, pour chaque site, et globalement pour l'ensemble du Parc marin, le nombre (et la proportion) de quadrats montrant des changements de régimes d'un suivi à l'autre, a été estimé.

- *Evaluation de la tendance lineaire croissante ou décroissante du régime « récif » d'hermelle dans le temps*

Des tests statistiques (*i.e.* test non-paramétrique de tendance de Cochran-Armitage) (Cochran, 1954 ; Armitage, 1955) ont été utilisés pour tester l'hypothèse d'une tendance linéaire (à la croissance ou la décroissance) dans les changements de proportions des quadrats « récifs » dans le temps. Une évolution linéaire suggère un changement significatif de régime du site, mais si aucune évolution n'est significative alors le régime du site (« récifs » ou « autre ») est considéré comme stable. Il faut noter qu'avec 5 ou 6 périodes d'échantillonnage, la puissance statistique

reste limitée, même si les tests sont adaptés à un tel effectif. Ce n'est pas le cas pour le site d'OLE.

- *Prédiction des changements de régime et calcul de l'indicateur de risque*

Nous avons entraîné un modèle pour prédire, à partir de la proportion et de la configuration spatiale des régimes dans les sous-quadrats observées à un temps  $t$  (régimes également ou inégalement distribuées, dispersés, rassemblés), la proportion de ces sous-quadrats susceptible d'ici 6 mois de passer d'un état « récif » à « autre », d'un état « autre » à « récif », ou de rester dans un état « récif » ou dans un état « autre ». Cette approche est basée sur la détection de signaux spatiaux avant-coureurs de dégradation i.e. *spatial early warning signals* (sEWS ; Kéfi et al. 2014, Génin et al. 2018) dans l'occurrence, la proportion et l'arrangement spatial des régimes définis. Une fois ces sEWS calculés à partir des données observées à un temps  $t$ , ils sont incorporés comme prédicteur dans un modèle d'apprentissage automatique, *machine learning* (*multivariate boosted regression tree, mvBRT*; Miller et al. 2015) pour prédire le nombre de transitions de régimes (en nombre de sous-quadrats) entre  $t$  et  $t+1$ . Cette méthode multivariée d'apprentissage est très performante grâce à sa grande flexibilité (Viana et al. 2021), qui permet notamment de prendre en compte des changements complexes et non-linéaire des probabilités de transition entre régime selon la proportion et l'arrangement spatial initial des récifs. Le modèle final a été entraîné sur l'ensemble des données REEHAB disponibles (France et Europe), mais ses performances ont été préalablement testées et optimisées via des procédures de validation croisées. De par sa capacité d'apprentissage, ce modèle s'améliore (et continuera de s'améliorer) avec l'accumulation de données dans le temps. Il est (et sera) d'autant plus performant dans un site donné s'il existe de nombreuses données récoltées dans ce site ou dans des sites aux conditions similaires (données environnementales, couverture d'épibiontes et macrofaune). Cela justifie ainsi le travail de terrain et le besoin de validation des modèles par des observations nombreuses et pérennes.

Le nombre de sous-quadrats susceptibles de changer pour chaque site tel que prédit par le modèle permet de construire un indicateur de changement. Cet indicateur est un ratio, et il est volontairement appelé « risque » afin de proposer une vision « hermelle-centrée » aux gestionnaire d'aires marines protégées visant la préservation des récifs d'hermelles et cherchant *in fine* à savoir s'il existe un risque d'observer un changement du régime récifal vers un régime non-récifal. Ce risque de changement est calculé comme le ratio entre (1) le nombre de quadrats prédits comme changeant de régime, soit dans un sens ( $p(\text{récif} \rightarrow \text{autre})$ ), soit dans l'autre ( $p(\text{autre} \rightarrow \text{récif})$ ) et (2) le nombre total de sous-quadrats (25), incluant les sous-quadrats prédits comme stable par le modèle ( $p(\text{récif} \rightarrow \text{récif})$  &  $p(\text{autre} \rightarrow \text{autre})$ ) :

$$\text{risque} = \frac{p(\text{récif} \rightarrow \text{autre}) + p(\text{autre} \rightarrow \text{récif})}{p(\text{récif} \rightarrow \text{autre}) + p(\text{autre} \rightarrow \text{récif}) + p(\text{récif} \rightarrow \text{récif}) + p(\text{autre} \rightarrow \text{autre})}$$

Un indicateur de risque doit être en mesure de prédire un risque d'effondrement (ou collapse en anglais) d'un état (ou régime) (Nicholson et al. 2021). Le but de l'indicateur présenté ici est de prédire ce risque de changement à court terme (6 mois) entre deux régimes très différents (i.e. REEF et BAMO) puisque l'un est un régime dominé par les hermelles et l'autre ne l'est pas. Des valeurs proches de 1 indiquent que le modèle évalue que la plupart des sous-quadrats vont changer de régime (dans un sens ou un autre, selon l'état initial au temps  $t$ ). A l'inverse, des valeurs proches de 0 indiquent que la plupart des sous-quadrats vont rester dans le régime dans lequel ils ont été classés au temps  $t$ . La définition des 6 régimes écologiques présentés plus

haut est donc une étape clé de la construction de cet indicateur de risque de changement. L'idée est de pouvoir attirer l'attention des gestionnaires des sites étudiés et éventuellement prendre des mesures rapides sur les causes du changement.

## Description écologique des sites suivis

### Site de Vallières (commune de Saint-Georges-de-Didonne)

**Description géographique :** Site au pied du phare de Vallières, entre le banc de la Béchade et le banc de Vallières.

**État d'équipement des sites :** Le site est équipé de 5 quadrats et de 6 sondes. **Accessibilité :** Le site est difficile d'accès (escalier escarpé et marche difficile sur roche au pied des falaises). Le platier rocheux possède une pente très faible, voire inverse avec des chenaux, ce qui limite fortement le temps de travail pendant lequel les quadrats sont accessibles. Par coefficient de 100, les quadrats sont accessibles 45 minutes avant et 45 minutes après la basse mer, en conditions anticycloniques.

**Fréquentation :** lors de nos visites, il n'a été observé que de rares pêcheurs à pied : en été, une pêche au vanneau (pétoncle blanc) - même si nous n'avons observé aucun individu de cette espèce - et en hiver une pêche au bouquet (crevette rose) a été observée.

**État d'équipement des sites :** Il n'a pas été noté de dégradation des installations pendant les 5 campagnes d'échantillonnage. Les crochets et les fers à béton sont en place et relativement difficiles à voir. Il pourrait être pertinent de marquer à l'aide d'une peinture marine voyante les extrémités des fers à béton, dans la mesure où le nombre de pêcheurs à pied est très faible. Les sondes sont également toutes installées. Certaines sont difficile d'accès avec le téléphone en raison d'eau résiduelle ou d'orientation délicate selon la position de l'antenne NFC du téléphone (qui communique avec les sondes). Il peut être optimal d'ajouter au kit terrain un déport de cette antenne, ce qui facilite très fortement l'accès aux données (<https://electricblue.eu/nfc-extensions>).

