



**Évaluation du rôle des zones intertidales (estrans sableux) pour
les poissons et les macrocrustacés et le renouvellement des
populations (zones de nurseries) sur le Parc Naturel Marin des
Estuaires Picards et de la Mer d'Opale**

Rapport final de synthèse des deux années de suivi : mars 2017 à février 2019

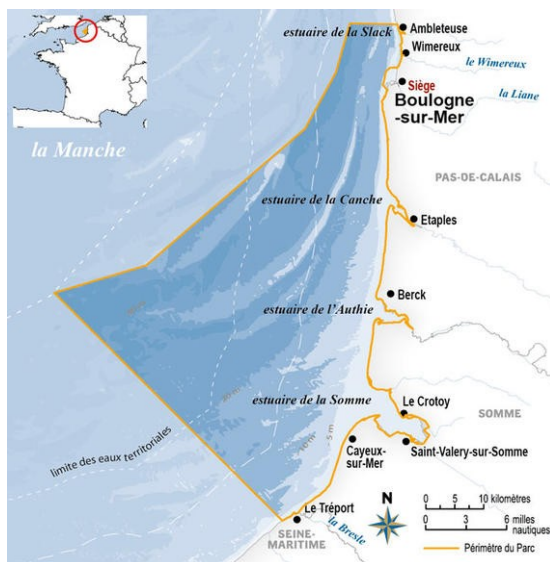
Convention PNMEPMO/17/011

Rachid AMARA

Jérémy DENIS, Khalef RABHI, Marie-Anaïs LEPÊTRE, Dimitri COLLARD, Céline ROLET

Université du littoral Côte d'Opale

Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences – LOG UMR CNRS 8187



Septembre 2019

Résumé

L'importance écologique de la zone intertidale pour les espèces marines est encore peu connue et son rôle sous-estimé. C'est le cas notamment en Manche Orientale où l'estran sableux représente environ 74% du littoral. La présente étude, commandée par le Parc Naturel Marin des Estuaires Picards et de la Mer d'Opale (PNMEPMO), a pour objectif de contribuer à l'évaluation du rôle et de la fonctionnalité écologique des estrans sableux pour les peuplements de poissons et de macrocrustacés et d'explorer le déterminisme des paramètres environnementaux, aussi bien abiotiques que trophiques dans la structuration spatiotemporelle de ces peuplements. Elle a concerné 8 sites d'échantillonnage couvrant l'ensemble du périmètre du parc marin allant d'Audresselles à Cayeux-sur-Mer. Le suivi s'est déroulé sur 2 années, de mars 2017 à février 2019.

Les résultats montrent que la zone intertidale située dans le périmètre du parc marin est fréquentée par de nombreuses espèces de poissons et de macrocrustacés. Au total sur les deux années, 35 espèces ont été capturées, 21 espèces de poissons et 14 espèces de macrocrustacés, parmi lesquelles 11 poissons et 3 macrocrustacés sont des espèces d'intérêt halieutique. La majorité des individus capturés sont des juvéniles de moins d'un an. L'intertidal apparaissant comme un maillon essentiel du système composite qu'est une nourricerie. Cette fonction est l'une des composantes écologiques essentielles de l'estran. De plus, la présence de juvéniles d'espèces d'intérêt halieutique souligne l'importance de cet écosystème dans le renouvellement des ressources halieutiques de la zone d'étude. Les sites de Sainte-Cécile, du Touquet et de Cayeux-sur-Mer présentent une plus grande diversité et de plus fortes abondances de poissons et de macrocrustacés. Ces différences peuvent être reliées à la proximité d'un estuaire, à la disponibilité en nourriture (biomasse en macrobenthos), à la largeur de l'estran et à la turbidité de l'eau. Les juvéniles de poissons trouvent néanmoins des conditions environnementales favorables pour leur développement au niveau des différents sites étudiés.

Cette étude souligne l'intérêt de préserver et de maintenir le fonctionnement écologique de ces habitats essentiels pour assurer la croissance, la survie et le bon déroulement du cycle de vie des espèces et, par conséquent, la pérennité durable des ressources marines exploitées. Les résultats obtenus sont des indicateurs utiles (indices de diversité, évolutions spatiotemporelles des espèces et des peuplements, etc.) pour comprendre le fonctionnement des estrans sableux et permettre ainsi de mettre en place un plan de gestion et de conservation de ces écosystèmes qui peuvent être soumis à des pressions naturelles et anthropiques.

Mots-clés: *Estran sableux, poissons, macrocrustacés, peuplements, macrobenthos, hydrologie, nourricerie.*

Table des matières

Liste des figures	1
Liste des tableaux	4
Préambule.....	1
I. Contexte et objectifs	2
II. Méthodologie mise en place pour l'étude	5
2.1. Zones d'études	5
2.2. Planning et stratégie d'échantillonnage.....	13
2.2.1. Prélèvement de poissons et de macrocrustacés	14
2.2.2. Paramètres environnementaux	15
2.2.3. Prélèvement du macrobenthos.....	16
2.2.4. Prélèvement des macrodéchets.....	16
2.3. Analyses des peuplements de poissons et de macrocrustacés	16
2.4. Analyses du macrobenthos	17
2.5. Analyses des données de pêche aux filets fixes des activités de pêche de loisir.....	18
2.6. Analyses des macrodéchets	19
2.7. Analyses statistiques et numériques	19
III. Résultats des deux années d'études	20
3.1. Caractérisation de la condition environnementale.....	20
3.2. Variations spatio-temporelles du macrobenthos.....	24
3.3. Caractérisation des peuplements de poissons et de macrocrustacés.....	26
3.3.1. Composition des peuplements.....	26
3.3.2. Diversité du peuplement.....	29
3.3.3. Variations spatio-temporelles des peuplements	32
3.3.4. Variations spatio-temporelles des principales espèces d'intérêt halieutique	40
3.3.5. Influence environnementale sur la variation des peuplements de poissons et de macrocrustacés	Erreur ! Signet non défini.
3.3.6. Structures en tailles/poids des principales espèces de poissons	45
3.3.7. Comparaison spatiale de l'indice de Fulton des principales espèces de poissons .	46
3.4. Variations spatio-temporelles des captures aux filets fixes des activités de pêche de loisir	50
3.5. Variations spatio-temporelles des macrodéchets.....	54
IV. Interprétation des résultats et discussion	57
4.1. Rôle et importance de la zone intertidale pour les poissons et les macrocrustacés ...	57

4.2. Évolution spatio-temporelle de la diversité et des densités de poissons et de macrocrustacés	60
4.3. Recommandations et perspectives	62
Références bibliographiques	64
Annexe: Planche des poissons de la zone intertidale	68

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des 8 sites d'échantillonnage sur la zone intertidale du PNMEPMO. .	5
Figure 2 : Photo de l'engin de pêche, le petit chalut à perche utilisé pour l'échantillonnage de la zone intertidale au niveau des 8 sites du PNMEPMO.....	15
Figure 3 : Variations spatiale (à gauche) et temporelle (à droite) des paramètres environnementaux (température (°C), salinité, pH et turbidité (NTU)) au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). La boîte à moustache représente de haut en bas, la valeur maximale, le quartile 75%, la médiane, le quartile 25% et la valeur minimale. Les croix représentent la moyenne.	22
Figure 4 : ACP et CAH réalisées sur les paramètres environnementaux (température, salinité, pH et turbidité) au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). A) Nuage des observations (sites) dans le plan des deux premiers axes de l'ACP. Les trois groupes de sites déterminés par la CAH sont indiqués en haut à gauche. B) Cercle des corrélations des deux premiers axes de l'ACP.	23
Figure 5 : Variations spatiale (A-B) et saisonnière (C-D) de la biomasse moyenne $\pm$ écart-type en macrobenthos (A-C ; $g\ m^{-2}$) et de la composition (B-D ; %) au niveau des 8 sites au cours de la première année d'études (de mars 2017 à février 2018).	25
Figure 6 : Exemple de capture réalisée sur l'estran avec le petit chalut à perche.	28
Figure 7 : Variation spatio-temporelles de la richesse spécifique (nombre d'espèces), A-C) des poissons et B-D) des macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).	30
Figure 8 : Variations spatio-temporelles de l'indice de diversité de Shannon–Wiener (H') et de l'indice de régularité de Pielou (J), A-C) de poissons et B-D) de macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).	31
Figure 9 : Variations spatiales de la densité moyenne $\pm$ écart-type type (A-B ; ind.1000 m^{-2}) et de la composition (C-D ; %) de poissons et de macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).	33
Figure 10 : Variations temporelles de la densité moyenne $\pm$ écart-type (A-B ; ind.1000 m^{-2}) et de la composition (C-D ; %) de poissons et de macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).	34

Figure 11 : Variations saisonnières de la densité moyenne (A ; ind.1000 m ⁻²) et de la composition (B-C ; %) de poissons de macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).	36
Figure 12 : Variations spatiales de la densité moyenne (ind.1000 m ⁻²) et de la composition de poissons en fonction des saisons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'étude (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). Les cercles représentent la composition de poissons et la taille des cercles est reliée à la densité moyenne des poissons observés à chaque site.	38
Figure 13 : Variations spatiales de la densité moyenne (ind.1000 m ⁻²) et de la composition de macrocrustacés en fonction des saisons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'étude (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). Les cercles représentent la composition de macrocrustacés et la taille des cercles est reliée à la densité moyenne des macrocrustacés observés à chaque site.	39
Figure 14 : Les 2 premiers axes de l'AFC réalisée sur les densités des principales espèces de poissons et de macrocrustacés (> 13% d'occurrence) au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). A) les espèces et les projections des observations (les saisons et les années) et B) les projections des observations (les sites).	40
Figure 15 : Variations spatio-temporelles de la densité moyenne $\pm$ écart-type (ind.1000 m ⁻²) des principales espèces d'intérêt halieutique au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).	43
Figure 16 : Variations temporelle des longueurs standards (mm) des huit principales espèces de poissons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (de mars 2017 à février 2018 et de mars 2018 à février 2019). La boîte à moustache représente de haut en bas, la valeur maximale, le quartile 75%, la médiane, le quartile 25% et la valeur minimale. Les croix représentent la moyenne. Le nombre d'individus analysé est indiqué en haut de chaque boîte.	46
Figure 17 : Variations spatiales de l'indice de Fulton (K) des huit principales espèces de poissons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). La boîte à moustache représente de haut en bas, la valeur maximale, le quartile 75%, la médiane, le quartile 25% et la valeur minimale. Les croix représentent la moyenne. Le nombre d'individus analysé est indiqué en haut de chaque boîte.	48
Figure 18 : Variations spatiales des tailles (longueur standard, mm) des huit principales espèces de poissons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars	

2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). La boîte à moustache représente de haut en bas, la valeur maximale, le quartile 75%, la médiane, le quartile 25% et la valeur minimale. Les croix représentent la moyenne. Le nombre d'individus analysé est indiqué en haut de chaque boîte. 50

Figure 19 : Représentation des deux premiers axes de l'ACC réalisée sur les densités des principales espèces de poissons et de macrocrustacés (> 13% d'occurrence) et contrainte par les paramètres environnementaux, morphologiques, géographiques et trophiques au niveau des 8 sites au cours des deux années d'étude (de mars 2017 à février 2018 et de mars 2018 à février 2019). A) seuls les paramètres retenus et B) les espèces sont représentés. **Erreur !**

Signet non défini.

Figure 20. Proportion des espèces de poissons capturées au filet calé par les activités de pêche de loisir pratiquées sur le périmètre du parc marin.

Figure 21 : Exemple de macrodéchets capturés sur l'estran avec le petit chalut à perche. 54

Figure 22 : Variations spatiales de A) la densité moyenne $\pm$ écart-type (frag.1000 m⁻²) et du poids (g), et B) de la composition (%) de macrodéchets au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). 55

Figure 23 : Variations temporelles de A) la densité moyenne $\pm$ écart-type (frag.1000 m⁻²) et du poids (g) et de B) la composition (%) de macrodéchets au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). 56

Figure 24 : Variations spatio-temporelles de la CPUE (kg.1000 m⁻²) et de la composition de poissons en fonction des saisons au niveau des 8 sites au cours des années 2016 et 2017. Les cercles représentent la composition de poissons et la taille des cercles est reliée à la CPUE moyenne des poissons observés à chaque site. 53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des dates des campagnes d'échantillonnages réalisées durant les deux années d'études (de mars 2017 à février 2018 et de mars 2018 à février 2019). Les chiffres correspondent aux dates de chaque mois.	14
Tableau 2 : Liste des espèces de poissons et de macrocrustacés capturées au chalut à perche au niveau de la zone intertidale de la zone d'étude au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). Les espèces sont classées par rangs selon leur densité (ind./1000 m ²). Sont indiqués pour chaque espèce le taux de capture (%), l'occurrence (%) et la taille moyenne $\pm$ écart-type (LT, mm).....	27
Tableau 3 : L'occurrence (%) de poissons et de macrocrustacés capturées au niveau des 8 sites du PNMEPMO au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). 1) Audresselles, 2) Wimereux, 3) Equihen-Plage, 4) Sainte-Cécile, 5) Le Touquet, 6) Berck, 7) Quend-Plage et 8) Cayeux-sur-Mer.....	29
Tableau 4. Liste des espèces de poissons capturés au filets fixes du bord des activités de pêche de loisir pratiquées sur le périmètre du parc marin. Les données sont exprimées en CPUE (Kg/1000 m ² de filet) et par saison pour les deux années 2016 et 2017.....	51

Préambule

Le Parc Naturel Marin des Estuaires Picards et de la Mer d'Opale (PNMEPMO) a pour objectif principal de concilier la préservation et la valorisation des patrimoines naturels, paysagers et culturels qu'abrite son territoire avec la pratique des multiples usages qui s'y exercent.

Les grandes finalités de gestion du Parc Naturel Marin reposent sur les orientations de gestion définies dans son décret de création, et en particulier « protéger, maintenir en bon état de conservation et si besoin restaurer le patrimoine naturel marin, exploité ou non, ainsi que les fonctionnalités multiples et originales des écosystèmes, en particulier celles des nourriceries, des frayères et des couloirs de migration en mer ainsi qu'à l'interface terre-mer, dans et à l'ouvert des estuaires, en lien étroit avec les usagers du milieu marin ».

Le patrimoine naturel est au centre des enjeux du territoire. De ce fait une des finalités du plan de gestion définie porte sur un bon état de conservation de toutes les espèces à statut pour lesquelles le Parc Naturel Marin a une responsabilité. De même, un des enjeux du Parc Naturel Marin est de veiller à ce que les capacités productives et reproductives des populations de poissons soient préservées ou améliorées.

C'est dans ce contexte qu'une convention de partenariat entre le PNMEPMO et le Laboratoire d'Océanologie et Géosciences (LOG-UMR) de l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO) a été établie pour répondre aux objectifs suivants :

- Mise en place de la méthodologie et du planning de suivi à long terme de l'ichtyofaune des estrans sableux du périmètre du PNMEPMO.
- Évaluer le rôle écologique des estrans sableux du périmètre du PNMEPMO pour l'ichtyofaune et la macrofaune (rôle de nourricerie) et explorer le déterminisme des paramètres environnementaux dans la structuration des assemblages.
- Sensibiliser, communiquer et valoriser autour du partenariat par les deux parties.

I. Contexte et objectifs

Les zones côtières jouent un rôle important en fournissant divers biens et services écosystémiques. Leurs situations à l'interface entre la terre et la mer en font des territoires qui possèdent de forts enjeux stratégiques en termes d'économie mais également d'environnement (Allain et al., 2006 ; Amara, 2011). D'un point de vue environnemental, ces écosystèmes sont parmi les plus riches et les plus productifs de la planète. À l'échelle européenne, 44% des espèces d'intérêt halieutique présentent une dépendance côtière et/ou estuarienne à un moment de leur cycle de vie, et ces espèces représentent 77% du tonnage des débarquements (Seitz et al., 2014).

Les écosystèmes côtiers, du fait de leurs propriétés, sont très attractifs pour l'homme. Ils sont donc soumis à de fortes pressions anthropiques qui menacent leur équilibre et leur intégrité : surpopulation des côtes, destruction des habitats naturels (aménagement et activités portuaires, activités industrielles, pollutions, marées noires, développement intensif du tourisme...) et surexploitation des ressources vivantes aquatiques.

Situé à l'interface entre la terre et la mer, l'estran ou la zone intertidale est la partie du littoral située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées. Il constitue un biotope spécifique, qui peut abriter de façon permanente ou temporaire de nombreuses espèces marines. Certaines espèces marines ont un cycle de vie qui leur impose de passer à un moment de leur vie par cet écosystème. Aussi, ces écosystèmes contribuent au maintien de la biodiversité et au renouvellement des ressources marines (Costa et al., 2002). De nombreuses espèces de poissons et de macrocrustacés effectuent des mouvements synchrones avec la marée pour profiter de la zone intertidale (Gibson, 2003 ; Able et al., 2005). Ces migrations ont été attribuées à la productivité et la disponibilité de la nourriture et à l'évitement des prédateurs (Blaber et Blaber, 1980 ; Van der Veer et Bergman, 1986 ; Gibson et Yoshiyama, 1999). La principale fonction écologique de l'estran pour les poissons est celle de zone de nourricerie où la survie des juvéniles est optimale (Amara et Paul, 2003 ; Lazzari et al., 2003).

Parmi les systèmes intertidaux dans le monde, les plages sableuses sont les plus répandues, dominant la plupart des côtes tempérées (Short, 1999). C'est le cas en Manche Orientale où les plages sableuses représentent 74% du littoral, et constituent d'importantes zones de nourriceries pour les juvéniles de poissons (Selleslagh et Amara, 2008a). Les travaux réalisés au niveau de la zone intertidale de la Canche (la plage de Sainte-Cécile) ont montré que cette

zone est fréquentée, de façon permanente ou temporaire, par plus de 28 espèces (18 poissons et 10 macrocrustacés) (Amara et Paul, 2003 ; Benazza et al., 2015). Malgré l'importance écologique de l'estran sableux, peu de travaux ont concerné les communautés de poissons et de macrocrustacés particulièrement le long des côtes européennes (e.g. Gibson et al., 1993 ; Santos et Nash, 1995 ; Beyts et al., 2001). De plus, ces études se sont souvent focalisées au niveau d'un seul site d'étude sans prendre en compte la variabilité spatiale des peuplements (e.g. Benazza et al., 2015), ou alors se sont intéressées uniquement à la dynamique des populations de l'une des espèces dominantes (Van der Veer et al., 1991 ; Campos et al., 2010).

La pression de prédation et la nourriture disponible pour les juvéniles peuvent être spatialement et temporellement réparties inégalement le long des zones intertidales. En effet, cet écotone (c.à.d. zone de transition entre deux écosystèmes) se caractérise par la forte variabilité de ses conditions abiotiques (salinité, température, pH, oxygène dissous...) et biotiques (disponibilité en nourriture, bloom d'algues comme les marées vertes, bloom de *Phaeocystis*...) le long de gradients géographiques et temporels (Benazza et al., 2015 ; Le Luherne, 2016). Cependant, la façon dont cet écosystème répond aux forçages environnementaux, notamment en ce qui concerne la composition et la structure des peuplements, leurs évolutions spatiotemporelles sont encore mal connues, en particulier pour les poissons et les macrocrustacés. Décrire et comprendre les variations spatiotemporelles de la biodiversité de la zone intertidale permettrait de mettre en place des mesures de gestion appropriées pour protéger cet écosystème.

Le PNMEPMO a pour objectif principal de concilier la préservation et la valorisation des patrimoines naturels, paysagers et culturel, qu'abrite son territoire avec la pratique des multiples usages qui s'y exercent. Sur le territoire du PNMEPMO, il existe un linéaire de plage important et dont l'importance des estrans sableux pour la macrofaune n'est encore pas ou peu connue. Seul l'estran de la plage de Sainte-Cécile au niveau de la Canche a fait l'objet d'un suivi détaillé (de 2000 à 2013) de son rôle écologique pour les espèces marines. Le manque de connaissances actuelles des peuplements qui fréquentent l'estran nous place aujourd'hui dans l'impossibilité de répondre correctement aux objectifs de gestion de ces milieux. Ces connaissances de base sont pourtant nécessaires à l'établissement d'états initiaux et à la définition d'état de référence. Ce n'est qu'à partir de ces données que pourra être étudiée une stratégie de contrôle de surveillance adaptée.

Les objectifs de l'étude sont :

-
- Faire un inventaire de l'ichtyofaune et d'étudier la composition des peuplements à la fois spatialement et temporellement afin d'établir une base qualitative et quantitative d'informations sur la composition et la répartition des peuplements piscicoles fréquentant l'estran.
 - Cartographier les peuplements piscicoles fréquentant l'estran sableux et étudier l'influence des facteurs environnementaux (biotique et abiotique) structurant les assemblages de poissons.
 - Évaluer la fonctionnalité écologique de l'estran sableux pour l'ichtyofaune (rôle de nourriceries) et son importance dans le renouvellement des stocks halieutiques.

Afin d'avoir une vision complète de l'occupation de l'estran par les poissons, nous avons également intégré dans cette étude les données de captures au filet fixe des activités de pêche de loisir fournies par la délégation de la mer et du littoral 62-80 (DML).

L'ensemble des résultats obtenus sont discutés au regard des pressions et des menaces (aménagements existants (digues, épis...), fréquentation par les pêcheurs amateurs (pêche à pied), fréquentation par les activités de loisir) pouvant affecter le fonctionnement écologique de l'estran le long du périmètre du PNMEPMO. Des informations ont également été recueillies lors des échantillonnages concernant la présence de macrodéchets (plastiques) dans les échantillons.

Des partenariats ont été mis en place avec le projet CPER MARCO (Recherches marines et littorales en Côte d'Opale : des milieux aux ressources, aux usages et à la qualité des produits aquatiques). Les résultats de ces travaux pourront contribuer dans le cadre du RESOMAR à alimenter la réflexion pour répondre aux objectifs de la DCSMM et des besoins de développement méthodologique pour y répondre.

Le présent rapport est un rapport de synthèse des 2 années d'études. Pour chaque année d'études, un rapport détaillé est présenté séparément.

II. Méthodologie mise en place pour l'étude

2.1. Zones d'études

Afin de couvrir un maximum de la superficie de l'estran sableux du périmètre du PNMEPMO et de prospecter différents « types » d'estrans sableux, nous avons échantillonné 8 sites en allant du Nord au Sud de la zone d'étude (Figure 1).

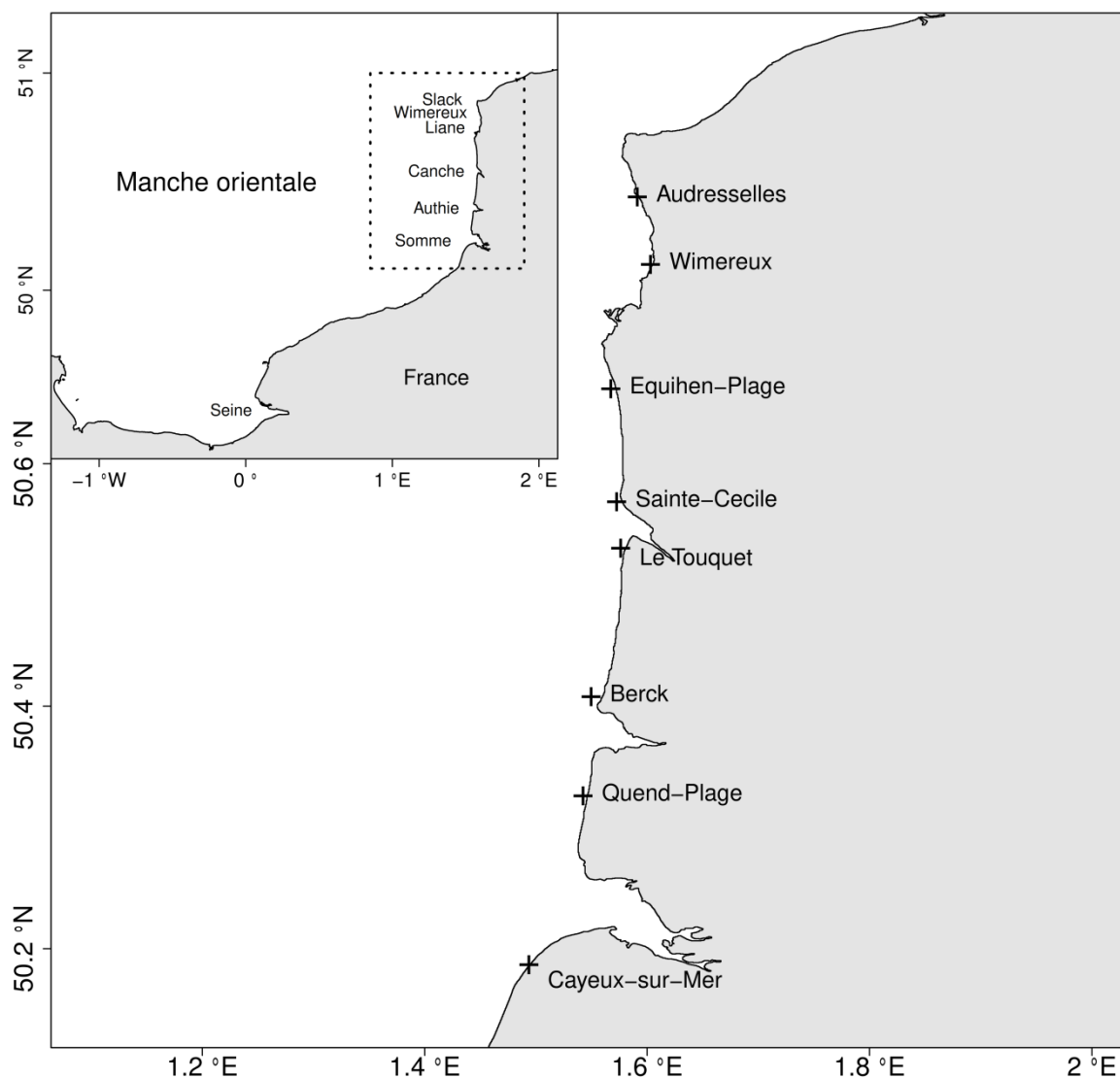


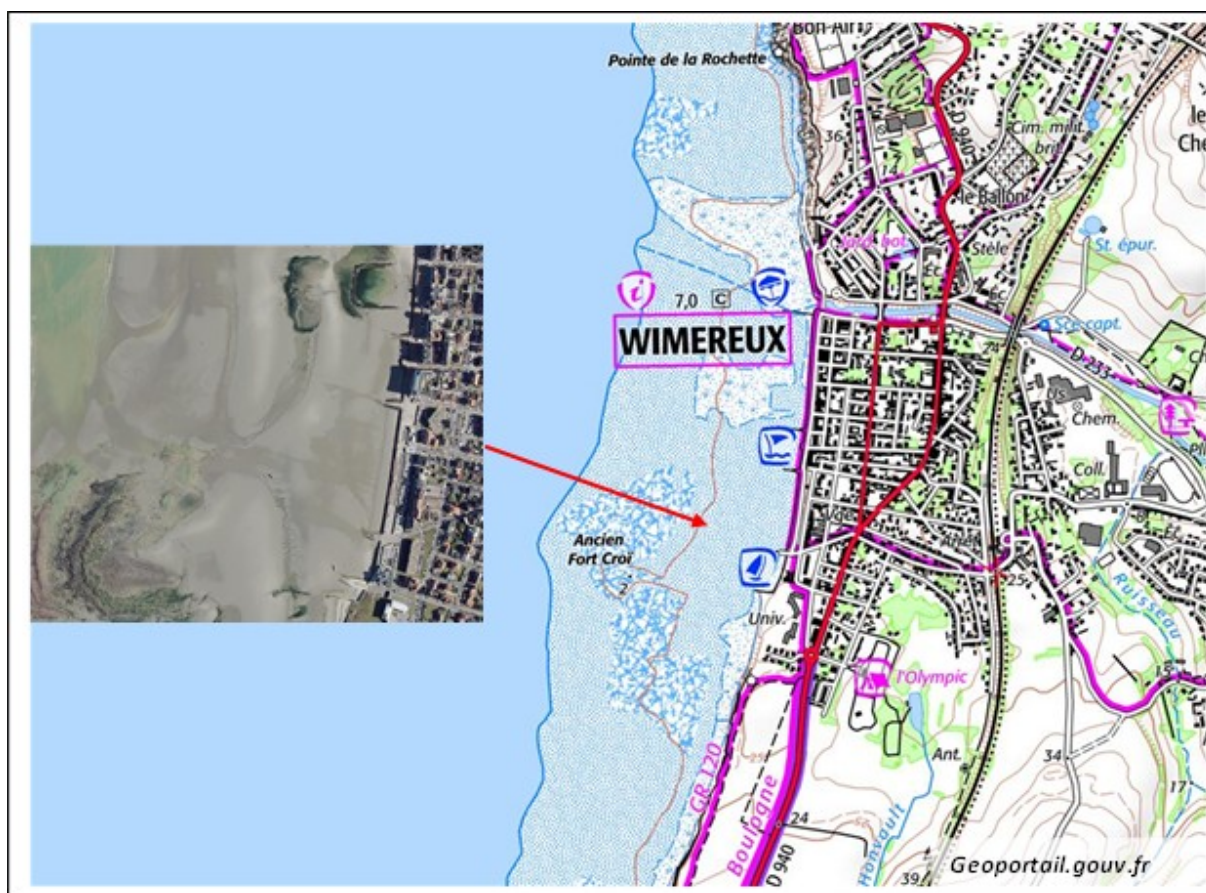
Figure 1 : Localisation des 8 sites d'échantillonnage au niveau de la zone intertidale du PNMEPMO.

Les caractéristiques de chacun des sites sont décrites ci-dessous :

Site 1 : Audresselles (50°49'13.91" N ; 1°35'30.34" E) localisé à 11 km au Nord de Boulogne-sur-Mer et à 23 km au Sud-Ouest de Calais, est une petite plage sableuse avec une accumulation de galets en haut de plage. La plage est encadrée par deux zones d'affleurements rocheux et sa largeur est relativement petite de l'ordre de 400 à 500 m. Le haut de plage constitué du cordon de galets présente une pente importante de 9,49% (5,42°) alors que la pente du bas de plage est de 1,71 % (0,72°).



Site 2 : Wimereux (50°45'55.02"N ; 1°36'11.36"E) se situe à 7 km au Nord de Boulogne-sur-Mer. Il s'agit d'une plage sableuse située entre les petites falaises (20-35 m) de la Pointe de la Crèche et de la Pointe aux Oies. Le site se caractérise par la présence d'affleurements rocheux et d'une moulière naturelle et la présence au Nord de l'embouchure d'un petit estuaire, le Wimereux (débit moyen de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). La largeur de l'estran à basse mer varie entre 600 et 700 m et la pente de la plage est de 1,35% (ou $0,77^\circ$).



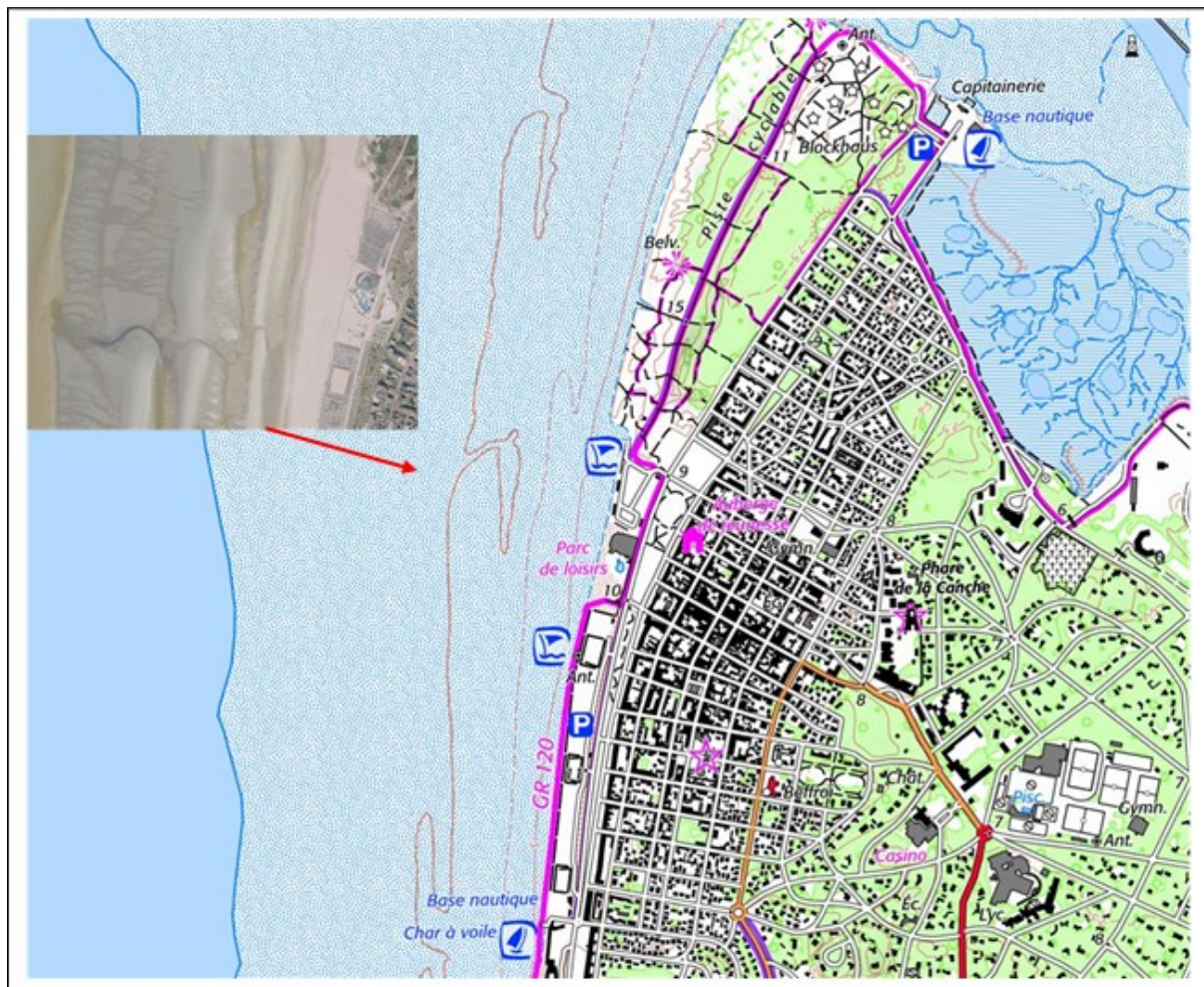
Site 3 : Équihen-plage ($50^{\circ}40'0.65''\text{N}$; $1^{\circ}34'2.09''\text{E}$) correspond à une plage de sable caractérisée par une alternance de barres et de bâches dans les parties centrales et inférieures de l'espace intertidal. Ce site est éloigné de toute influence estuarienne directe ou de zones rocheuses. La largeur de l'estran à basse mer varie entre 500 et 600 m et la pente de la plage est de 1,56% (ou $0,89^{\circ}$).