**Description des récifs :** Les formations récifales sont peu développées et quasi-exclusivement sous formes plaquées (veneers). Elles couvrent cependant de grandes surfaces, en pied de falaise sur roche calcaire ou directement sur des bancs d'huitres qui colonisent le plateau. Ce site présente en effet un banc d'huitres d'une taille rarement observée sur les côtes françaises. Les hermelles se développent directement sur – ou entre – les coquilles d'huitres sur une large partie du plateau. Les apports de sable semblent limités et provenir de zones plus au large : le développement des récifs sera donc limité par cette contrainte. Les apports terrigènes sont massifs dans cette zone quasi-estuarienne mais les hermelles – comme les huitres creuses – sont connues pour s'adapter à des conditions de désallures fréquentes. Il faut également noter qu'il est particulièrement rare de voir les hermelles s'installer sur les huitres. C'est traditionnellement l'inverse qui se produit, les huitres creuses étant des espèces ingénieurs secondaires (i.e. elles se fixent sur un substrat primaire, souvent les hermelles). En raison des quantités très limitées de sédiments meubles, il est peut probable que ce site présente d'importante formation récifales en monticules : les matériaux de construction sont ici un facteur limitant évident.



Figure 4. Vue aérienne (IGN-Ortho-littorale 2000) du site de Vallières, indiquant le positionnement des 5 quadrats (carrés pleins rouges)

## Site de Oléron (île d'Oléron - commune de Domino)

**Description géographique :** Site sur un platier rocheux calcaire à fossiles à l'extrémité nord de la grande plage des Bonnes

**État d'équipement des sites :** Le site est équipé de 5 quadrats et de 6 sondes. **Accessibilité :** Le site est facile d'accès, malgré une modification récente des conditions de stationnement. Par coefficient de 100, les quadrats sont accessibles 1h30 avant et 1h15 après la basse mer, en conditions anticycloniques.

**Fréquentation :** lors de nos visites, de très nombreux pêcheurs à pied ont été comptés (parfois plus d'une cinquantaine). La pêche est variée, essentiellement tournée vers le bouquet et l'étrille, deux types de pêche assez impactants pour les récifs d'hermes (fort piétinement et manipulation des blocs libres avec couverture récifale).

**État d'équipement des sites :** Les crochets ont été remis plusieurs fois, suite à des arrachages ou détériorations volontaires (traces manifestes de crochets martelés avec des pierres). Des tensions existent parfois avec certains pêcheurs à pieds locaux. Les quadrats les plus proches de la côte (OLE1 et OLE2 – Figure 5) ont récemment fait l'objet d'un arrachement. Il conviendrait de les repositionner avec un scellement chimique et de tester des vis inox en lieu et place des crochets, moins visibles. Les sondes sont toutes installées et fonctionnelles. La durée de la pile des sondes est en théorie de 5 années. Il est anticipable qu'un message « low batterie » apparaisse sur l'application courant 2023. De nouvelles sondes similaires avec une durée de vie de 15 années (pour un enregistrement toutes les heures) sont désormais disponibles et pourraient être avantageuses (<https://electricblue.eu/envloggers#04486e9b-b424-431d-bf4f-6091f1869ab2>).

**Description des récifs :** Les formations récifales sont très étendues sur l'ensemble de la côte Ouest de l'île et sur le site de Domino en particulier, représentatif de cet environnement exposé. La présence de champs de blocs et l'alternance de plages sableuses permet la formation de structures récifales (hummocks) assez hautes, sur de grandes surfaces. Le site se caractérise par une grande diversité des types de constructions récifales, ce qui en fait un site globalement très



représentatif de la dynamique récifale des côtes françaises, illustrant également très bien les alternance entre les régimes algaux / moulières / récifs.



Figure 5. Vue aérienne (IGN-Ortho-littorale 2000) du site de Domino (île d'Oléron), indiquant le positionnement des 5 quadrats (carrés pleins rouges)

## Site de Aix (île d'Aix)

**Description géographique :** Site au nord de la plage du Tridoux entre la batterie du bois Joly et la batterie de Jamblet.

**État d'équipement des sites :** Le site est équipé de 5 quadrats et de 6 sondes. **Accessibilité :** Le site est très facile d'accès, au détail près qu'il faut prendre un bateau pour accéder à l'île. Par coefficient de 100, en raison d'un dénivelé bathymétrique fort, les quadrats sont accessibles 1h00 avant et 45 min après la basse mer, en conditions anticycloniques. Il faut noter que les quadrats AIX4 et AIX5 (Figure 6) sont dans une dépression en bas de plage et donc découvrent peu de temps et uniquement par coefficients supérieurs à 100. Les comptages sur ces quadrats doivent impérativement être faits au moment du bas de l'eau.

**Fréquentation :** lors de nos visites, de très nombreux pêcheurs à pied ont été comptés (plus d'une centaine en période estivale). Certains sont très virulents quant à la présence de « non-locaux » qui ne viennent pas pêcher. La pêche est variée, essentiellement tournée vers le bouquet et la crevette grise. Le piétinement des récifs est important.

**État d'équipement des sites :** Les crochets ont été remis plusieurs fois, suite à des arrachages ou détériorations volontaires (traces manifestes de crochets martelés avec des pierres). Lors du dernier passage, la plupart des crochets des quadrats AIX1 à AIX3 avaient été arrachés. Il existe peu de structures visibles et adaptées pour fixer les sondes de température. Elles sont difficiles à retrouver sans support photographique et il conviendrait de les déplacer dans un endroit plus évident.

**Description des récifs :** Les formations récifales sont réduites et peu étendues, de type « veneer » majoritairement. Elles colonisent marginalement et de façon peu visible les langues

rocheuses qui alternent avec les plages de sédiments meubles. Sur ces dernières, et proche de la zone subtidale, les formations récifales peuvent être plus développées, même si leur état physique semble être en retrogradation. Elles abritent par ailleurs une richesse spécifique qui contraste nettement avec les autres quadrats (et les autres sites du Parc de surcroît), avec la présence d'espèces d'éponges et de mollusques rarement - voir jamais – rencontrées par ailleurs. Cette zone centrale correspondant aux quadrats AIX4 et AIX5 mériterait à elle seule un inventaire spécifique afin d'identifier la richesse spécifique et les assemblages d'espèces : ils sont très probablement uniques. La présence de pectinidés (pétoncles) et modioles sur cette zone attire les pêcheurs locaux, avec le piétinement associé. Il est peu probable de voir une zone récifale s'étendre, même si les conditions environnementales semblent réunies.



Figure 6. Vue aérienne (IGN-Ortho-littorale 2000) du site d'Aix (île d'Aix), indiquant le positionnement des 5 quadrats (carrés pleins rouges)

### Site des Grenettes (île de Ré – commune de Sainte-Marie de Ré)

**Description géographique :** Site sur le plateau rocheux de la plage des Grenettes

**État d'équipement des sites :** Le site est équipé de 5 quadrats et de 6 sondes **Accessibilité :** Le site est très facile d'accès. Par coefficient de 100, les quadrats sont accessibles 1h30 avant et 1h30 après la basse mer, en conditions anticycloniques.

**Fréquentation :** lors de nos visites, de nombreux pêcheurs à pied ont été comptés mais la superficie du site et la grande couverture des formations récifales fait apparaître une pression limitée. La pêche est essentiellement tournée vers l'étrille et les crustacés en général. De nombreux promeneurs restent sur les zones sableuses de haut de plage.