Site 4 : Sainte-Cécile (50°34'13.05"N ; 1°34'26.93"E) se situe en rive Nord de l'estuaire de la Canche (débit moyen de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Il s'agit d'un vaste estran sableux marqué par une alternance de barres et de bâches dans les parties centrales et inférieures de l'espace intertidal et éloigné de toute zone rocheuse. La largeur de l'estran à basse mer est d'environ 1000 à 1300 m. La pente de l'estran est faible de l'ordre de 0,95% (0,54°). Des cordons dunaires bordent le haut de plage.



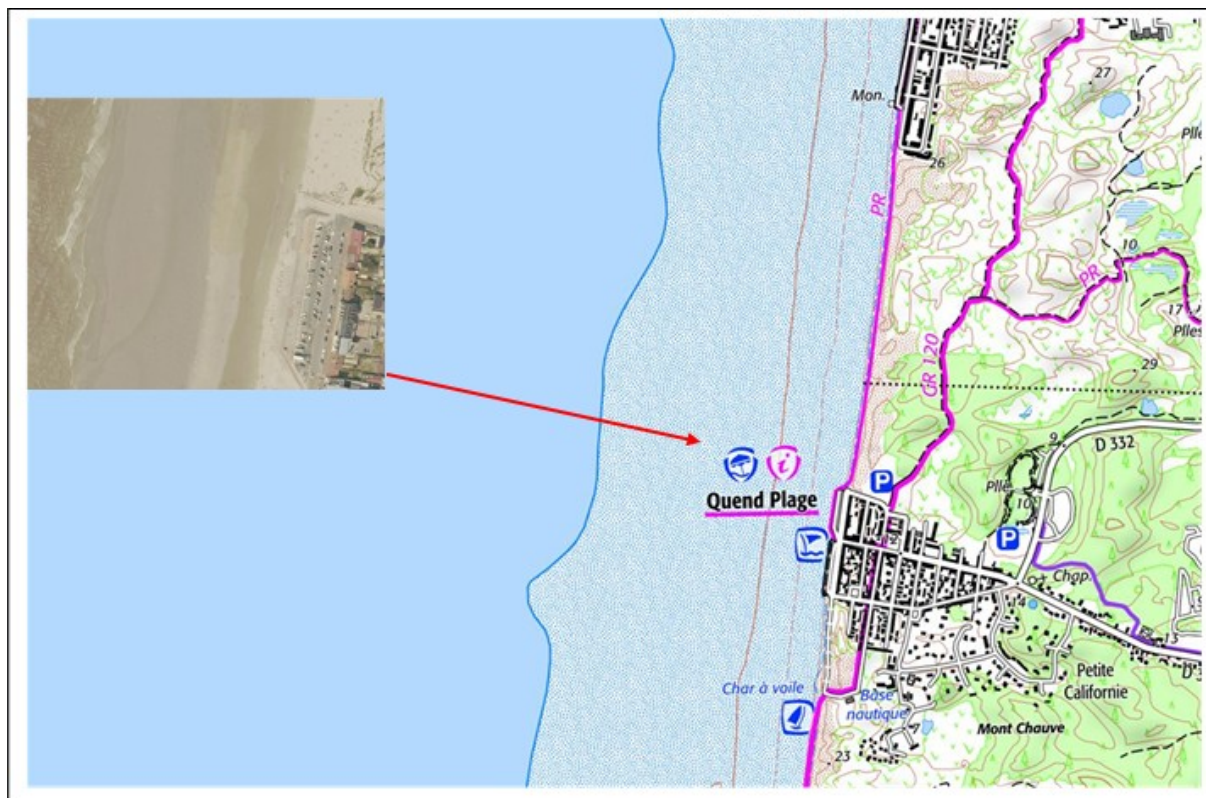
Site 5 : Le Touquet (50°31'43.88"N ; 1°34'37.68"E), se situe au Sud de l'estuaire de la Canche. Comme le site précédent, il s'agit d'un vaste estran sableux marqué par une alternance de barres et de bâches dans les parties centrales et inférieures de l'espace intertidal et éloigné de toutes zones rocheuses. La largeur de l'estran à basse mer est d'environ 1000 à 1100 m et la pente de l'estran est de 1,17% (0,67°). Dans le haut de plage, le cordon dunaire est régulièrement entrecoupé d'exutoires naturels et d'un grand nombre de blockhaus encore perchés dans les dunes ou effondrés sur la plage.



Site 6 : Berck (50°24'23.73"N ; 1°33'12.83"E) qui se situe à environ 15 km au Sud du site balnéaire du Touquet sur la rive Nord de l'estuaire de l'Authie (débit moyen de $11\text{m}^3.\text{s}^{-1}$). Il s'agit également d'un vaste estran sableux marqué par une alternance de barres et de bâches dont les parties centrales et inférieures de l'espace intertidal sont éloignées de toutes zones rocheuses. La largeur de l'estran à basse mer varie de 900 à 950 m. la pente de l'estran est de 1,50% (0,86°).



Site 7 : Quend-Plage ($50^{\circ}19'33.62''\text{N}$; $1^{\circ}32'39.48''\text{E}$), se situe à 7 km au Sud de l'estuaire de l'Authie. Il s'agit également d'une grande plage sableuse composée de barres et de bâches et éloignée de toutes zones rocheuses. La largeur de l'estran à basse mer varie de 700 à 800 m et la pente de l'estran est de 1,51% ($0,86^{\circ}$).



Au total, 17 campagnes d'échantillonnage pour la première année d'études et 14 campagnes d'échantillonnage pour la seconde année ont été réalisées sur chacun des 8 sites étudiés (Tableau 1).

Tableau 1 : Récapitulatif des dates des campagnes d'échantillonnages réalisées durant les deux années d'études (de mars 2017 à février 2018 et de mars 2018 à février 2019). Les chiffres correspondent aux dates de chaque mois.

	Audresselles		Wimereux		Équihen-Plage		Sainte-Cécile		Le Touquet		Berck		Quend-Plage		Cayeux-sur-Mer	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Mars	6 22	22	6 22	21	7 22	14	7 23	14	6 22	12	10 23	12	13 24	13	13 24	13
Avril	4 27	11 27	4 26	11 27	4 26	11 26	5 25	10 26	4 26	10 24	5 25	10 24	6 24	12 25	6 24	12 25
Mai	3 16	17 30	3 16	17 30	3 16	15 30	4 17	15 29	3 16	14 29	4 17	14 29	5 18	11 28	5 18	11 28
Juin	1 22	13 27	1 22	13 28	1 22	13 27	2 20	11 27	1 22	11 26	2 20	11 26	3 21	12 25	3 21	12 25
Juillet	6 18	9	6 18	12	6 18	10	4 19	10	6 18	9	4 19	9	5 20	11	5 20	11
Août	28	24	28	24	28	23	31	23	28	22	30	22	29	21	29	21
Septembre	17	-	17	-	17	-	18	-	17	-	18	-	19	-	19	-
Octobre	19	4 17	26	4 17	19	2 17	19	2 18	26	3 18	18	3 18	17	5 19	17	5 19
Novembre	17	20	17	23	16	20	16	20	17	19	14	19	15	22	15	22
Décembre	21	20	22	20	18	17	18	17	22	18	20	18	19	19	19	19
Janvier	25	15	25	15	26	17	26	17	10	21	10	21	12	18	12	18
Février	16	21	16	21	15	20	15	20	16	19	12	19	14	18	14	18

2.2.1. Prélèvement de poissons et de macrocrustacés

L'engin d'échantillonnage est un petit chalut à perche de 1,5 m d'ouverture horizontale et de 0,30 m de hauteur (Figure 2). Il est composé d'un filet de vide de maille de 8 mm à son entrée et de 5 mm à son extrémité. Le filet possède à son entrée une chaîne qui permet de remettre en suspension le substrat et ainsi de capturer les espèces benthodémersales comme, par exemple, les poissons plats. Ce chalut est tracté par deux personnes, parallèlement au trait de côte, à une vitesse constante sur une distance de 200 m (Figure 2). Les pêches ont été réalisées de jour durant la marée descendante lorsque la hauteur d'eau est d'environ 0,5 à 1 m, soit 2 à 3 heures après la marée haute. À chaque site, 3 pêches au chalut ont été réalisées.

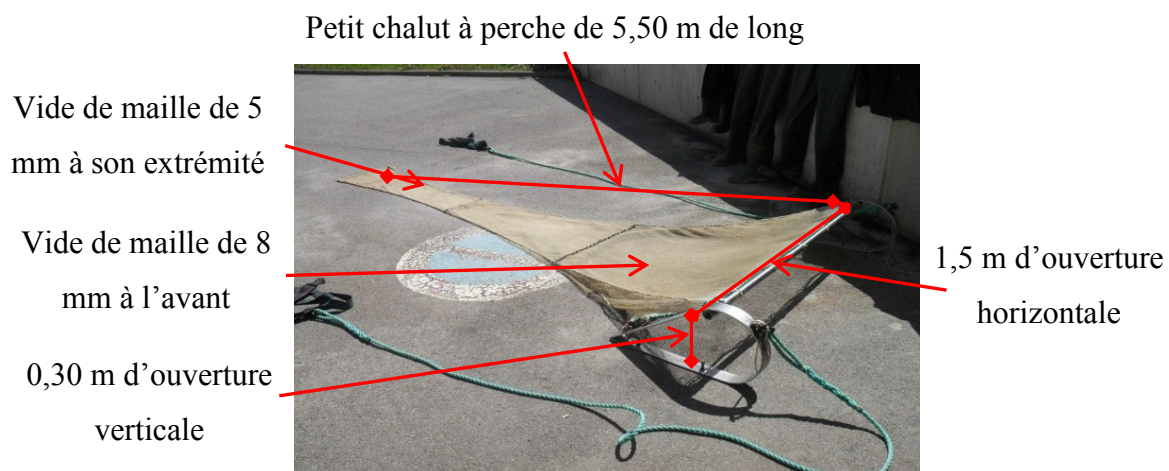


Figure 2 : Photo de l'engin de pêche, le petit chalut à perche utilisé pour l'échantillonnage de la zone intertidale au niveau des 8 sites du PNMEPMO durant les périodes d'études.

Après chaque pêche, les espèces sont stockées dans des sacs plastiques conservés dans une glacière avec de la glace afin de les transporter rapidement au laboratoire pour le tri.

2.2.2. Paramètres environnementaux

Lors de chaque campagne d'échantillonnage et à chaque site, des mesures de température (°C) et de salinité sont réalisées à l'aide d'une sonde multi paramètre (Hanna HI 9829-00042).

Un échantillon d'eau prélevé au même moment est rapporté au laboratoire pour analyse du pH (pH Meter Basic 20+) et de la turbidité (Hanna HI 93703 ; NTU).

Les données relatives à la direction et la vitesse du vent (m.s^{-1}) ainsi que le coefficient de marée ont été obtenues auprès de windguru (<http://www.windguru.cz>) et marée info.

2.2.3. Prélèvement du macrobenthos

La faune macrobenthique constitue une source potentielle d'alimentation pour l'ichtyofaune surtout dans les milieux peu profonds. Le macrobenthos a été échantillonné uniquement pendant la première année d'études à chaque saison (printemps (avril), été (août), automne (novembre) et hiver (février)). Sur chaque site, 3 échantillons ont été prélevés à l'aide d'un carottier de 1/40^{ème} de mètres carrés sur une profondeur de 20 cm et 20,5 cm de diamètre. L'échantillon est tamisé sur le bord de l'eau avec un tamis de 1 mm. Le refus de tamis est conservé avec de l'eau de mer et formolé à 10% en attendant d'être trié au laboratoire.

2.2.4. Prélèvement des macrodéchets

Les macrodéchets présents dans les prélèvements réalisés au petit chalut à perches sont conditionnés dans des sacs pour être triés au laboratoire.

2.3. Analyses des peuplements de poissons et de macrocrustacés

Identification et analyses biométriques

Au laboratoire, tous les individus sont triés et identifiés au niveau spécifique (Annexe I) puis dénombrés. Les poissons sont mesurés (longueur standard et totale en mm) à l'aide d'un ichtyomètre électronique (Mitutoyo CD 15 CP) et pesés individuellement (poids total en g) grâce à une balance électronique (Scout pro OHAUS). Les macrocrustacés sont aussi identifiés jusqu'à l'espèce, dénombré et pesé par espèce (poids total en g).

Indices de diversités

Trois indices de diversité ont été déterminés :

- La richesse spécifique (S)
- Indice de diversité de Shannon-Wiener (H')
- Indice de régularité de Piélou (J)

Occurrence

Le taux d'occurrence (%) d'une espèce permet de caractériser l'étendue de la répartition de cette espèce dans un écosystème donné, en particulier de définir si cette espèce est plutôt rare ou commune (Manné, 2007).

$$Oc = \frac{Ci}{Ct} \quad (\text{Eq. 3})$$

Où Oc représentent le taux d'occurrence (%), Ci, le nombre de campagnes où l'espèce i est présente et Ct, le nombre total de campagnes.

Les espèces ont été classées dans des catégories selon leur occurrence en suivant les critères définis par Guérault et al., (1995) :

- Rare < 13% ;
- 13% < Occasionnelle < 25% ;
- 25% < Commune < 50% ;
- Constante > 50%.

Densité

Les captures d'une espèce de poisson ou de macrocrustacés sont exprimées en densité (ind.1000 m⁻²), permettant ainsi de comparer différents échantillons en standardisant les données. On le calcule selon l'équation suivante :

$$Di = \frac{Qi}{A} \times 1000 \quad (\text{Eq. 4})$$

Où Di est la densité et représente le nombre d'individus de l'espèce i par 1000 m⁻², Qi est le nombre d'individus pour une espèce i et A est la surface échantillonnée (en m²), ici la distance parcourue par l'ouverture du chalut.

Indice de condition morphométrique

L'indice de condition morphométrique utilisé est l'indice de Fulton K (1911). L'indice de Fulton caractérise l'embonpoint d'un poisson et suppose que plus un individu est gros à une taille donnée, meilleure est sa condition. Il est considéré comme un indice représentatif de l'état nutritionnel et de l'état des réserves énergétiques d'un individu (Sutton et al. 2000). On le calcule selon l'équation suivante :

$$Ki = \frac{Wi}{Lti^{bi}} \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

Où Ki représente le poids de l'individu de l'espèce i en fonction de sa taille (mg.mm⁻³), Wi est le poids de l'individu pour l'espèce i (en mg), Lti est la longueur totale de l'individu pour l'espèce i (en mm) et bi est le coefficient d'allométrie de l'espèce i.

2.4. Analyses du macrobenthos

Les échantillons de macrobenthos sont rincés et triés sous une loupe binoculaire et séparés en différents groupes (amphipodes, isopodes, mysidacés, polychètes, bivalves, crustacés...). Le nombre d'individus dans chacun des groupes est compté. Ainsi, la densité d'individus par

m² (ind.m⁻²) est déterminée. La biomasse des individus est ensuite calculée selon la méthode du poids sec libre des cendres (ICES, 1986). Les individus sont regroupés par groupe zoologique (ordre) et par site et placés dans une étuve à 60°C pendant 48 heures, puis pesés le plus précisément possible pour déterminer le poids sec. Ils sont ensuite placés dans un four à 520°C pendant 6 h afin de permettre la disparition complète de la matière organique sans pour autant détériorer la matière minérale présente. La biomasse obtenue est estimée en g.m⁻². Le poids sec libre des cendres est obtenu par la différence des poids secs et du poids des cendres. Ce poids sec libre des cendres correspond à l'estimation de la matière organique contenue dans les animaux présents dans le sédiment (le poids sec libre des cendres est l'équivalent du « Ash Free Dry Weight » anglo-saxon).

2.5. Analyses des données de pêche aux filets fixes des activités de pêche de loisir

La pêche du bord au filet fixe est une activité de loisir à but non lucratif qui se pratique sur le littoral du PNMEPMO. Cette pratique est soumise à des déclarations de captures auprès de la Délégation de la Mer et du Littoral (DML) du Pas-de-Calais (62) et de la Somme (80). Ces déclarations sont des sources de données très peu valorisées (Lebot, 2016) qui apportent des informations sur la fréquentation des espèces de poissons sur l'estran tout au long de l'année. Les déclarations des pêcheurs répertorient les captures par semaine, les caractéristiques du filet calé utilisé (type de filet, la longueur, la hauteur et le maillage étiré), la zone de pêche et les capture en kg par espèce.

Les pêches sont également soumises à des réglementations sur les tailles (taille minimale) et les quantités (quota) de captures. Les tailles de captures minimales ont été estimées à 38 cm pour les poissons fusiformes (c.à.d. bar, hareng, merlan, mulot) et à 28 cm pour les poissons plats (c.à.d. barbrue, sole, flet, sole commune) (Lebot, 2016).

Les déclarations de l'activité de pêche aux filets fixes de 2016 et 2017 ont été traitées afin d'étudier la fréquentation de l'estran par les poissons adultes. Les données sont présentées par saison et par zones correspondant aux 8 sites d'étude.

Les captures par unité d'effort (CPUE) permettent de standardiser les captures par espèces et sont basées sur les captures totales et l'effort de capture qui se calcule selon l'équation suivante :

$$CPUE = \frac{Capture\ totale_{i,s}}{Effort\ de\ pêche_s} \times 1000 \quad (Eq. 7)$$

Les captures par unité d'effort (CPUE) permettent de standardiser les captures par espèces et sont basées sur les captures totales et l'effort de capture qui se calcule selon l'équation suivante :

Les captures par unité d'effort (CPUE) permettent de standardiser les captures par espèces et sont basées sur les captures totales et l'effort de capture qui se calcule selon l'équation suivante : Seuls les pêcheurs qui ont déclaré au moins une capture dans la saison ont été pris en compte pour calculer le nombre de pêcheurs. Le nombre de semaines de capture est la somme des semaines où la capture est renseignée par saison. La surface minimale de filets posés a été estimée à partir de la taille et de la hauteur du filet par saison pour calculer la surface moyenne de filet déployé. Le nombre de semaine de captures effectuées et la surface de filet pour chaque pêcheur déclarant au moins une capture dans la saison permettent de déduire la surface minimale de filets posés sur l'ensemble de la saison.

2.6. Analyses des macrodéchets

Les macrodéchets présents dans les échantillons ont été triés, identifiés par catégories, dénombrés et pesés (en g) par catégorie grâce à une balance électronique (Scout pro OHAUS).

2.7. Analyses statistiques et numériques

La normalité et l'égalité des variances des données de paramètres environnementaux et biologiques ont été évaluées avec un test de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) et un test de Bartlett ($p < 0,05$). Des tests paramétriques (ANOVA, χ^2) et non paramétriques (Kruskal-Wallis) ont été effectués pour analyser les variations des paramètres environnementaux et les variations spatiales et temporelles des espèces. Ces tests ont été suivis de procédures post hoc adaptées (test de Tukey ou de Dunnett) permettant une comparaison des variables par paires. Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le package *Stats* du logiciel R.

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée afin de déterminer les relations dans le temps (saisons) et l'espace (sites) des paramètres environnementaux (température, salinité, pH et turbidité). Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) basée sur les deux premières composantes principales extraites de l'ACP a ensuite été réalisée afin de regrouper les sites et les saisons d'un point de vue environnemental. Une Analyse Factorielle de Correspondances (AFC) a été utilisée afin d'étudier la distribution des poissons et des macrocrustacés (variables) en fonction des dates de prélèvements sur les différents sites

(observations). Une Analyse Canonique (ACC) a été effectuée pour explorer les relations entre les assemblages de poissons et de macrocrustacés et les paramètres environnementaux, morphologiques, spatial et les proies potentielles. L'ACP, l'AFC, la CAH et l'ACC ont été réalisées en utilisant les packages *vegan* (Oksanen et al., 2013), *FactoMineR* (Lê et al., 2008) et *stats* sous le logiciel R.

Une CAH basée sur les densités de poissons et de macrocrustacés a été réalisée sur les sites et les saisons afin de les regrouper selon la distribution des densités. Une analyse de positionnement Multidimensionnel non métrique (nMDS) a ensuite été réalisée sur les groupes de sites et de saisons définis par la CAH. La nMDS est une analyse multivariée qui permet d'explorer les similarités ou les dissimilarités entre les données. Une analyse de pourcentage de similarité (SIMPER) basée sur les groupes de sites et de saisons définis par la CAH a ensuite été réalisée pour déterminer la contribution des espèces à la similarité moyenne d'un groupe. Une analyse de similarité (ANOSIM) basée sur les densités en poissons et macrocrustacés a été réalisée sur les sites ou les saisons afin de les regrouper selon la distribution des densités. La CAH, la nMDS, le SIMPER et l'ANOSIM ont été réalisées en utilisant le logiciel PRIMER (version 6.9) (Clarke et Warwick, 2001).

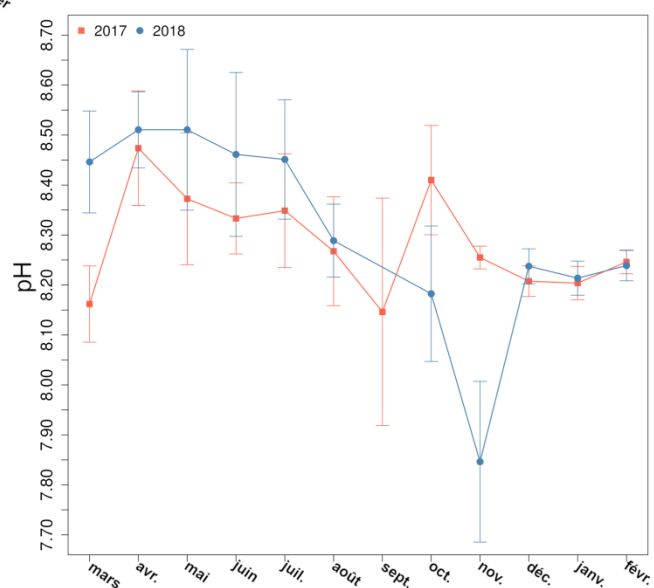
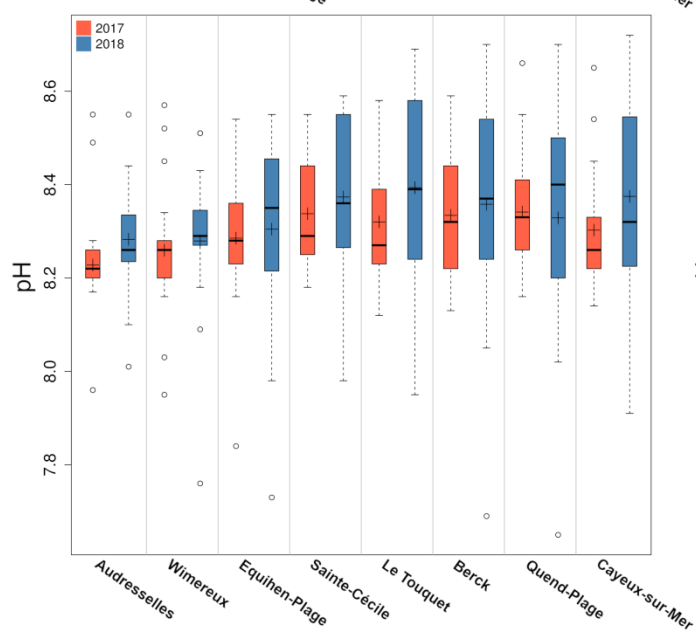
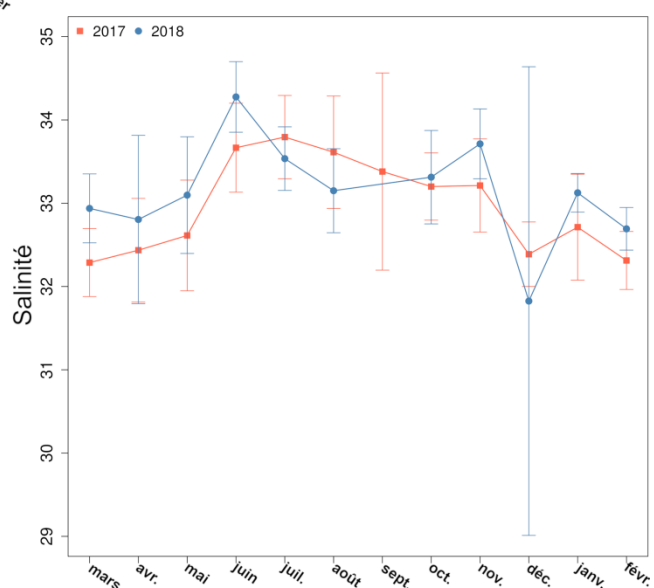
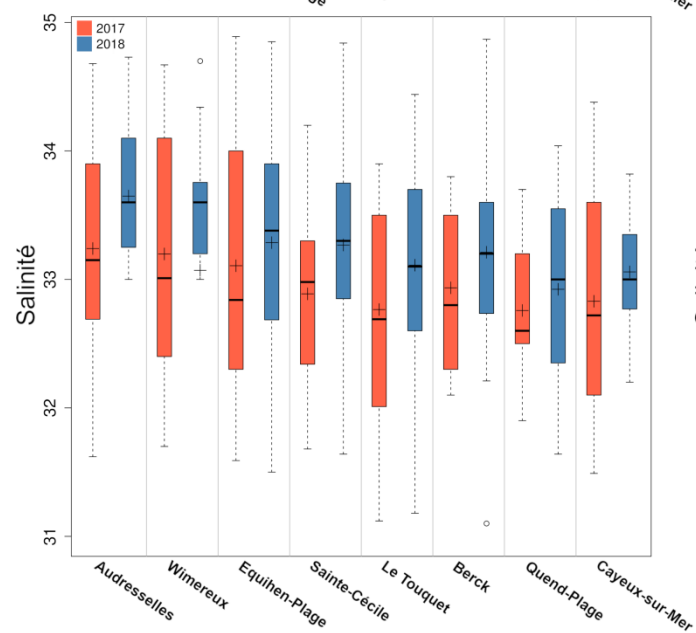
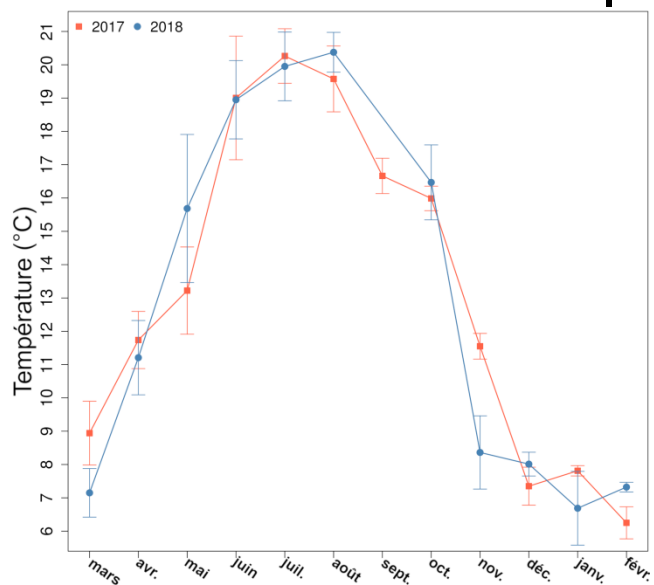
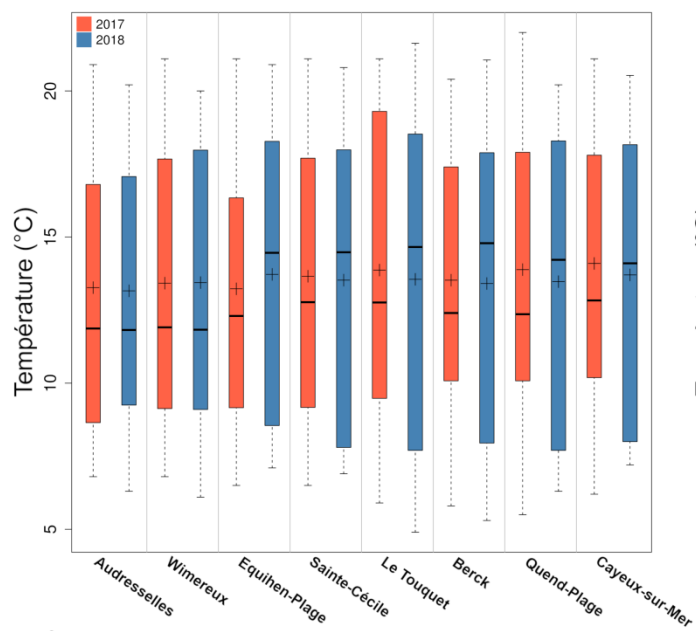
III. Résultats des deux années d'études

3.1. Caractérisation des conditions environnementales

La température de l'eau de mer montre une évolution saisonnière classique ; elle augmente progressivement de début mars (7,2°C) pour atteindre un maximum en juillet-août (20-21°C) puis diminue pour atteindre environ 7-8°C en décembre (Figure 3). Au cours de la période d'étude, la salinité variée entre 25 et 34,89 et le pH entre 7,65 et 8,72 ; les plus fortes turbidités ont été enregistrées au Touquet et à Cayeux-sur-Mer (133,7 et 212,7 NTU, respectivement).

On peut noter un décalage des températures entre les 2 années avec un hiver plus froid en 2018 comparé à 2017.

(Figure 3).



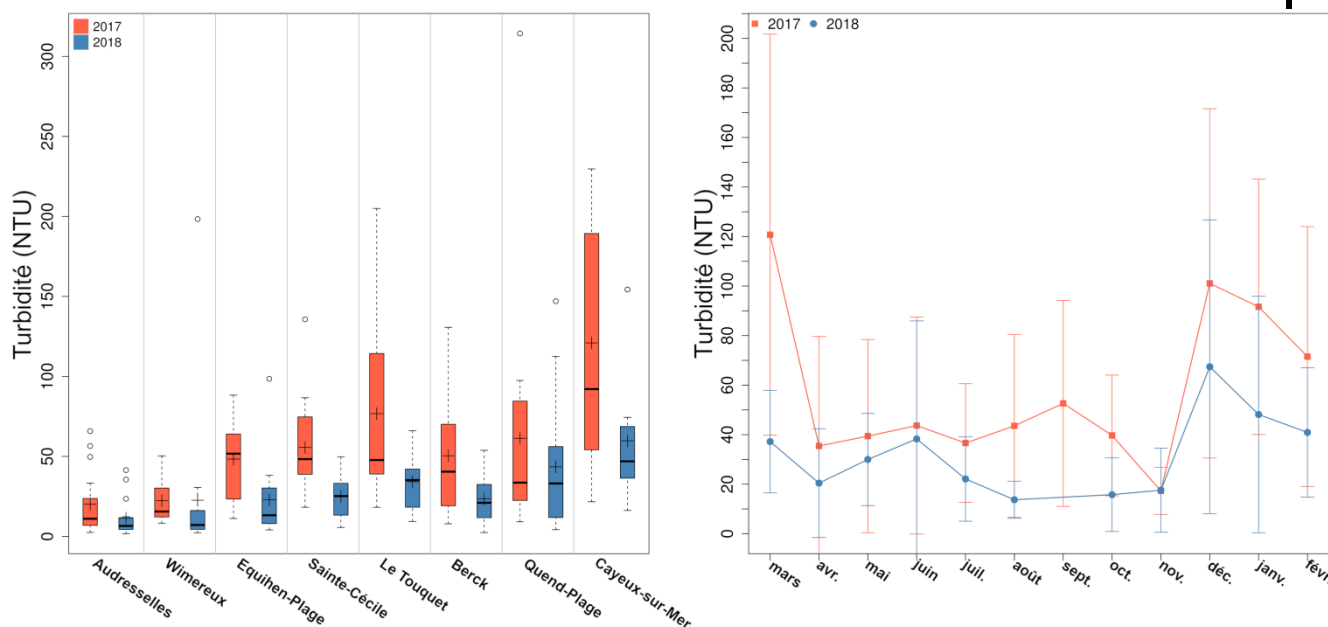


Figure 3 : Variations spatiales (à gauche) et temporelles (à droite) des paramètres environnementaux (température (°C), salinité, pH et turbidité (NTU)) au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). La boîte à moustache représente de haut en bas, la valeur maximale, le quartile 75%, la médiane, le quartile 25% et la valeur minimale. Les croix représentent la moyenne.

Malgré la faible variabilité spatiale des paramètres environnementaux (Figure 3), un regroupement des sites peut être fait. L'analyse en composante principale (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) permettent de regrouper les sites selon les différences saisonnières. Le premier groupe englobe les sites de Wimereux et d'Audresselles et est caractérisé par des températures et des salinités plus élevées que l'on retrouve en été et en automne. Le Touquet et Cayeux-sur-Mer constituent le second groupe avec des valeurs de turbidité élevées que l'on retrouve en l'hiver. Le troisième groupe englobe Équihen-Plage, Sainte-Cécile, Berck et Quend-Plage qui présentent les plus fortes valeurs de pH mesurées au printemps (Figure 4). L'ACP met également en évidence des différences saisonnières entre les deux années. En effet, en automne les salinités sont plus élevées en 2018 par rapport à 2017.