**État d'équipement des sites :** Les crochets n'ont jamais été endommagés. Les sondes sont toutes installées.

**Description des récifs :** Les formations récifales sont particulièrement étendues sur tout le platier rocheux. Leur distribution est homogène et régulière, juste en dessous de la mi-marée. Les types de formations alternent entre des placages denses (veneers) et des structures coalescentes en boules (hummocks) peu développées. Les hermines bénéficient d'apports de sédiments réguliers par une exposition directe aux houles dominantes et des langues de sable qui font la jonction entre une réserve subtidale et un haut de plage sableux.



Figure 7. Vue aérienne (IGN-Ortho-littorale 2000) du site des Grenettes (île de Ré), indiquant le positionnement des 5 quadrats (carrés pleins rouges)

## Site du Grouin (commune de la Tranche sur Mer)

**Description géographique :** Site sur le plateau rocheux de la Pointe du Grouin du Cou

**État d'équipement des sites :** Le site est équipé de 5 quadrats et de 6 sondes. **Accessibilité :** Le site est très facile d'accès. Par coefficient de 100, les quadrats sont accessibles 1h15 avant et 1h30 après la basse mer, en conditions anticycloniques.

**Fréquentation :** lors de nos visites, de nombreux pêcheurs à pied ont été dénombrés, avec une forte proportion de touristes (non-locaux). La pêche est variée, essentiellement tournée vers la crevette grise et le ramassage de moules.

**État d'équipement des sites :** Les crochets n'ont pas été endommagés mais ils sont difficiles à retrouver, colonisés par les moules ou sous le sable. Les sondes sont toutes installées et très faciles d'accès, mais sur un grand corps-mort. Si celui-ci venait à être déplacé, les sondes seraient perdues. L'alternative à considérer est l'installation des loggers sur la pecherie toute proche.

**Description des récifs :** Les formations récifales présentes des types très hétérogènes dans un site dont les mouvements de sédiments meubles sont importants et rapides. L'abrasion des vagues et du sables sur les pointes rocheuses les plus au large empêche la formation de récifs et des prospections ont montré l'absence d'hermelles malgré un habitat très favorable d'un point de vue sédimentaire. Globalement, les formations plaquées dominent même si très localement, et selon les conditions hydro-sédimentaires très locales, des structures en boule importantes peuvent se développer. La présence de recrutements massifs d'épibiontes comme les moules limite le développement des récifs.



Figure 8. Vue aérienne (IGN-Ortho-littorale 2000) du site de Grouin (la Tranche-sur-Mer), indiquant le positionnement des 5 quadrats (carrés pleins rouges)

## Analyses des données

### Classification du régime des sous-quadrats

Au cours des 5 périodes de suivi, la classification de tous les sous-quadrats à l'échelle du Parc marin et par site d'étude montre globalement des variations inter-annuelles et inter-saisonniers mais sans changements évidents, notamment dans les régimes « veneer » et « hummock ». Le nombre de sous-quadrats sans dominance particulière (bare rocky reef) semble également stable (Fig. 9).

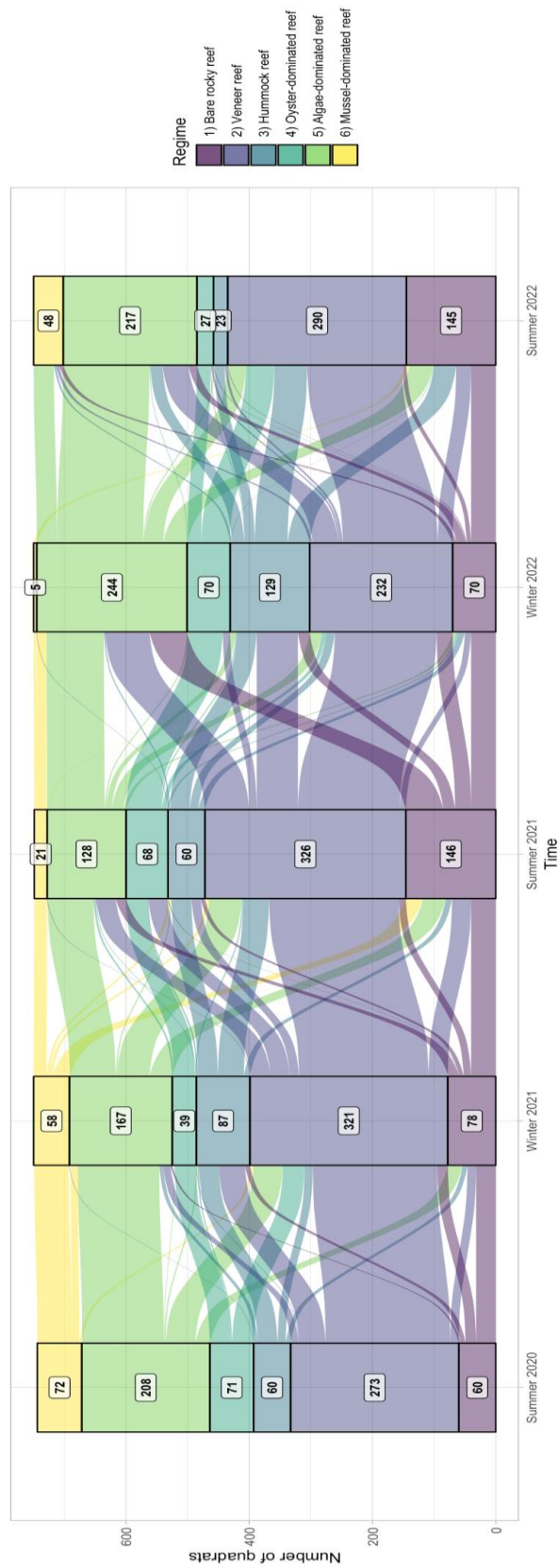


Figure 9. Proportion des sous-quadrats affectés à chacun des 6 régimes écologiques identifiés, pour chaque date de suivi, dans l'ensemble des sites du Parc marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. Le suivi réalisé dans le cadre du projet CoEHCo a débuté en été 2020. La légende de droite indique les 6 régimes écologiques qui résultent de la classification statistique.

Le classement des sous-quadrats en régimes écologiques, en fonction du temps, permet de visualiser certaines dynamiques propres à chaque site. Ces régimes peuvent être caractérisés par leur persistance, *i.e.* le nombre d'occurrences consécutives dans le suivi, et leur stabilité, *i.e.* leur proportion par rapport à tous les autres régimes dans un même site (Fig. 10). Par exemple sur le site de Grouin (panel en haut à gauche de la Fig. 10), l'état de hummock est persistant (car présent sur toutes les dates du suivi) mais peu stable car il représente à chaque fois une faible proportion du nombre de sous-quadrats.

Les sites de Gouin et de Domino présentent de fortes similarités avec une compétition entre l'installation de moulières (plus persistantes et stables à Grouin). Ces deux sites montrent globalement une importante dynamique entre tous les régimes dont les stabilités (c'est-à-dire l'importance des proportions les unes par rapport aux autres) semblent liées à des facteurs plus biotiques qu'environnementales. Les autres sites à l'inverse, présentent un signal saisonnier plus marqué, notamment sur la dynamique algale aux Grenettes et à Aix, ou sur la dynamique de croissance des hermelles à Baisse et à Vallières. Si la dynamique saisonnière des macroalgues est attendue, avec une stabilité marquée (forte proportion) en été, la dynamique récifale intrinsèque indépendante des saisons est bien visible sur les sites où les macroalgues sont justement peu abondantes.

Les huitres ne recrutent pas de façon massive comme les moules ou les hermelles et leur nombre change peu au cours du suivi ; les variations des autres régimes sont donc plus visibles. Les sites de Baisse et Vallières mettent bien en évidence une augmentation du nombre de sous-quadrats classés en « hummock » à chaque hiver, témoignant d'apports de sédiments lors de tempêtes automnales et hivernales et de croissances importantes des bioconstructions (Fig. 10).

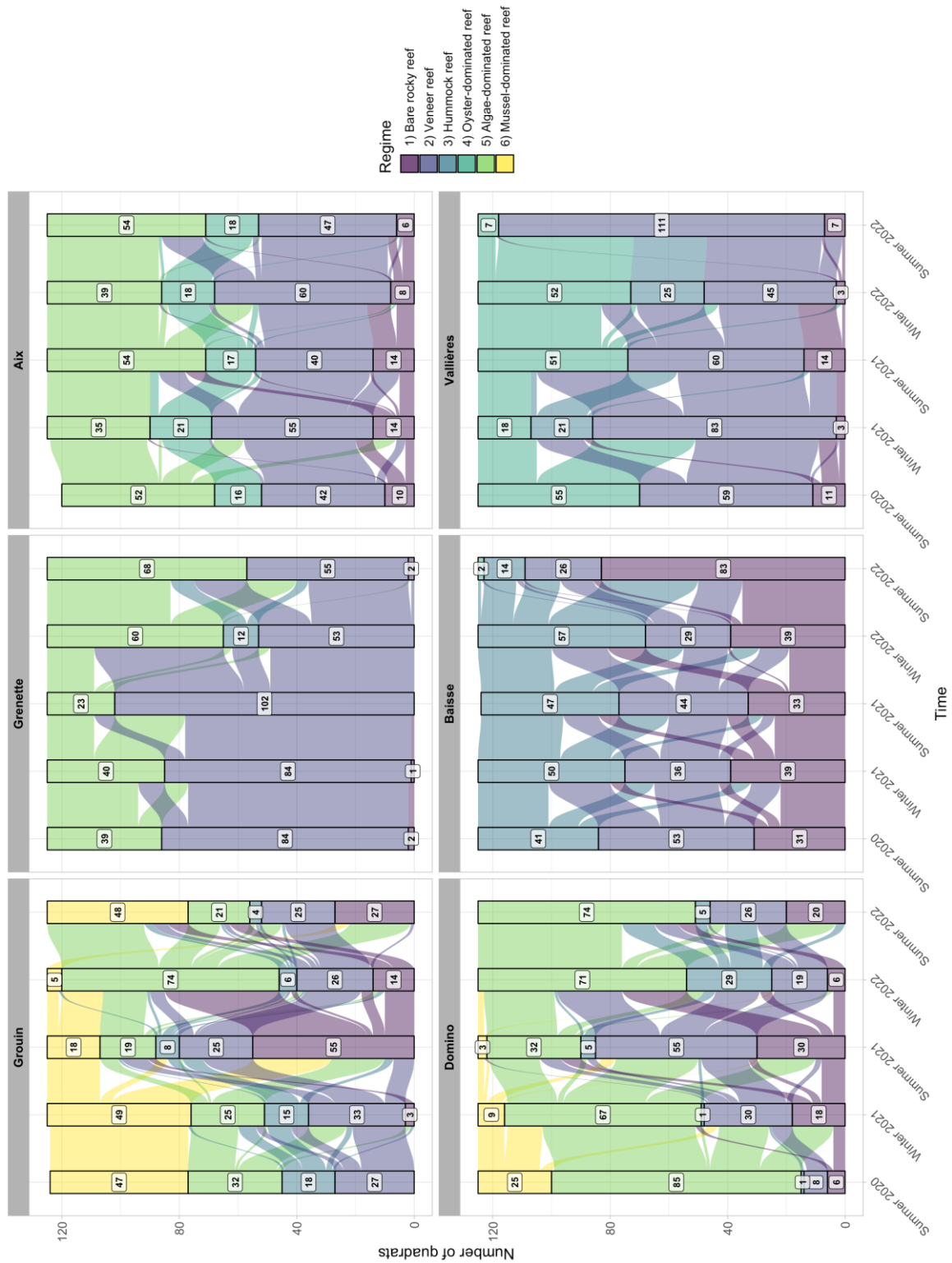


Figure 10. Proportion des sous-quadrats affectés à chacun des 6 régimes écologiques identifiés, pour chaque date de suivi, pour chacun des sites du Parc marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. Noter que le suivi réalisé dans le cadre du projet CoEHCo débute en été 2020. La légende de droite indique les 6 régimes écologiques qui résultent de la classification statistique.

Après regroupement des sous-quadrats en 2 régimes, *i.e.* le régime récifal « récif » (ou REEF) et le régime « autre » (ou BAMO), on note globalement une stabilité de ces deux grands régimes sur les 5 périodes de suivi (c'est-à-dire que leur proportions restent globalement identiques et similaires), avec néanmoins une légère diminution du nombre de sous-quadrats classés en « reef » (Fig. 11).

Cette diminution est due aux sites de Grouin, Grenettes et Baisse (Fig. 12) dont les tests statistiques d'une tendance linéaire à la décroissance dans les proportions de sous-quadrats « reef » sont significatifs (test  $\chi^2$  de Cochran-Armitage,  $\chi^2 = 3.00, 4.49, 6.34$  respectivement ;  $p < 10^{-3}$  systématiquement). Les sites de Domino et de Vallières présentent une tendance linéaire positive ( $\chi^2 = -3.81$  et  $-4.14$  respectivement ;  $p < 10^{-5}$  pour les deux sites). Le site d'Aix ne présente pas de variations significatives sur la durée du suivi. Comme déjà signalé, il faut noter que la puissance statistique est limitée en raison d'un faible nombre de périodes échantillonnées ( $n = 5$ ) mais les tests de  $\chi^2$  sont statistiquement robustes.