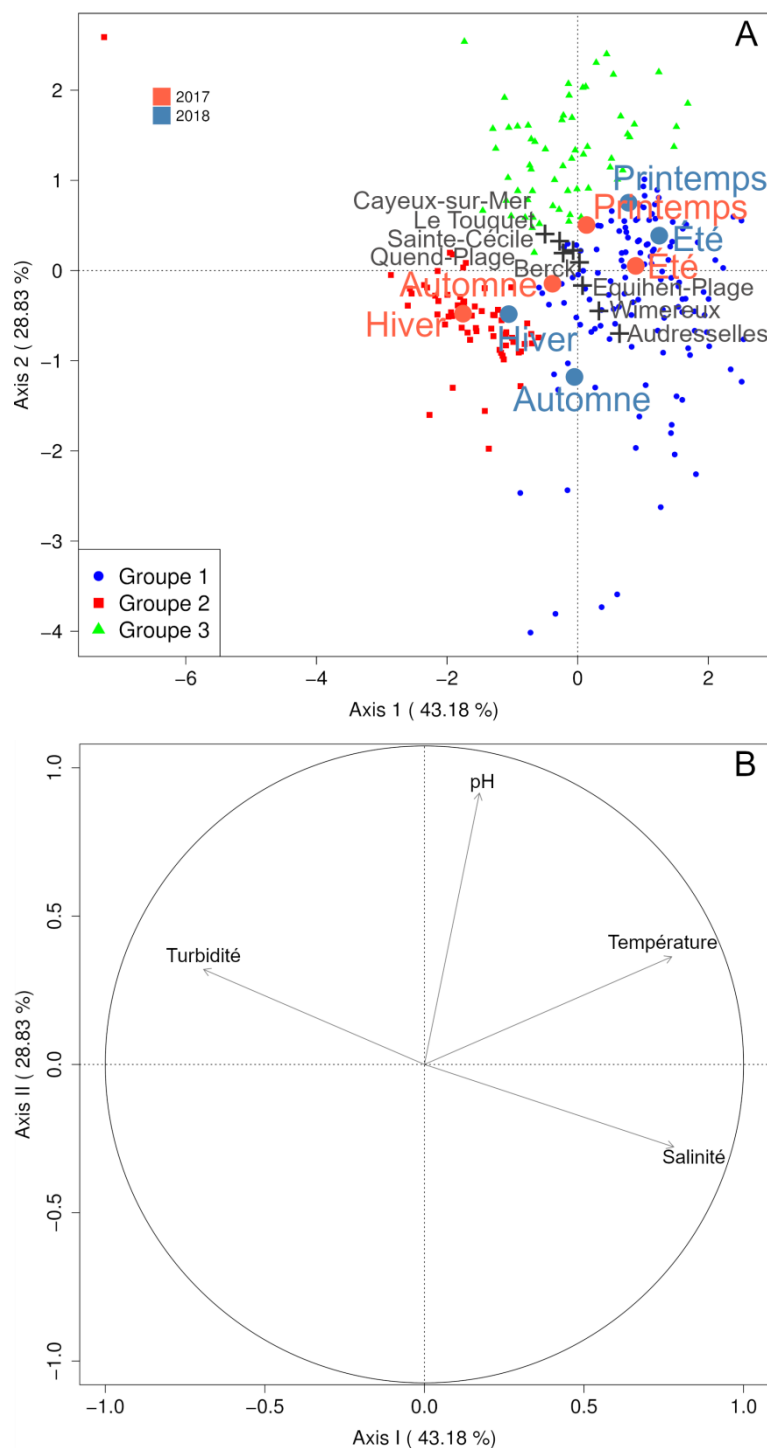


Figure 4 : ACP et CAH réalisées sur les paramètres environnementaux (température, salinité, pH et turbidité) au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). A) Nuage des observations (sites) dans le plan des deux premiers axes de l'ACP. Les trois groupes de sites déterminés par la CAH sont indiqués en haut à gauche. B) Cercle des corrélations des deux premiers axes de l'ACP.

3.2. Variations spatio-temporelles du macrobenthos

Les principaux groupes du macrobenthos recensés au niveau de la zone intertidale sont par ordre décroissant : les polychètes, les amphipodes, les isopodes et les bivalves. Les polychètes sont présents à tous les sites, mais avec de plus fortes biomasses au niveau d'Équihe-Plage ($5,41 \pm 5,59 \text{ g m}^{-2}$) et du Touquet ($1,71 \pm 0,53 \text{ g m}^{-2}$). Les amphipodes sont principalement abondants au niveau de Sainte-Cécile ($0,9 \pm 0,1 \text{ g m}^{-2}$) alors que les isopodes sont plus abondants au Touquet ($0,78 \pm 1,04 \text{ g m}^{-2}$) (Figure 5). Les bivalves sont principalement abondants à Wimereux ($0,95 \pm 2,12 \text{ g m}^{-2}$). Les sites d'Équihe-Plage ($5,64 \pm 1,80 \text{ g m}^{-2}$), du Touquet ($2,95 \pm 0,58 \text{ g m}^{-2}$) et de Wimereux ($2,61 \pm 0,48 \text{ g m}^{-2}$) présentent les plus fortes biomasses de macrobenthos comparé aux autres sites (Figure 5). Les 2 sites présentant des gords de galets, Audresselles et Cayeux-sur-Mer, présentent les plus faibles biomasses de macrobenthos ($0,41 \pm 0,09 \text{ g m}^{-2}$ et $0,28 \pm 0,04 \text{ g m}^{-2}$, respectivement). D'un point de vue saisonnier, la biomasse moyenne de macrobenthos, tous sites confondus, est plus importante en été ($4,33 \pm 0,91 \text{ g m}^{-2}$) comparé au printemps ($1,94 \pm 0,27 \text{ g m}^{-2}$), à l'automne ($2,12 \pm 0,63 \text{ g m}^{-2}$) et à l'hiver ($2,10 \pm 0,55 \text{ g m}^{-2}$) (Figure 5). Cependant, la composition du macrobenthos varie peu entre les saisons avec une dominance des polychètes, des amphipodes et des isopodes (Figure 5).

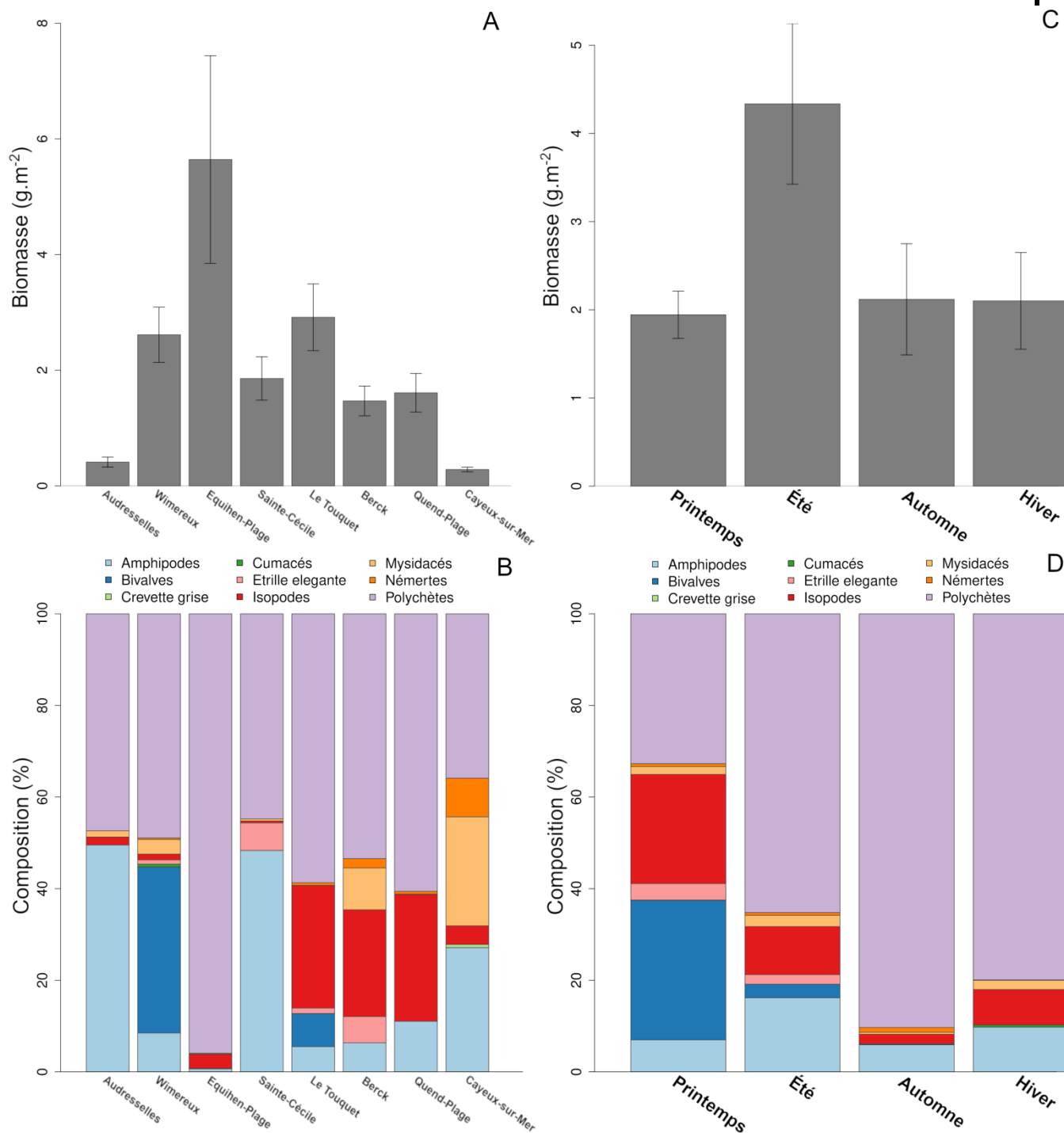


Figure 5 : Variations spatiales (A-B) et saisonnières (C-D) de la biomasse moyenne $\pm$ écart-type en macrobenthos (A-C ; g m⁻²) et de la composition (B-D ; en %) au niveau des 8 sites au cours de la première année d'études (de mars 2017 à février 2018).

3.3. Caractérisation des peuplements de poissons et de macrocrustacés

3.3.1. Composition des peuplements

Au cours de la période d'étude, 35 espèces ont été capturées au niveau des 8 sites échantillonnés : 21 espèces de poissons appartenant à 15 familles différentes et 14 espèces de macrocrustacés appartenant à 9 familles (Tableau 2). Parmi les espèces recensées sur la zone intertidale, 11 espèces de poissons (sprat, plie, lançon équille, mullet, bar, flet, sole commune, barbue, merlan, anchois, hareng) et 3 espèces de macrocrustacés (crevette grise, bouquet commun, étrille de sable) sont des espèces d'intérêt halieutique. Le nombre d'espèces capturé varie entre les années avec 20 poissons et 14 macrocrustacés en 2017 et 15 poissons et 13 macrocrustacés en 2018. Les principales espèces de poissons capturées en 2017 et 2018 sont par ordre décroissant, le sprat (104,68 et 158,79 ind.1000 m⁻²), la plie (6,48 ind.1000 m⁻²) en 2017, la sole commune (6,35 ind.1000 m⁻²) en 2018, le gobie tacheté (4,07 et 8,1 ind.1000 m⁻²) et le lançon équille (3,82 et 5,31 ind.1000 m⁻²) qui représentent plus de 90% des captures (Tableau 2). Il est à noter qu'en 2018, la sole représente la troisième espèce en terme d'abondance. Ces captures en 2018 de juvéniles de sole sur l'estran sont assez exceptionnelles puisque cette espèce ne fréquente que très rarement l'estran sableux.

Concernant les macrocrustacés, 2 espèces, la crevette grise et le crabe vert représentent plus de 95% des captures (Tableau 2).

Le sprat, la plie, le gobie tacheté, le lançon équille, le syngnathe aiguille, la petite vive et le turbot sont considérés comme des espèces communes de la zone (taux d'occurrences entre 25 et 50%). La crevette grise et le crabe vert sont les deux seules espèces considérées comme constantes de la zone (occurrences de 78,7 et 53 % ; respectivement) ; ce sont les espèces les plus abondantes capturées sur l'estran (257 ind.1000 m⁻² et 43 ind.1000 m⁻² ; respectivement) et sont présentes à tous les sites et pratiquement tout au long de l'année.

Enfin, les autres espèces de poissons échantillonnées sont occasionnelles (athérine, mullet, gobie buhotte, bar, sole commune, flet) ou rares (gobie transparent, barbue, merlan, anchois, blennie, motelle à cinq barbillons, épinoche, hareng) au niveau de l'estran.

Tableau 2 : Liste des espèces de poissons et de macrocrustacés capturées au chalut à perche au niveau de la zone intertidale de la zone d'étude au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). Les espèces sont classées par rangs selon leur densité (ind./1000 m²). Sont indiqués pour chaque espèce le taux de capture (%), l'occurrence (%) et la taille moyenne $\pm$ écart-type (LT, mm).

	Famille	Espèce	Nom commun	Rang		Densité (ind./1000m ²)		% total de capture		Occurrence (%)		Tailles (mm)	
				2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Poissons	Clupeidae	<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat	1	1	104,68	158,79	78,88	82,21	48,5	50,8	42,5 $\pm$ 11,6	42,4 $\pm$ 9,3
	Pleuronectidae	<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	2	6	6,48	4,09	4,89	2,12	30,9	36,7	28,6 $\pm$ 11,8	47,4 $\pm$ 18
	Gobiidae	<i>Pomatoschistus microps</i>	Gobie tacheté	3	2	4,07	8,1	3,07	4,19	45,6	42,5	38,9 $\pm$ 13,7	31,4 $\pm$ 10,3
	Ammodytidae	<i>Ammodytes tobianus</i>	Lançon équille	4	4	3,82	5,31	2,88	2,75	44,1	46,7	59 $\pm$ 19,8	64,8 $\pm$ 16,2
	Syngnathidae	<i>Syngnathus acus</i>	Syngnathe aiguille	5	5	3,20	4,38	2,41	2,27	36,8	24,2	79,4 $\pm$ 26,9	82,4 $\pm$ 19,8
	Trachinidae	<i>Echiichthys vipera</i>	Petite vive	6	12	2,34	0,3	1,77	0,15	29,4	9,2	81,9 $\pm$ 26,8	84,9 $\pm$ 30,5
	Atherinidae	<i>Atherina presbyter</i>	Athérine	7	11	1,85	0,54	1,40	0,28	19,1	15	75,9 $\pm$ 5,4	80,1 $\pm$ 11,9
	Mugilidae	<i>Mugilidae</i> sp.	Mulet	8	7	1,54	2,25	1,16	1,16	15,4	20,8	37,8 $\pm$ 11	39,8 $\pm$ 7,1
	Scophthalmidae	<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	9	10	1,44	0,62	1,08	0,32	26,5	25	72,6 $\pm$ 16,5	50,3 $\pm$ 18,9
	Gobiidae	<i>Pomatoschistus minutus</i>	Gobie buhotte	10	9	1,31	0,77	0,98	0,4	18,4	15,8	51,9 $\pm$ 10,2	63,4 $\pm$ 8,9
	Moronidae	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar	11	8	0,83	1,51	0,62	0,78	33,1	18,3	89,7 $\pm$ 17,1	68,6 $\pm$ 18,7
	Pleuronectidae	<i>Platichthys flesus</i>	Flet	12	13	0,37	0,09	0,28	0,05	19,1	6,7	92,7 $\pm$ 21,1	75,9 $\pm$ 17,5
	Gobiidae	<i>Aphia minuta</i>	Gobie transparent	13	-	0,36	-	0,27	-	1,5	-	43,8 $\pm$ 3,6	-
	Soleidae	<i>Solea solea</i>	Sole commune	14	3	0,16	6,35	0,12	3,29	5,9	10,8	34 $\pm$ 11,8	32,2 $\pm$ 8,1
	Scophthalmidae	<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue	15	-	0,11	-	0,09	-	6,6	-	96,9 $\pm$ 33	-
	Gadidae	<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan	16	-	0,07	-	0,05	-	3,7	-	83,7 $\pm$ 18,3	-
	Engraulidae	<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchois	17	-	0,05	-	0,04	-	2,2	-	61,1 $\pm$ 11,1	-
	Blenniidae	<i>Lipophrys pholis</i>	Blennie	18	-	0,02	-	0,01	-	0,7	-	75,9	-
	Gasterosteidae	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Epinoche	19	15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,7	0,8	50,7	31,5 $\pm$ 0
	Clupeidae	<i>Clupea harengus</i>	Hareng	20	-	0,01	-	0,01	-	0,7	-	235	-
	Gadidae	<i>Ciliata mustela</i>	Motelle à cinq barbillons	-	14	-	0,06	-	0,03	-	2,5	-	96,2 $\pm$ 11,1
	Total					132,72	193,17	100	100				
Macrocrustacés	Crangonidae	<i>Crangon crangon</i>	Crevette grise	1	1	270,83	242,35	87,33	78,24	81,6	75,8	-	-
	Portinidae	<i>Carcinus maenas</i>	Crabe vert	2	2	22,16	63,49	7,14	20,5	55,1	50,8	-	-
	Paguridae	<i>Pagurus bernhardus</i>	Bernard l'hermite	3	4	8,92	1,41	2,88	0,46	11,0	5	-	-
	Carcinidae	<i>Portunus latipes</i>	Etrille élégante	4	3	5,92	1,66	1,91	0,54	47,1	27,5	-	-
	Porcellanidae	<i>Pisidia longicornis</i>	Crabe porcelaine	5	7	0,78	0,09	0,25	0,03	5,9	1,7	-	-
	Portinidae	<i>Liocarcinus holsatus</i>	Crabe nageur	6	10	0,47	0,03	0,15	0,01	9,6	2,5	-	-
	Crangonidae	<i>Philocheirus trispinosus</i>	Crevette épine	7	6	0,38	0,16	0,12	0,05	11,0	1,7	-	-
	Palamonidae	<i>Palaemon serratus</i>	Bouquet commun	8	5	0,20	0,41	0,06	0,13	5,9	8,3	-	-
	Palamonidae	<i>Palaemon longirostris</i>	Crevette blanche	9	8	0,14	0,07	0,04	0,02	3,7	3,3	-	-
	Portinidae	<i>Liocarcinus navigator</i>	Etrille arquée	10	-	0,14	-	0,04	-	2,9	-	-	-
	Polybiidae	<i>Necora puber</i>	Etrille de sable	11	11	0,12	0,01	0,04	-	1,5	0,8	-	-
	Galatheididae	<i>Galathea intermedia</i>	Galathée intermédiaire	12	13	0,03	0,01	0,01	-	2,2	0,8	-	-
	Varunidae	<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	Crabe japonais	13	9	0,02	0,03	0,01	0,01	0,7	0,8	-	-
	Carcinidae	<i>Liocarcinus vernalis</i>	Etrille lisse	14	12	0,02	0,01	0,01	-	2,2	0,8	-	-
	Total					310,13	309,73	100	100				



Figure 6 : Exemple de capture réalisée sur l'estran avec le petit chalut à perche.

En terme d'occurrence (de présence au cours de l'année), le site d'Audresselles se distingue principalement par la présence du turbot (occurrence de 33 - 41,2%) et le site de Cayeux-sur-Mer par la présence du turbot et de la petite-vive (occurrence de 46,7 et 58,8% respectivement) (Tableau 3). Au niveau des autres sites, le sprat, le syngnathe aiguille, la plie et les gobies présentent de fortes occurrences. Pour les macrocrustacés, la crevette grise présente à tous les sites, à une occurrence $> 59\%$ et atteint même des valeurs de 100% au Touquet.

Tableau 3 : L'occurrence (%) de poissons et de macrocrustacés capturés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). 1) Audresselles, 2) Wimereux, 3) Equihen-Plage, 4) Sainte-Cécile, 5) Le Touquet, 6) Berck, 7) Quend-Plage et 8) Cayeux-sur-Mer.

	Nom commun	1		2		3		4		5		6		7		8	
		2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Poissons	Sprat	35,3	13,3	41,2	40	58,8	33,3	52,9	80	64,7	73,3	41,2	40	47,1	60	47,1	66,7
	Gobie tacheté	17,6	33,3	35,3	26,7	47,1	40	35,3	60	70,6	60	35,3	46,7	58,8	33,3	64,7	40
	Lançon équille	47,1	40	64,7	60	41,2	26,7	70,6	73,3	23,5	46,7	41,2	73,3	17,6	33,3	47,1	20
	Syngnathe aiguille	23,5	-	5,9	20	47,1	26,7	58,8	46,7	58,8	33,3	29,4	13,3	29,4	26,7	41,2	26,7
	Bar	11,8	-	41,2	46,7	29,4	6,7	29,4	13,3	47,1	20	35,3	33,3	35,3	13,3	35,3	13,3
	Plie	23,5	33,3	35,3	53,3	23,5	33,3	29,4	33,3	29,4	40	23,5	13,3	29,4	33,3	52,9	53,3
	Petite vive	11,8	13,3	17,6	6,7	23,5	-	47,1	-	35,3	20	17,6	-	23,5	6,7	58,8	26,7
	Turbot	41,2	33,3	29,4	33,3	11,8	33,3	17,6	13,3	11,8	13,3	29,4	13,3	35,3	13,3	35,3	46,7
	Athérine	17,6	6,7	23,5	13,3	23,5	13,3	23,5	26,7	23,5	6,7	17,6	13,3	11,8	13,3	11,8	26,7
	Flet	17,6	6,7	-	20	17,6	13,3	23,5	-	35,3	-	11,8	-	35,3	-	11,8	13,3
	Gobie buhotte	5,9	6,7	17,6	20	5,9	20	5,9	26,7	47,1	20	11,8	6,7	23,5	6,7	29,4	20
	Mulet	5,9	13,3	11,8	6,7	23,5	13,3	11,8	33,3	17,6	20	5,9	33,3	17,6	33,3	29,4	13,3
	Barbue	5,9	-	-	-	-	-	5,9	-	17,6	-	5,9	-	-	-	17,6	-
	Sole commune	-	6,7	-	6,7	-	-	5,9	20	17,6	20	-	-	5,9	6,7	17,6	26,7
	Merlan	-	-	-	-	11,8	-	-	-	5,9	-	-	-	-	-	11,8	-
	Anchois	-	-	-	-	-	-	-	-	11,8	-	-	-	5,9	-	-	-
	Gobie transparent	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,8	-
	Blennie	-	-	-	-	-	-	-	-	5,9	-	-	-	-	-	-	-
	Epinoche	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,7
	Hareng	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,9	-
	Motelle à cinq barbillons	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
Macrocrustacés	Crevette grise	58,8	66,7	88,2	86,7	82,4	73,3	88,2	93,3	100	80	58,8	66,7	82,4	60	94,1	80
	Crabe vert	41,2	13,3	41,2	46,7	52,9	40	52,9	60	70,6	66,7	52,9	53,3	70,6	66,7	58,8	60
	Etrille élégante	11,8	-	23,5	2-	64,7	13,3	70,6	40	58,8	60	52,9	20	41,2	26,7	52,9	40
	Bernard l'hermite	-	-	23,5	13,3	5,9	-	17,6	13,3	23,5	6,7	11,8	6,7	-	-	5,9	-
	Crevette épine	11,8	-	11,8	-	5,9	-	5,9	6,7	11,8	6,7	17,6	-	-	-	23,5	-
	Crabe nageur	5,9	6,7	5,9	-	-	-	23,5	6,7	17,6	-	11,8	-	-	-	11,8	6,7
	Bouquet commun	-	-	-	6,7	11,8	-	5,9	-	5,9	-	-	-	5,9	-	17,6	6,7
	Crabe porcelaine	-	6,7	5,9	6,7	5,9	-	5,9	13,3	11,8	20	5,9	-	5,9	-	5,9	20
	Crevette blanche	-	-	11,8	-	-	6,7	-	6,7	-	-	5,9	-	-	-	11,8	13,3
	Etrille arquée	-	-	5,9	-	-	-	-	-	-	-	5,9	-	5,9	-	5,9	-
	Etrille lisse	-	-	-	-	-	-	5,9	-	11,8	-	-	-	-	-	-	6,7
	Galathée intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-	-	11,8	-	5,9	-	-	6,7	-	-
	Etrille de sable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,7	5,9	-	5,9	-	-	-
	Crabe japonais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,9	6,7	-	-

3.3.2. Diversité des peuplements

Au niveau richesse spécifique (nombre d'espèces), les sites du Touquet et de Cayeux-sur-Mer en 2017 et de Wimereux et de Cayeux-sur-Mer en 2018 présentent la plus grande richesse spécifique pour les poissons (13-17 espèces) et pour les macrocrustacés (8-10 espèces) (Figure 7).

D'un point de vue temporel, la richesse spécifique pour les poissons est maximale entre mars et juin (10-15 espèces) et relativement constante le reste de l'année (environ 8 espèces). Pour

les macrocrustacés, la richesse spécifique diminue progressivement entre le mois de mars (11 espèces) et le mois de février (1 espèce).

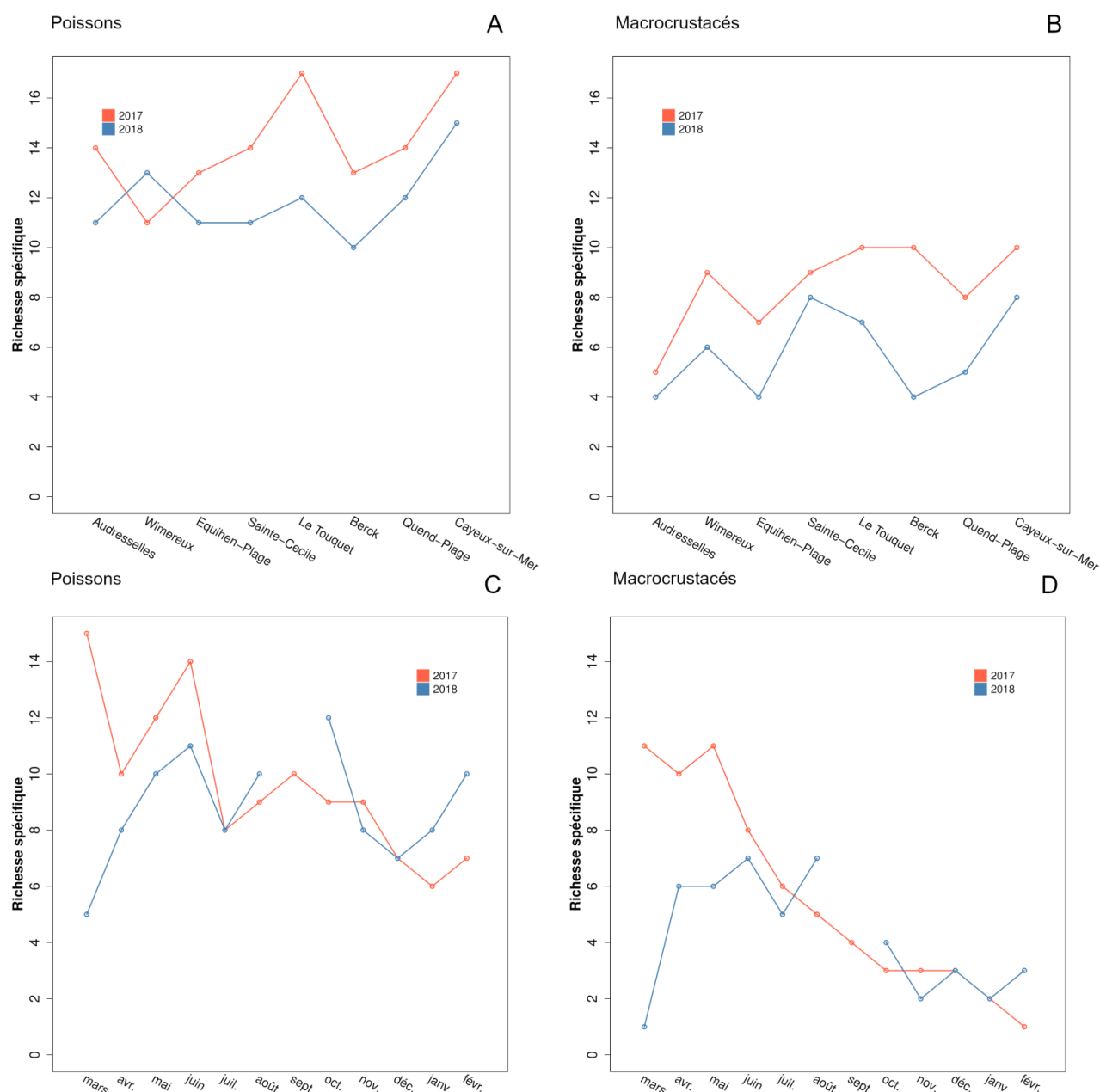


Figure 7 : Variations spatiotemporelles de la richesse spécifique (nombre d'espèces), A-C) des poissons et B-D) des macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).

L'indice de diversité de Shannon et de Piélou est maximum en été, en automne et en hiver pour les poissons et au printemps et en été pour les macrocrustacés. Ces indices sont minimums au printemps et en début d'été pour les poissons et en automne et en hiver pour les macrocrustacés lorsque le peuplement est dominé par quelques espèces (Figure 8). D'un point

de vue spatial, l'indice de diversité de Shannon et de Piélou est maximum au niveau des sites d'Audresselles, de Wimereux, de Sainte-Cécile, de Berck et de Quend-Plage pour les poissons et de Sainte-Cécile, de Berck et de Quend-Plage pour les macrocrustacés indiquant un peuplement plus diversifié avec une meilleure répartition des individus au sein de ces espèces (équitabilité spécifique) comparé aux autres sites (Figure 8).

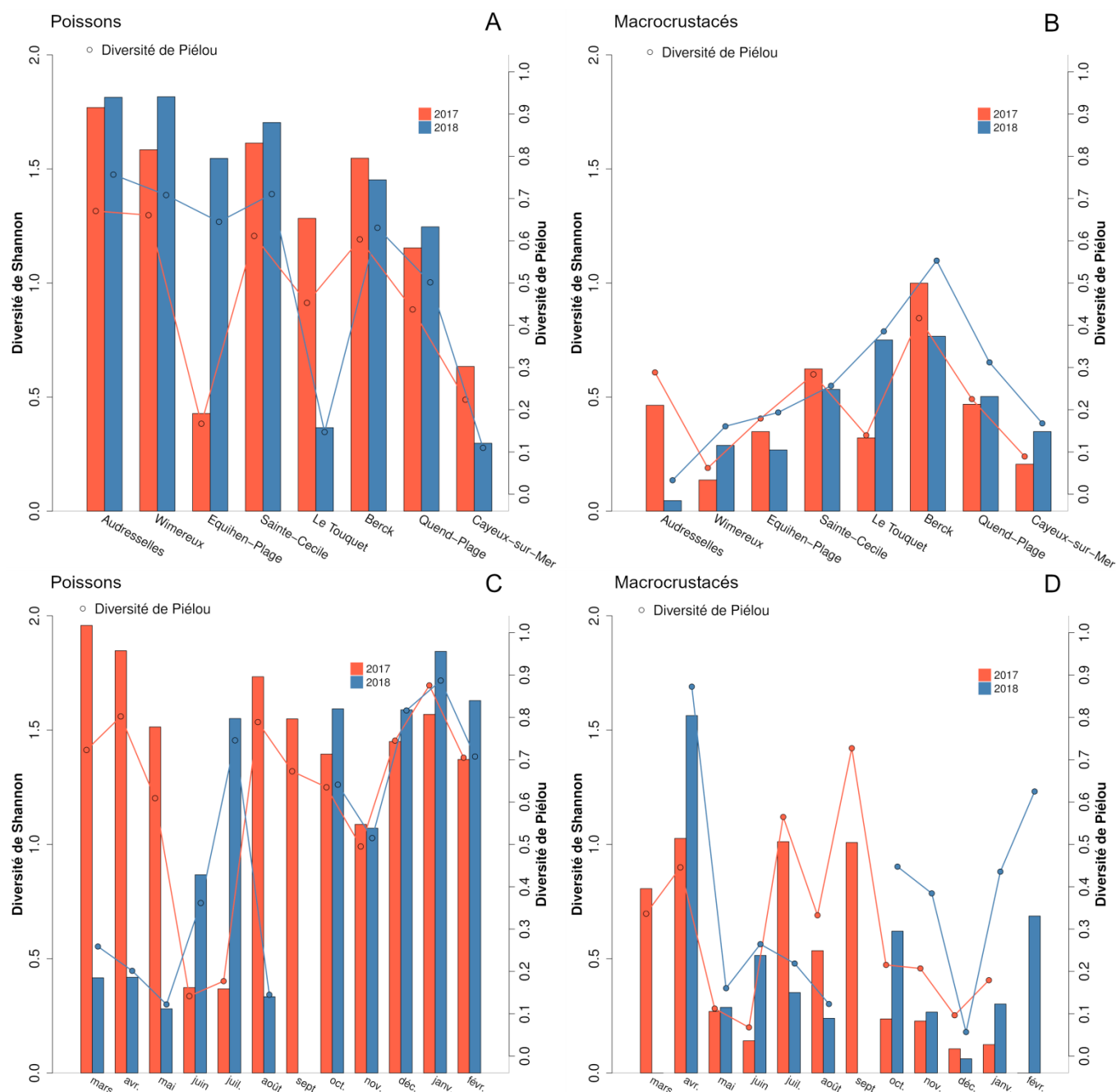


Figure 8 : Variations spatiotemporelles de l'indice de diversité de Shannon–Wiener (H') et de l'indice de régularité de Piélou (J), A-C) de poissons et B-D) de macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).

3.3.3. Variations spatio-temporelles des abondances

La répartition spatiale des espèces montre que pour les poissons les densités moyennes sont plus importantes au niveau d'Équihe-Plage (332 ind.1000 m⁻²) et de Cayeux-sur-Mer (378 ind.1000 m⁻²) en 2017 et du Touquet (937 ind.1000 m⁻²) et de Cayeux-sur-Mer (294 ind.1000 m⁻²) en 2018, avec la dominance du sprat (Figure 9). Les sites d'Audresselles, de Wimereux, de Berck et de Quend-Plage présentent des densités de poissons 10 fois moins importantes (environ 30 ind.1000 m⁻²). Pour les macrocrustacés, les densités moyennes sont plus importantes au niveau de Sainte-Cécile (551-1157 ind.1000 m⁻²), du Touquet (812-561 ind.1000 m⁻²) et de Cayeux-sur-Mer (423 ind.1000 m⁻²) avec la dominance, à tous les sites, de la crevette grise (Figure 9). Les sites d'Audresselles, de Wimereux, de Berck et de Quend-Plage présentent des densités de macrocrustacés 5 à 10 fois moins importantes.