Table 1. Test de Chi-2 de Cochran-Armitage pour chacun des sites suivis. « site\_name » = nom du site ; « method » = type de test statistique ; « parameter » = degrés de liberté ; « alternative » = test bilatéral ; « statistic » = valeur du Chi-2 ; « p.value » = probabilité d'avoir une telle valeur de Chi-2 (sous l'hypothèse nulle qu'il n'existe pas de différence entre les valeurs. Les lignes en bleu indiquent un rejet de l'hypothèse nulle et donc une tendance significative. Elle est croissante pour les sites de Domino et Vallières et décroissante pour les sites de Grouin, Grenette et Baisse.

site_name	method	parameter	alternative	statistic	p.value
Grouin	Cochran-Armitage test for trend	5	two.sided	3.0053545	0.0026527
Grenette	Cochran-Armitage test for trend	5	two.sided	4.4962402	0.0000069
Aix	Cochran-Armitage test for trend	5	two.sided	-0.6458196	0.5183962
Domino	Cochran-Armitage test for trend	5	two.sided	-3.8164616	0.0001354
Baisse	Cochran-Armitage test for trend	5	two.sided	6.3495823	0.0000000
Vallières	Cochran-Armitage test for trend	5	two.sided	-4.1412956	0.0000345



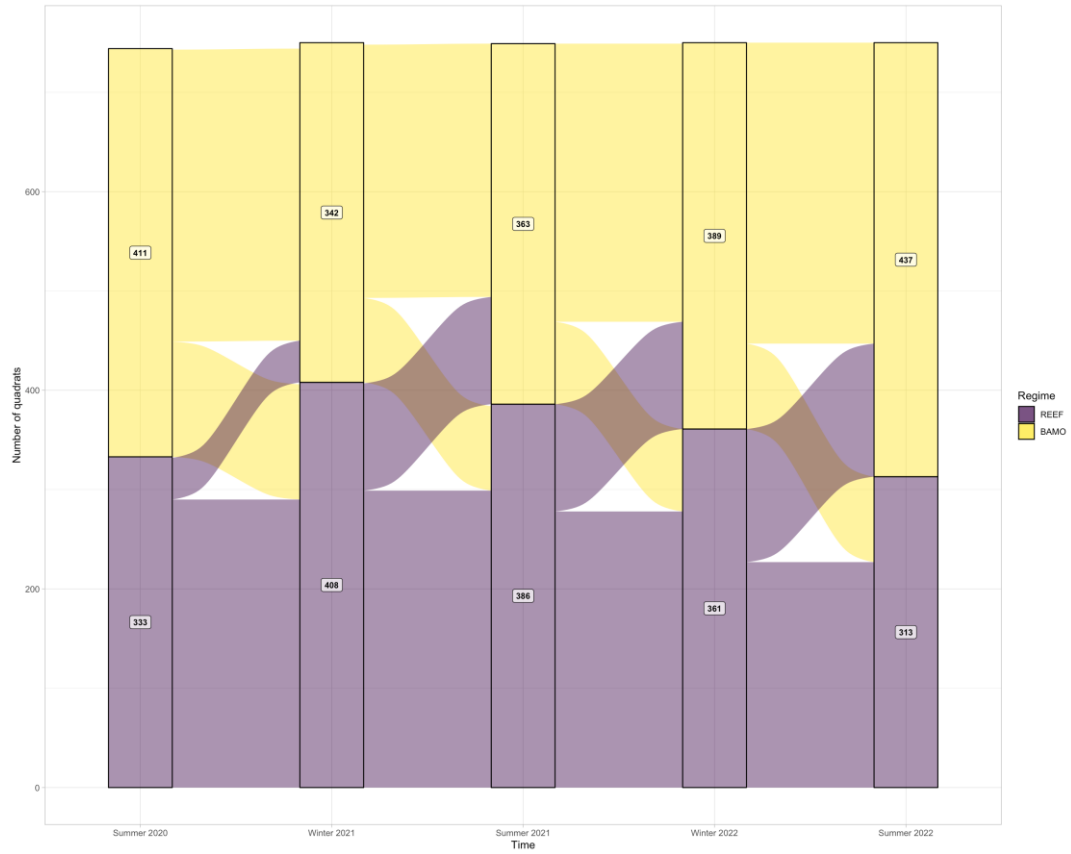


Figure 11. Proportion des sous-quadrats classés et regroupés dans les deux grands régimes « reef » et « autre », pour l'ensemble des sites du Parc marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, et pour chaque date de suivi.

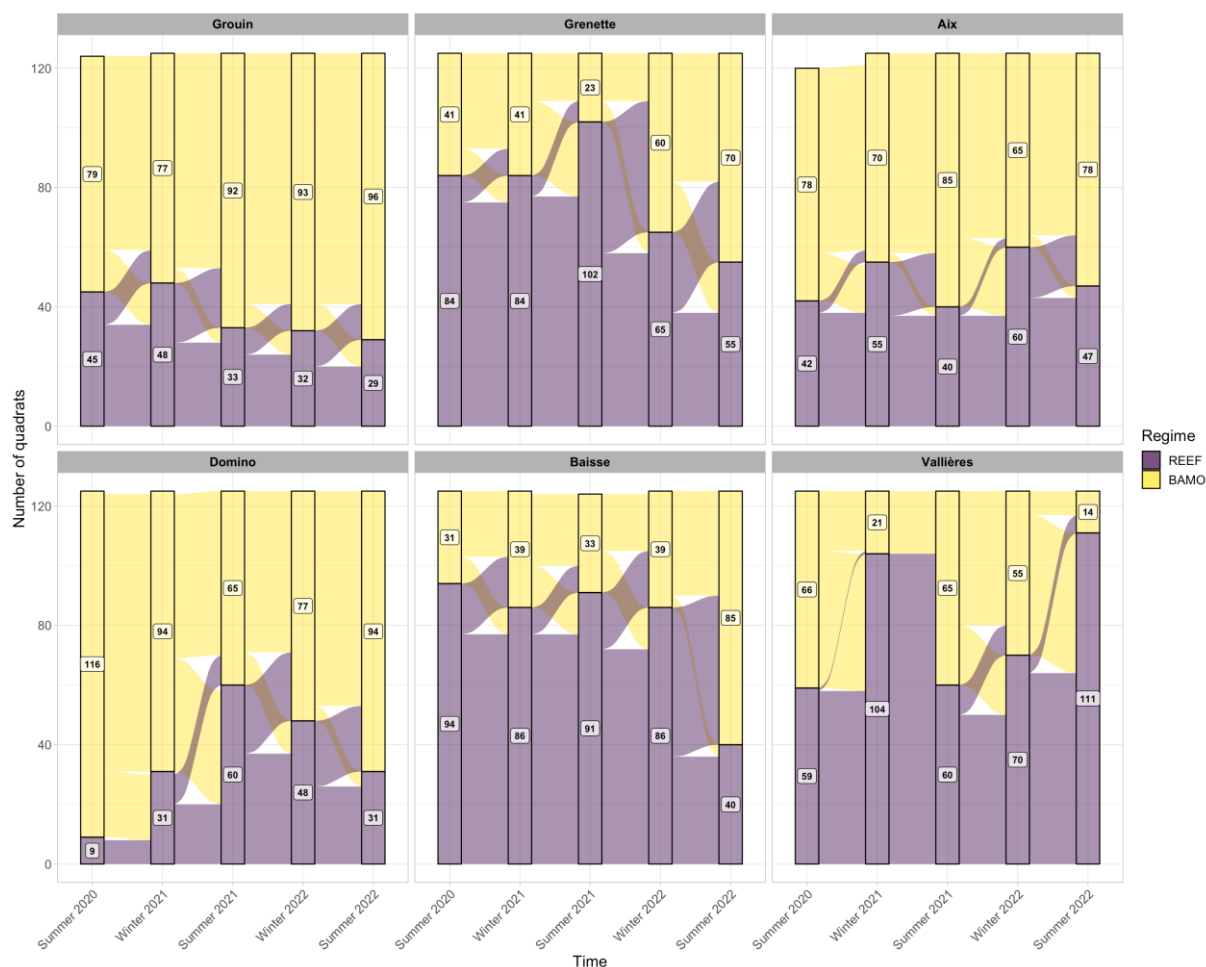


Figure 12. Proportion des sous-quadrats classés et regroupés dans les deux grands régimes « reef » et « autre », pour chacun des sites du parc marin de l’estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, et pour chaque date de suivi. Le site de Baisse (suivi LPO) n’a pas fait l’objet d’une bancarisation pour l’été 2021 suite à un envoi tardif : les données sont en cours de saisie. Elle seront intégrées dans l’analyse finale.