Au niveau temporel, les densités de poissons sont maximales en juin et juillet pour 2017 (378 et 439 ind.1000 m⁻² respectivement) et en mai et août pour 2018 (399 et 593 ind.1000 m⁻², respectivement) avec une dominance du sprat (Figure 10). Les densités de macrocrustacés sont maximales en mai et juin pour 2017 (736 et 1019 ind.1000 m⁻², respectivement) et en juin et juillet pour 2018 (1312 et 709 ind.1000 m⁻², respectivement) avec la dominance de la crevette grise. Les densités de macrocrustacés sont très faibles entre juillet-août et février (moins de 20 ind.1000 m⁻²).

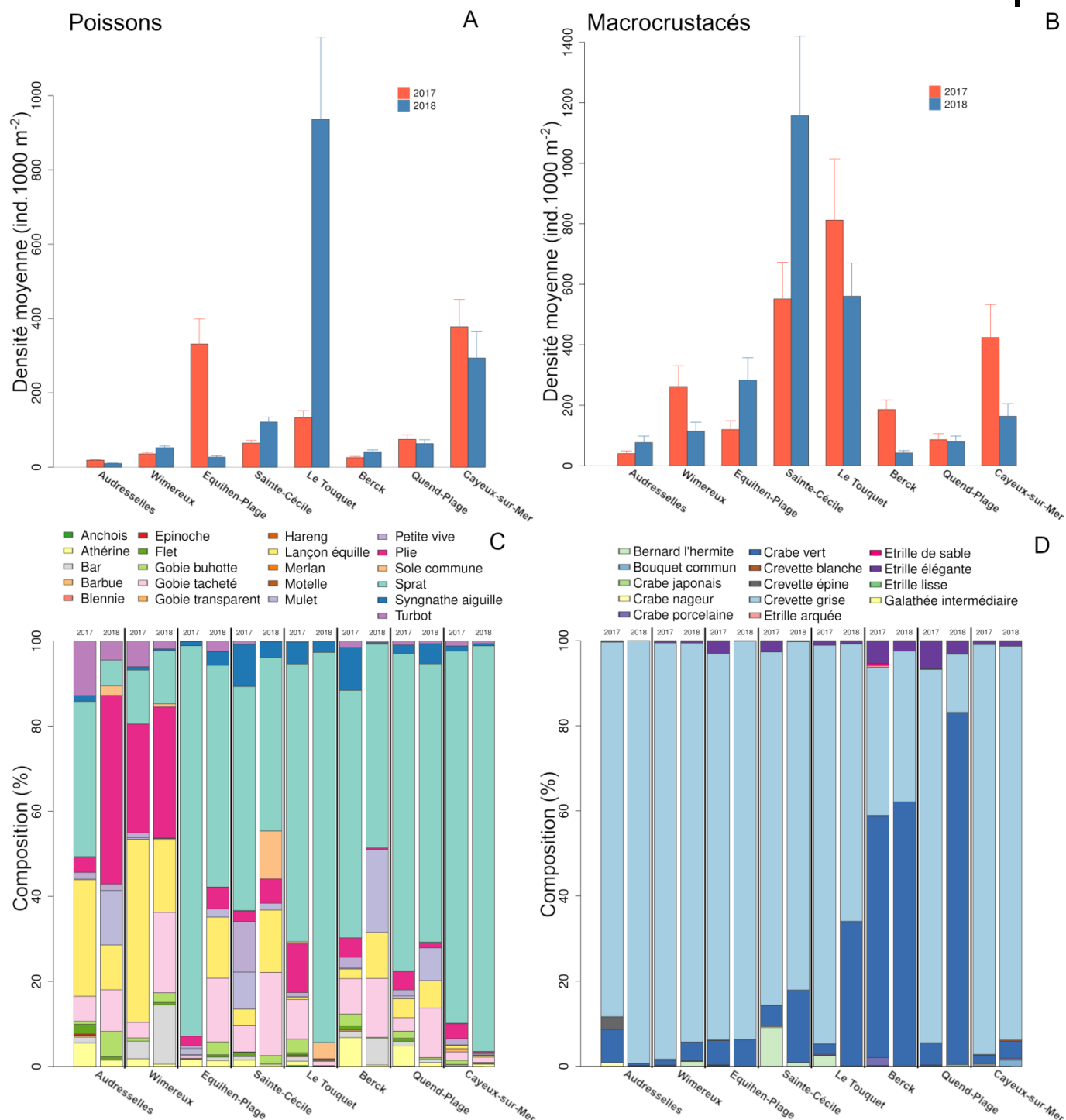


Figure 9 : Variations spatiales de la densité moyenne $\pm$ écart-type type (A-B ; ind.1000 m⁻²) et de la composition spécifique (C-D ; %) de poissons et de macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).

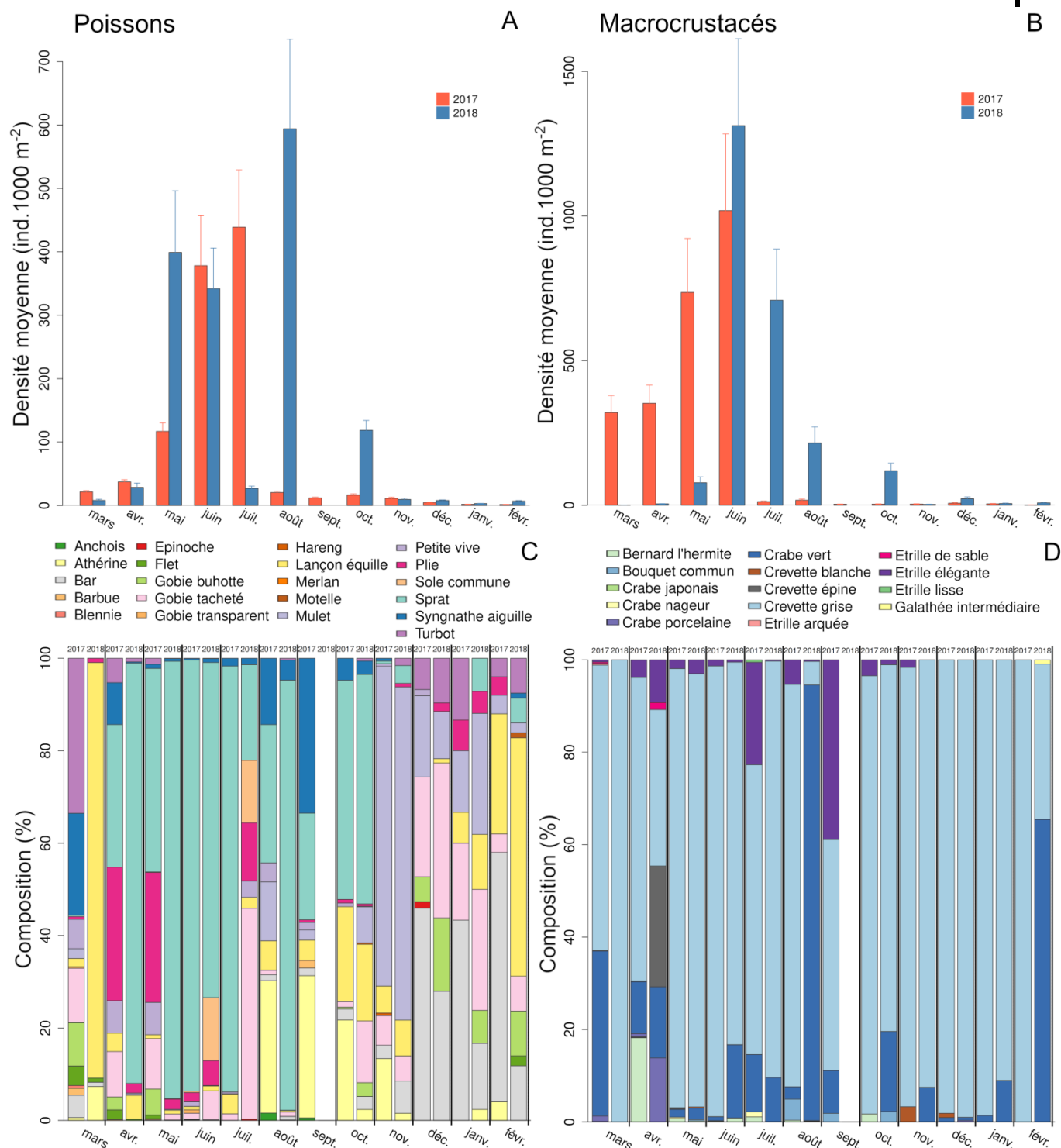


Figure 10 : Variations temporelles de la densité moyenne $\pm$ écart-type (A-B ; ind.1000 m⁻²) et de la composition spécifique (C-D ; %) de poissons et de macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).

L'évolution saisonnière des poissons et des macrocrustacés montre des variations de densités et de composition des peuplements.

Au printemps, le sprat et la plie représentent 88% des captures des poissons suivis de la sole commune en 2018 (6,1% des captures); la crevette grise représente 87% des captures de macrocrustacés suivis du crabe vert (9% des captures) (Figure 11). La densité moyenne de poissons au printemps est de 436 - 746 ind.1000 m⁻² et celles des macrocrustacés 189 - 241 ind.1000 m⁻² respectivement, en 2017 et 2018.

En été, le sprat est toujours l'espèce de poisson dominante et représente 88% des captures de poissons. Les autres espèces de poissons les plus abondantes sont le lançon équille et le syngnathe aiguille. Pour les macrocrustacés, la crevette grise est toujours l'espèce dominante avec 72% des captures suivies par le crabe vert (29,3% des captures) (Figure 11). La densité moyenne de poissons en été est de 250-582 ind.1000 m⁻² et celles de macrocrustacés 17,4-866,2 ind.1000 m⁻².

En automne, le peuplement de poissons est plus équilibré avec 3 espèces dominantes dans le peuplement : le sprat (34% des captures), le mullet (26,5%) et le lançon équille (14%). Pour les macrocrustacés, la crevette grise est toujours l'espèce dominante avec 89% des captures (Figure 11). La densité moyenne des poissons en automne est de 23,1-63,9 ind.1000 m⁻² et celles des macrocrustacés 10,5-67.7 ind.1000 m⁻² respectivement en 2017 et 2018.

En hiver, le peuplement de poissons est constitué de 7 espèces et de 3 espèces de macrocrustacés (Figure 11). Le turbot en 2017 et le lançon équille en 2018 avec 30,1% et 61,9% du total des captures, respectivement, sont les espèces dominantes des poissons. La densité moyenne de poissons et de macrocrustacés en hiver est faible notamment en 2017.

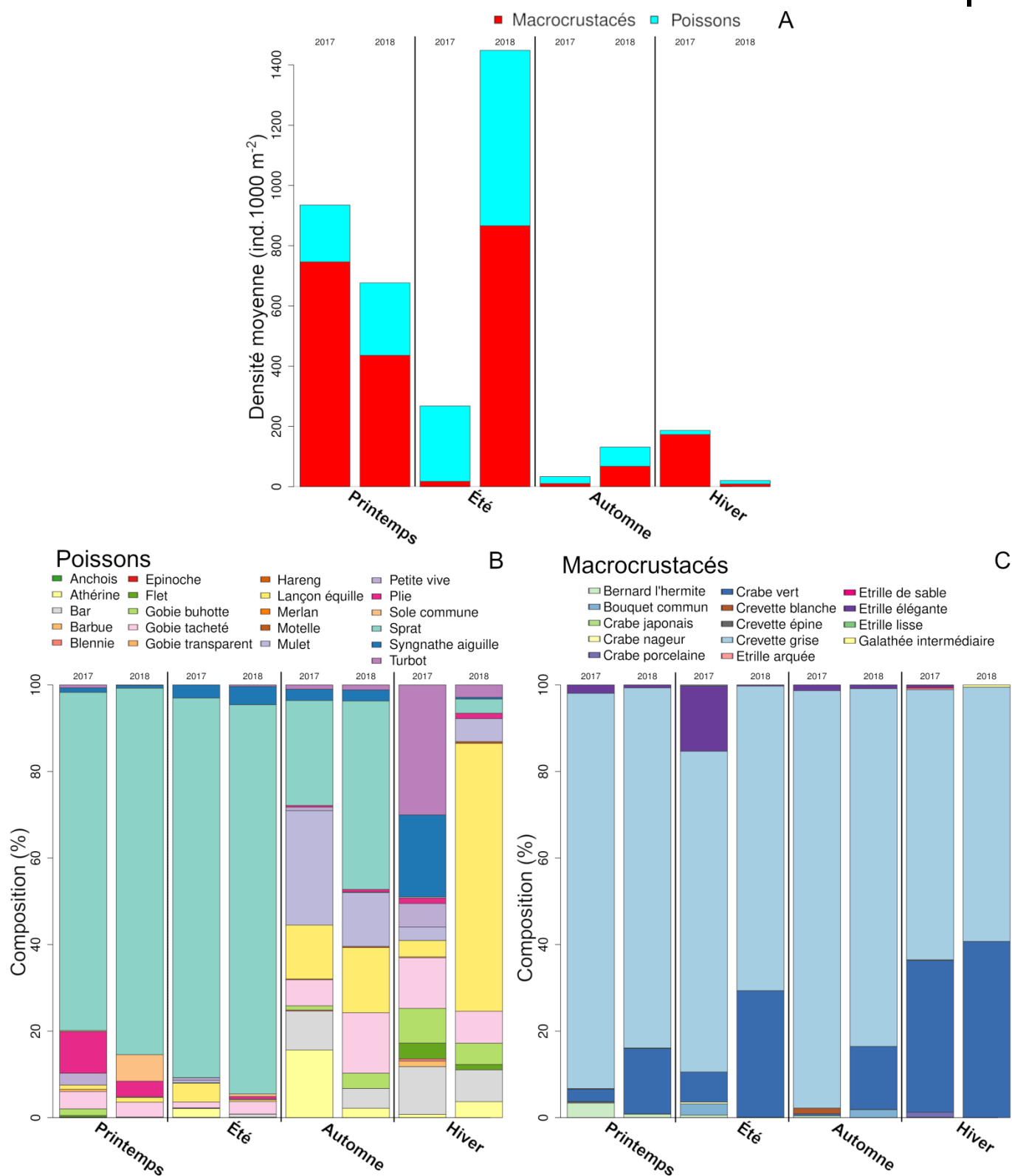
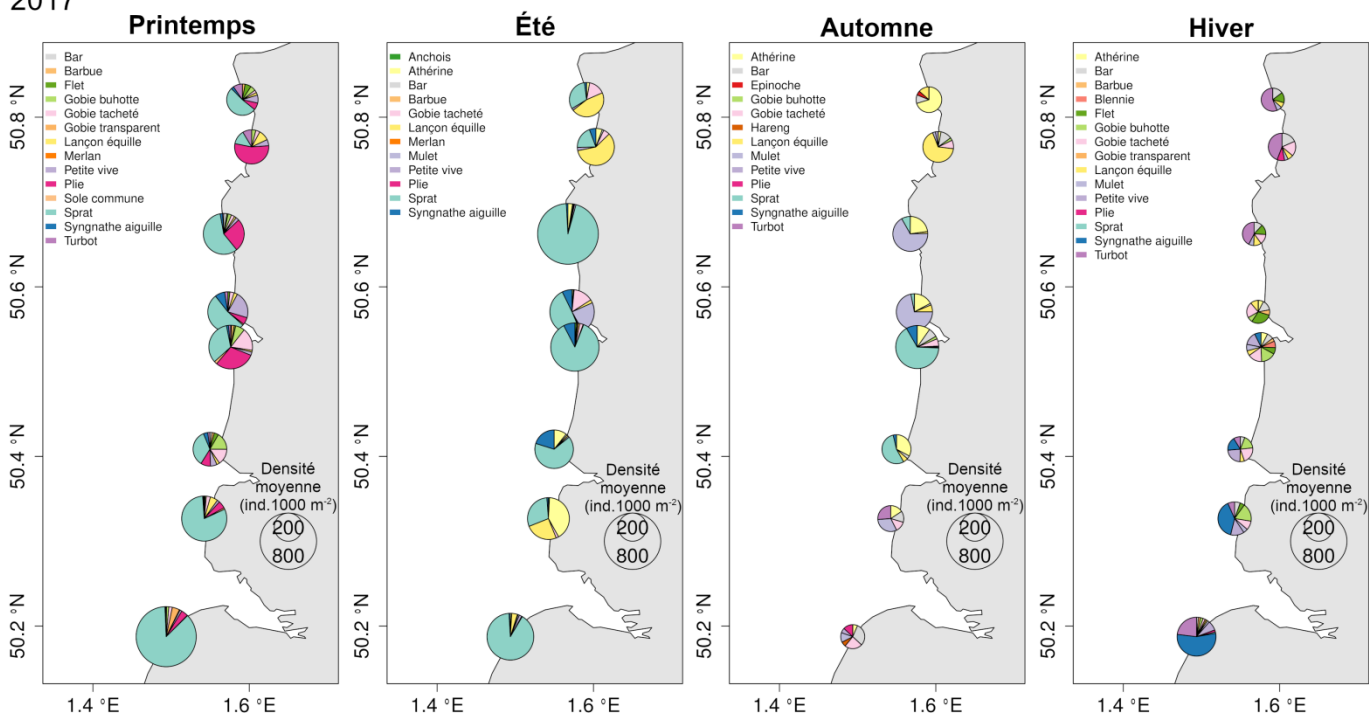


Figure 11 : Variations saisonnières de la densité moyenne (A ; ind.1000 m⁻²) et de la composition spécifique (B-C ; %) de poissons et de macrocrustacés au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).