## Indicateur de risque

La figure 13 présente les résultats, pour chaque site du nombre de sous-quadrats susceptibles d’après l’analyse des trajectoires, de passer d’un statut « REEF » à « BAMO ». On peut faire 2 remarques :

- Il existe très peu de différences significatives entre les valeurs prédites et observées, ce qui témoigne de modèles et prédictions fiables ;
- Les valeurs observées sont assez régulièrement supérieures aux valeurs prédites, de façon non significative dans la grande majorité des cas, mais exceptionnellement significativement pour les sites de Grenettes et Baisse. Cette observation peut signifier soit une légère sous-estimation réelle de la perte de récifalité, soit qu’il manque encore des observations pour rendre les modèles plus performants, ce qui est probablement le cas ;

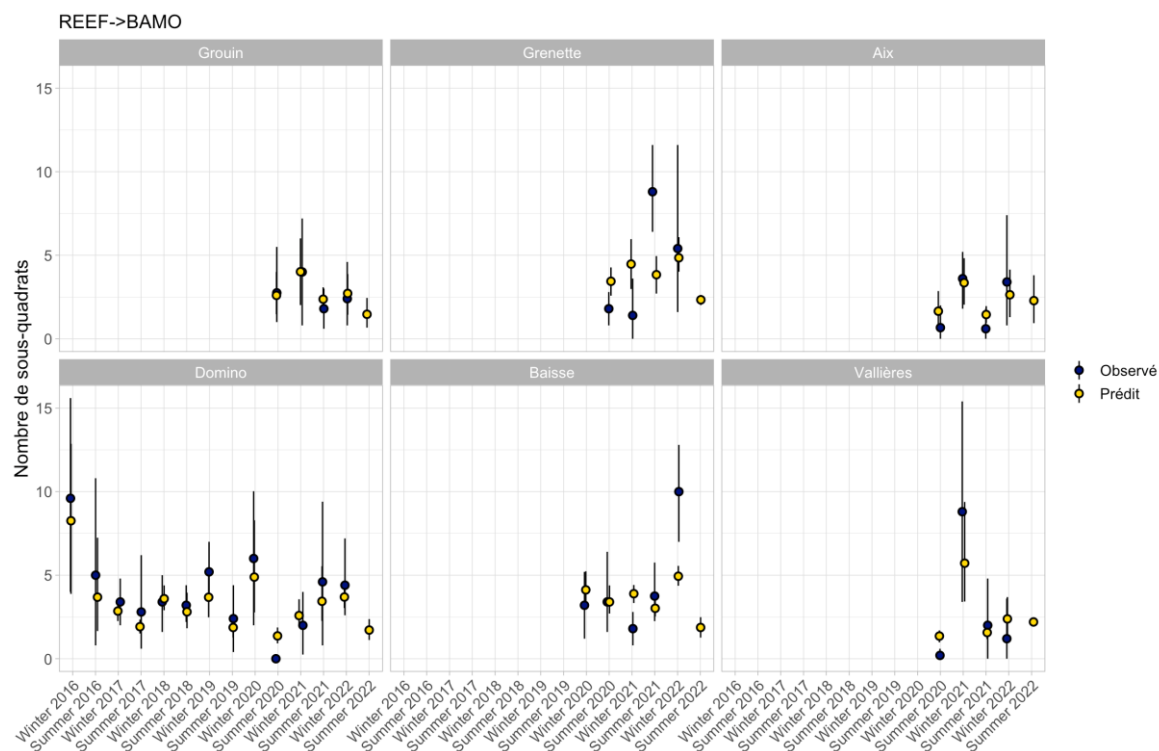


Figure 13. Résultats des estimations du nombre de sous-quadrats (par quadrat) susceptibles d'être classés en « BAMO » après avoir été classés en « REEF » selon le modèle de trajectoire, pour chacun des 6 sites suivis. Les valeurs prédites par le modèle sont en jaune, et celles observées en bleu. L'erreur standard - calculée par un bootstrap pour les valeurs prédites et sur la moyenne des 5 quadrats pour les valeurs observées - est associée à chaque estimation. Les valeurs observées pour un temps  $t$  sont le résultat de la différence observée entre le temps  $t$  et  $t-1$ .

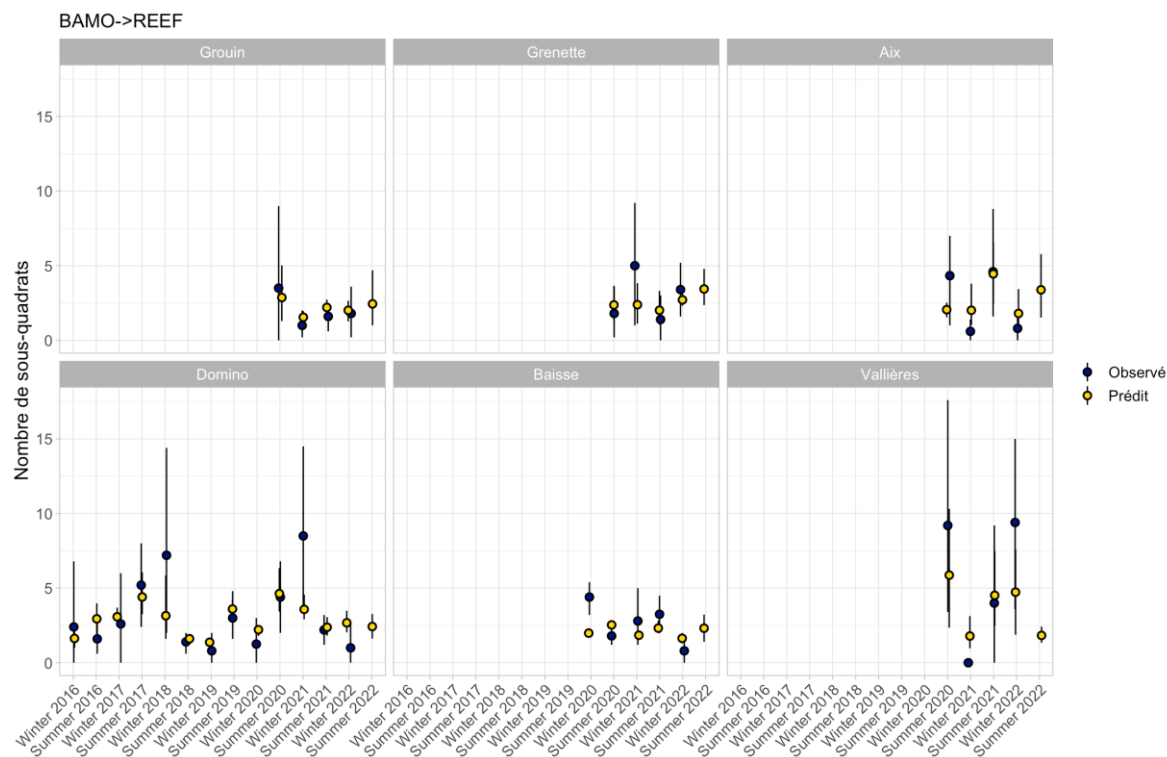


Figure 14. Résultats des estimations du nombre de sous-quadrats (par quadrat) susceptibles d'être classés en « REEF » après avoir été classés en « BAMO » selon le modèle de trajectoire, pour chacun des 6 sites suivis. Les valeurs prédites par le modèle sont en jaune, et celles observées en bleu. L'erreur standard - calculée par un bootstrap pour les valeurs prédites et sur la moyenne des 5 quadrats pour les valeurs observées - est associée à chaque estimation. Les valeurs observées pour un temps  $t$  sont le résultat de la différence observée entre le temps  $t$  et  $t-1$ .

L'indicateur de risque (Fig. 15) proposé évalue la probabilité de voir un régime récifal évoluer en un régime qui ne serait plus récifal, ou inversement. Ce risque de changement est calculé comme le ratio entre le nombre de sous-quadrats prédits comme changeant de régime (REEF vers BAMO sur la figure 13 et BAMO vers REEF sur la figure 14), et le nombre total de sous-quadrats (donc 125 par site). Il prend en compte intrinsèquement le point de départ de chaque site et donc le fait que tous les sites sont différents.

Les valeurs de l'indicateur (Fig. 15) pour les six sites du Parc oscillent autour de 0,25 et sont jugées faibles, indiquant un faible risque de changement à court terme (*i.e.* d'une fois sur l'autre, tous les 6 mois). Il est important de rappeler que cet indicateur de changement donne une probabilité de changement dans les deux sens : de « récif » vers « autre » et de « autre » vers « récif ». Il n'évalue donc pas mieux un risque de passer d'un régime « autre » vers un état « récif » - ce qui semble très positif si le gestionnaire souhaite développer et voir s'étendre les formations récifales - qu'un risque de passer d'un régime « récif » vers « autre ». C'est la probabilité d'un changement de régime qui est évalué. Il laisse donc au gestionnaire le soin de juger un changement éventuel, à la lumière des classements des sous-quadrats : si le régime observé à un instant  $t$  est « REEF », alors une forte probabilité de changement sera associée à une menace de transition vers un autre régime (BAMO). Et inversement. Il faut donc coupler les informations de la classification avec l'indicateur de risque pour interpréter la direction des changements prédits selon l'état initial.

Pour l'instant, le modèle n'est entraîné que sur 6 périodes d'échantillonnages sur les sites du PMEGMP, mais il se nourrit des informations récoltées sur l'ensemble du suivi REEHAB depuis son départ : il n'y a donc que 6 prédictions de changement qui ont été faites, pour 5 validations possibles (Fig. 15, points bleus, label « observé »). On note une très bonne adéquation entre les prédictions et les changements effectivement observés (*i.e.* pas de différence significative entre les valeurs moyennes obtenues selon les modèles et selon les observations) et un risque qui est constant et faible. Il n'y a donc pas de raison d'anticiper un changement d'état dans les sites actuellement suivis.

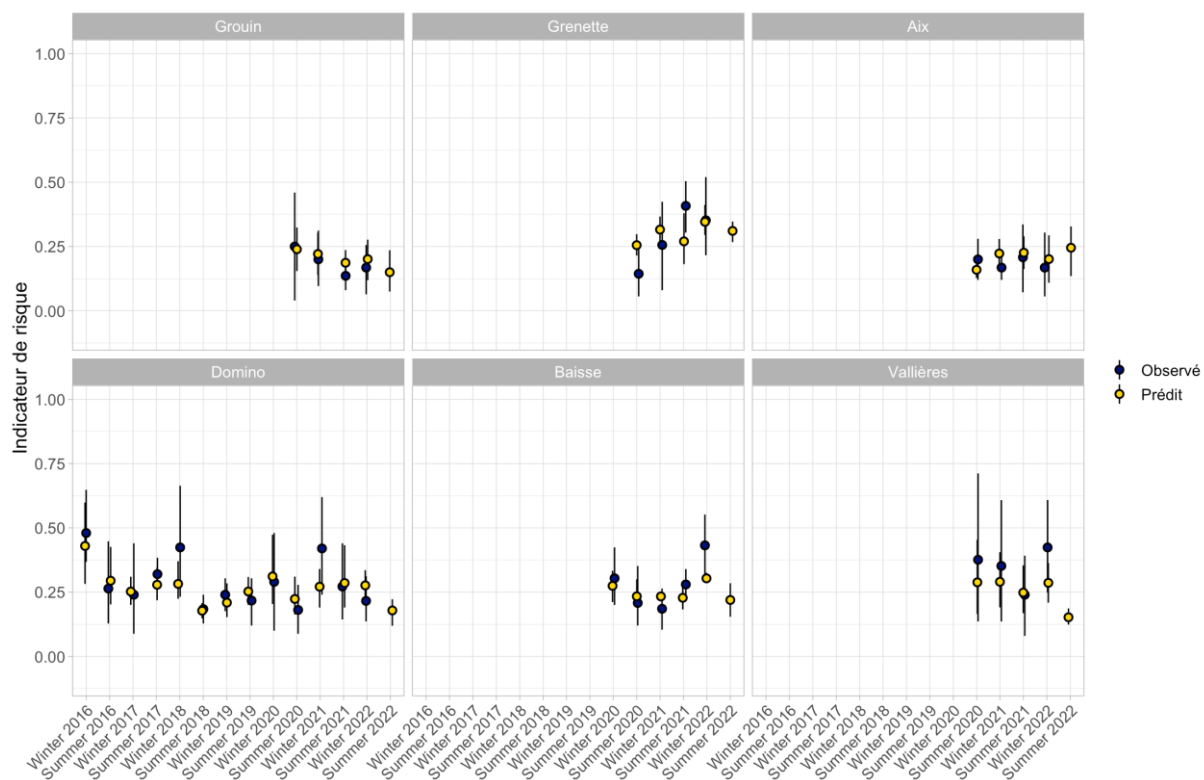


Figure 15. Indicateur de risque de changement (entre 0 et 1, 1 correspondant à 100% de probabilité de changement). Le risque de changement est calculé comme le ratio entre la somme des proportions de changements (entre un régime de « REEF ou récif » et un régime « BAMO ou autre ») et la somme des proportions de toutes les transitions possibles. La valeur présentée est une valeur moyenne ( $\pm$  erreur standard calculée par bootstrap). Les valeurs prédites (points jaunes) résultent des observations (points bleus) réalisées pendant les périodes précédentes.

Dans l'évaluation de la DCSMM portant sur l'habitat MA226 « *Sabellaria* reefs in the Atlantic littoral zone » défini au niveau 4 de la typologie EUNIS (2022), les suivis réalisés sur les sites du PMEGMP ont été utilisés comme éléments du rapportage de la Sous-Région Marine Golfe de Gascogne. Ils représentent en effet bien ce qui se passe dans la partie Sud de cette SRM : on note de petites différences avec la partie Nord où il a été montré une augmentation plus importante du nombre de sous-quadrats classés en REEF et changeant de statut BAMO-REEF (notamment pour les sites de la Fontaine aux Bretons en Loire-Atlantique et de Guidel en Bretagne Sud). Dit autrement, les récifs semblent se développer de façon légèrement plus importante au nord du PNMEGMP. Il est néanmoins trop tôt pour dire s'il existe réellement une différence entre les sites Nord et Sud de cette SRM. Il est néanmoins possible de conclure pour les sites du PNMEGMP de la même manière que pour l'évaluation DCSMM, à savoir que « l'état des récifs à *Sabellaria alveolata* est globalement bon dans la SRM GdG ».

## Conclusion générale

Ce rapport présente, sur la base du protocole analytique développé dans le projet REEHAB, les premiers résultats du suivi des 5 sites (plus un) suivis dans le Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, dans le cadre du projet CoEHCo.

Plusieurs messages clés peuvent être retenus :

- Tous les sites sont désormais équipés matériellement de crochets pour quadrats et de sondes de température. Plusieurs sites nécessitent un travail de maintien des crochets (et des sondes) important en raison d'une activité de pêche à pied difficilement compatible avec des missions de suivis pérennes, sauf à modifier les usages ou les techniques ;
- Sur la base de 5 périodes d'échantillonnage, on note une stabilité globale des régimes écologiques identifiés à l'échelle du Parc. Les sites semblent être tous différents, confirmant un choix pertinent pour la représentativité de la diversité des types d'habitats récifaux, à l'échelle du parc marin ;
- Chaque site présente naturellement une alternance de régime dans le temps. La connaissance de cette dynamique via l'acquisition de série de données plus longues (+ 5 ans) paraît importante pour être capable d'interpréter d'éventuels changements dans cette variabilité temporelle.
- Le calcul d'un indicateur de risque de changement, validé par les observations de terrain, n'indique qu'une très faible probabilité de changements à court terme quel que soit le site considéré ;
- Les résultats obtenus ici sont utiles à la gestion à court et moyen terme. Si les résultats montrent ou prédisent un changement dans la dynamique naturelle connue du site (observées sur plusieurs années), celui-ci peut être une alerte et doit amener à se poser les questions suivantes : 1) tous les sites sont-ils concernés ou le changement est site-spécifique ; 2) est-il possible d'identifier des pressions globales ou locales pour expliquer les changements globaux ou locaux dans le parc ? et dans ce cas lié à une pression locale ou globale ? Parmi les changements globaux à surveiller, la température a été identifiée comme cruciale, ainsi que les interactions vents et vagues (Curd et al. 2023). Les facteurs les plus susceptibles d'expliquer des changements locaux sont les pressions de pêche à pied et des modifications très locales de l'hydrodynamisme et des apports sableux liés à des modifications du trait de côte. Il pourrait être intéressant de documenter et quantifier ces facteurs locaux (quantité de pêcheurs à pied, type de pêche et nature des engins ou suivi de modifications du trait de côte comme les extensions portuaires de la Rochelle ou de la Cotinière pour ne citer que ces exemples) ;
- Les modèles sont basés sur des apprentissages : même s'il existe une très bonne adéquation avec les observations de terrain, il est nécessaire de poursuivre les observations pour avoir un jeu d'entraînement robuste et augmenter le pouvoir prédictif du modèle. La connaissance des activités locales par les gestionnaires reste donc par ailleurs fondamentale dans l'interprétation des résultats des modèles.

## Références bibliographiques

- Curd, Amelia, Fabrice Pernet, Charlotte Corporeau, Lizenn Delisle, Louise B. Firth, Flavia L.D. Nunes, et Stanislas F. Dubois. « Connecting Organic to Mineral: How the Physiological State of an Ecosystem-Engineer Is Linked to Its Habitat Structure ». *Ecological Indicators* 98 (mars 2019): 49-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.044>.
- Curd, Amelia, Mathieu Chevalier, Mickaël Vasquez, Aurélien Boyé, Louise B. Firth, Martin P. Marzloff, Lucy M. Bricheno, et al. « Applying Landscape Metrics to Species Distribution Model Predictions to Characterize Internal Range Structure and Associated Changes ». *Global Change Biology* 29, no 3 (février 2023): 631-47. <https://doi.org/10.1111/gcb.16496>.
- MacQueen J.B. (1967): "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*", Berkeley, University of California Press, 1:281-297
- Caliński T. & Harabasz J (1974) "A dendrite method for cluster analysis, *Communications in Statistics*", 3:1, 1-27, DOI: 10.1080/03610927408827101
- Cochran, WG (1954). "Some methods for strengthening the common chi-squared tests". *Biometrics*. International Biometric Society. 10 (4): 417-451. doi:10.2307/3001616 /// Armitage, P (1955). "Tests for Linear Trends in Proportions and Frequencies". *Biometrics*. International Biometric Society. 11 (3): 375-386. doi:10.2307/3001775. JSTOR 3001775.
- Kéfi S., Guttal V., Brock W.A., Carpenter S.R., Ellison A.M., Livina V.N., Seekell D.A., Scheffèr M., van Nes E.H., & Dakos V. (2014) « Early Warning Signals of Ecological Transitions: Methods for Spatial Patterns ». Édité par Ricard V. Solé. *PLoS ONE* 9, no 3 (21 mars 2014): e92097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092097>.
- Génin, Alexandre, Sabiha Majumder, Sumithra Sankaran, Alain Danet, Vishwesh Guttal, Florian D. Schneider, et Sonia Kéfi. « Monitoring Ecosystem Degradation Using Spatial Data and the R Package Spatialwarnings ». Édité par Sarah Goslee. *Methods in Ecology and Evolution* 9, no 10 (octobre 2018): 2067-75. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13058>.
- Miller, Patrick J., Gitta H. Lubke, Daniel B. McArtor, et C. S. Bergeman. « Finding Structure in Data Using Multivariate Tree Boosting. » *Psychological Methods* 21, no 4 (décembre 2016): 583-602. <https://doi.org/10.1037/met0000087>.
- Viana, Duarte S., Petr Keil, et Alienor Jeliakov. « Disentangling Spatial and Environmental Effects: Flexible Methods for Community Ecology and Macroecology ». Preprint. *Ecology*, 11 décembre 2019. <https://doi.org/10.1101/871251>.
- Nicholson, Emily, Kate E. Watermeyer, Jessica A. Rowland, Chloe F. Sato, Simone L. Stevenson, Angela Andrade, Thomas M. Brooks, et al. « Scientific Foundations for an Ecosystem Goal, Milestones and Indicators for the Post-2020 Global Biodiversity Framework ». *Nature Ecology & Evolution* 5, no 10 (octobre 2021): 1338-49. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01538-5>.