L'évolution spatiale de la composition en espèces montre que pour les poissons et les macrocrustacés, le sprat, la plie et la crevette grise sont les espèces dominantes pour l'ensemble des sites et des années et à chaque saison (Figures 12 et 13). D'autres espèces peuvent dominer ponctuellement à certains sites, c'est le cas du lançon équille et du turbot en hiver pour les poissons et de l'étrille élégante et du crabe vert en été pour les macrocrustacés. Les différents sites montrent une composition du peuplement à chaque saison semblable entre les deux années sauf en hiver pour les poissons qui est dominé par le turbot en 2017 et par le lançon équille en 2018.

L'évolution spatiale des peuplements de poissons et de macrocrustacés par saison est dominée par quelques espèces que l'on retrouve chaque année sauf en hiver pour les poissons. L'évolution saisonnière montre de plus fortes densités de poissons et de macrocrustacés au printemps et en été. La composition en espèces montre une succession de dominances d'espèces selon les saisons. Cette succession saisonnière semble identique entre les sites et les années sauf en hiver.

Poissons 2017



2018

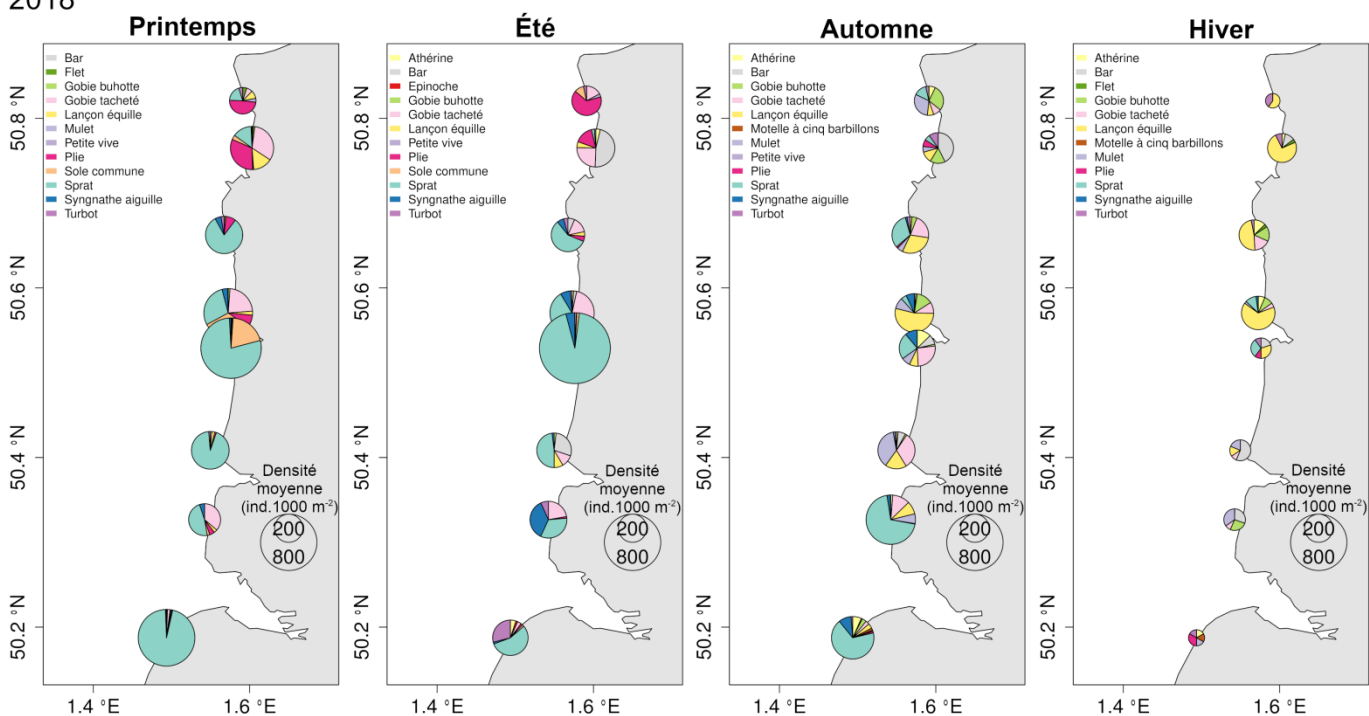
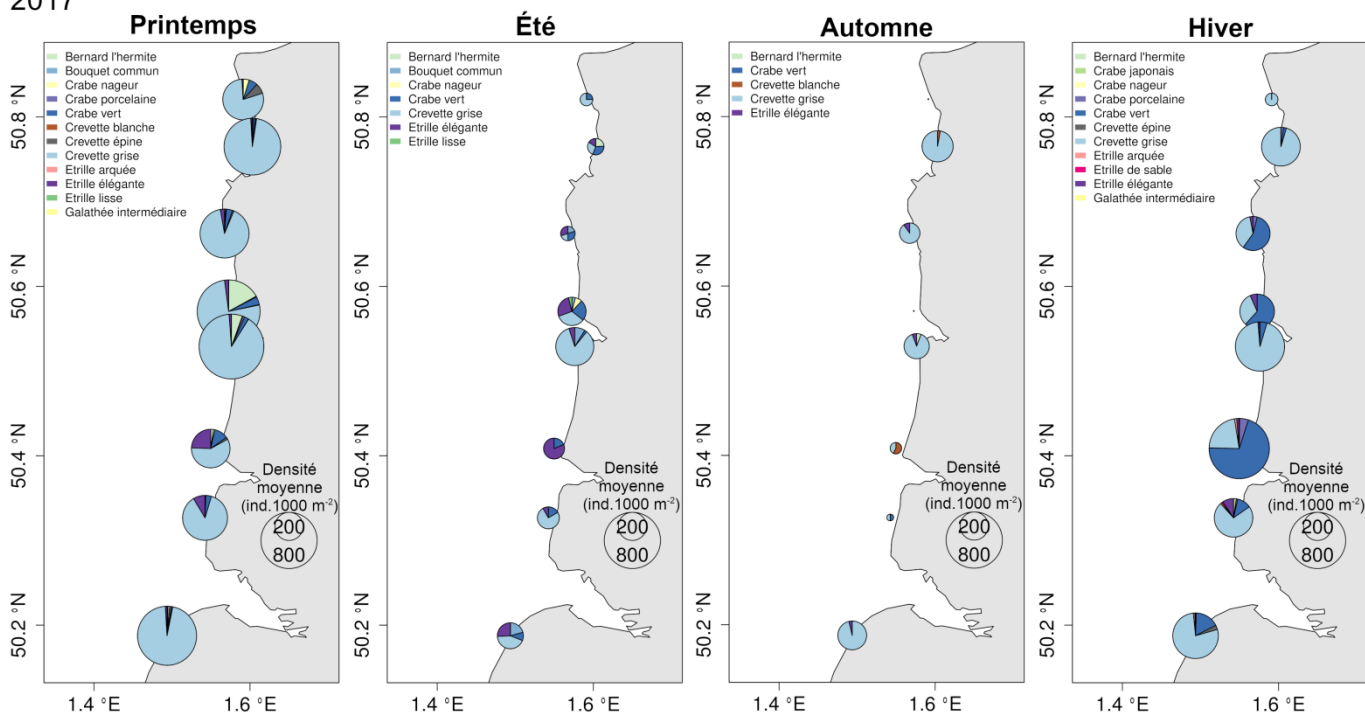


Figure 12 : Variations spatiales de la densité moyenne (ind.1000 m⁻²) et de la composition spécifique du peuplement de poissons en fonction des saisons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). La taille des cercles est proportionnelle à la densité moyenne des poissons.

Macrocrustacés 2017



2018

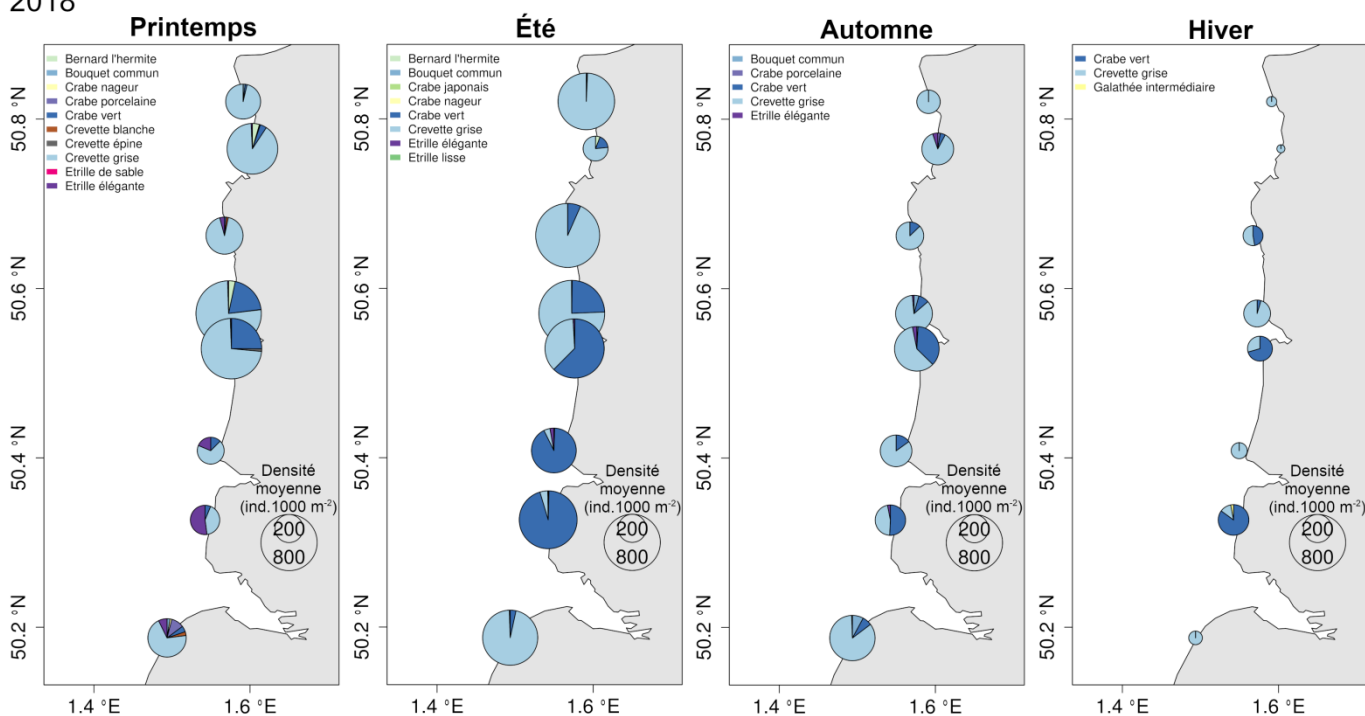
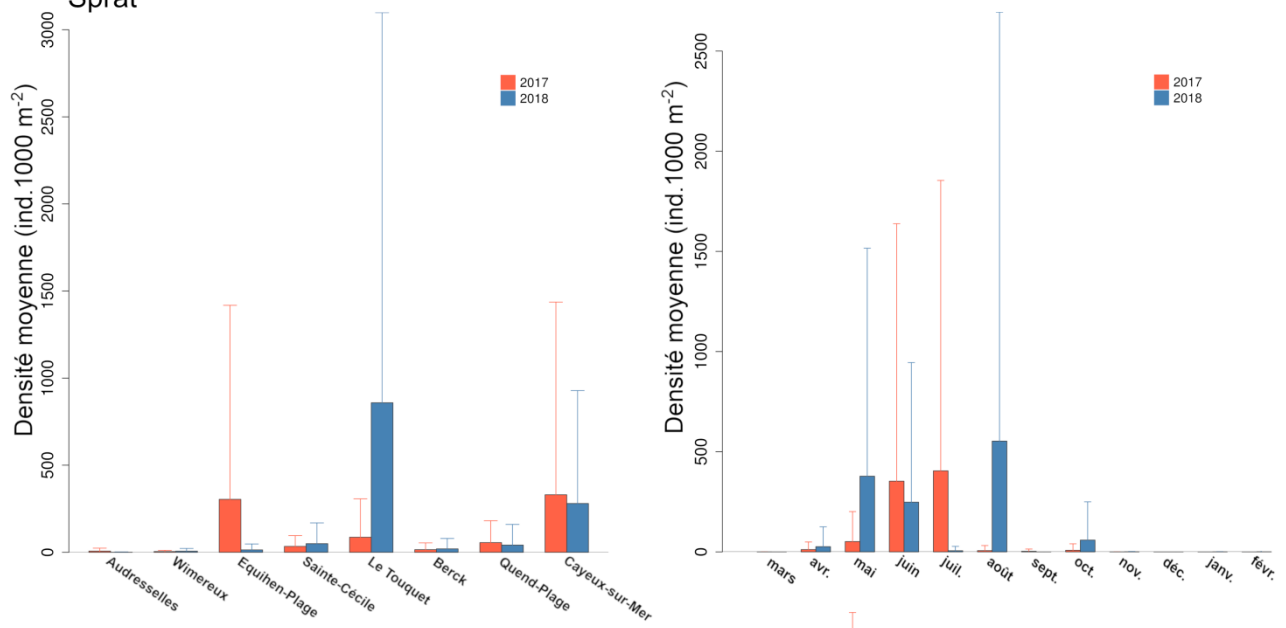


Figure 13 : Variations spatiales de la densité moyenne (ind.1000 m⁻²) et de la composition spécifique du peuplement de macrocrustacés en fonction des saisons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). La taille des cercles est proportionnelle à la densité moyenne des macrocrustacés.

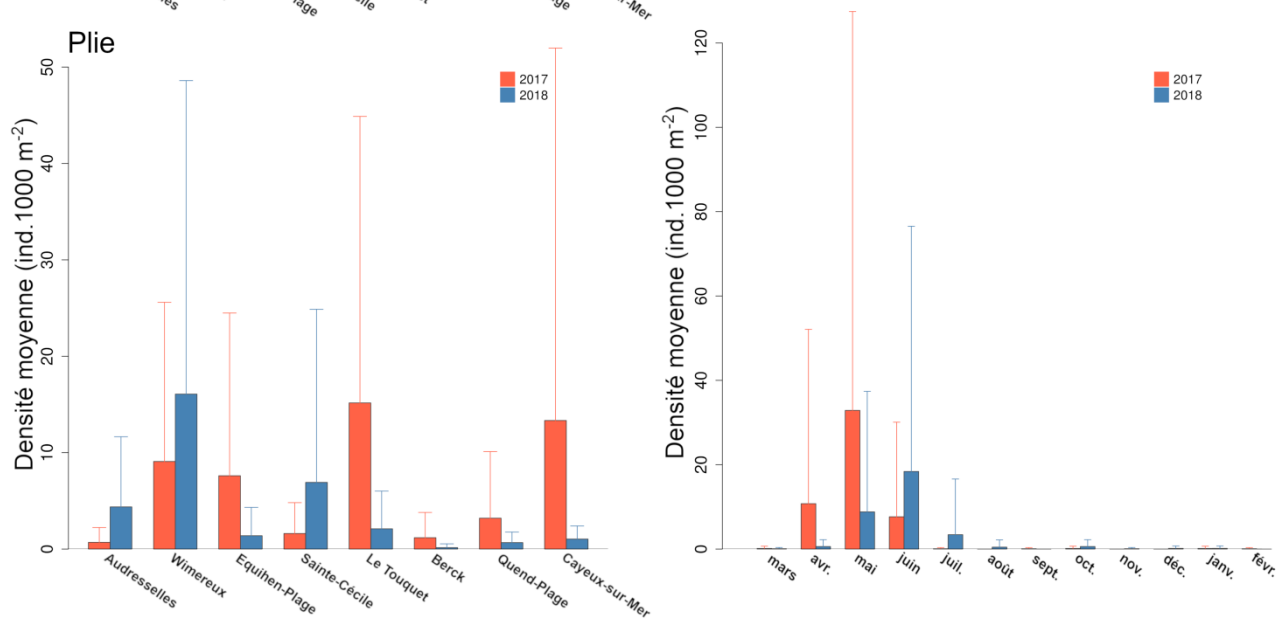
L'analyse factorielle des correspondances (AFC), permet d'identifier les assemblages du peuplement par sites, par saison et par année (Figure 14). Les espèces printanières (sprat, plie,

espèce colonise l'estran entre les mois de mars et de juin en 2017 et d'avril et juillet en 2018. Elle est absente de l'estran le reste de l'année. La sole commune est principalement présente en forte densité à Sainte-Cécile et au Touquet entre juin et juillet 2018. Le turbot est présent surtout à Audresselles, à Wimereux et à Cayeux-sur-Mer entre mars et mai en 2017 et en août pour 2018 où il atteint les plus fortes densités. Le bar est présent à tous les sites. Il est principalement abondant à partir du mois d'août avec un maximum en décembre 2017 et août 2018, principalement à Wimereux (Figure 15). La crevette grise est présente à tous les sites, mais en plus forte abondance au niveau de Sainte Cécile, du Touquet et de Cayeux-sur-Mer. Cette espèce se retrouve principalement entre mars et juin en 2017 et avril et juillet en 2018 pour atteindre les plus fortes densités en juin (Figure 15).

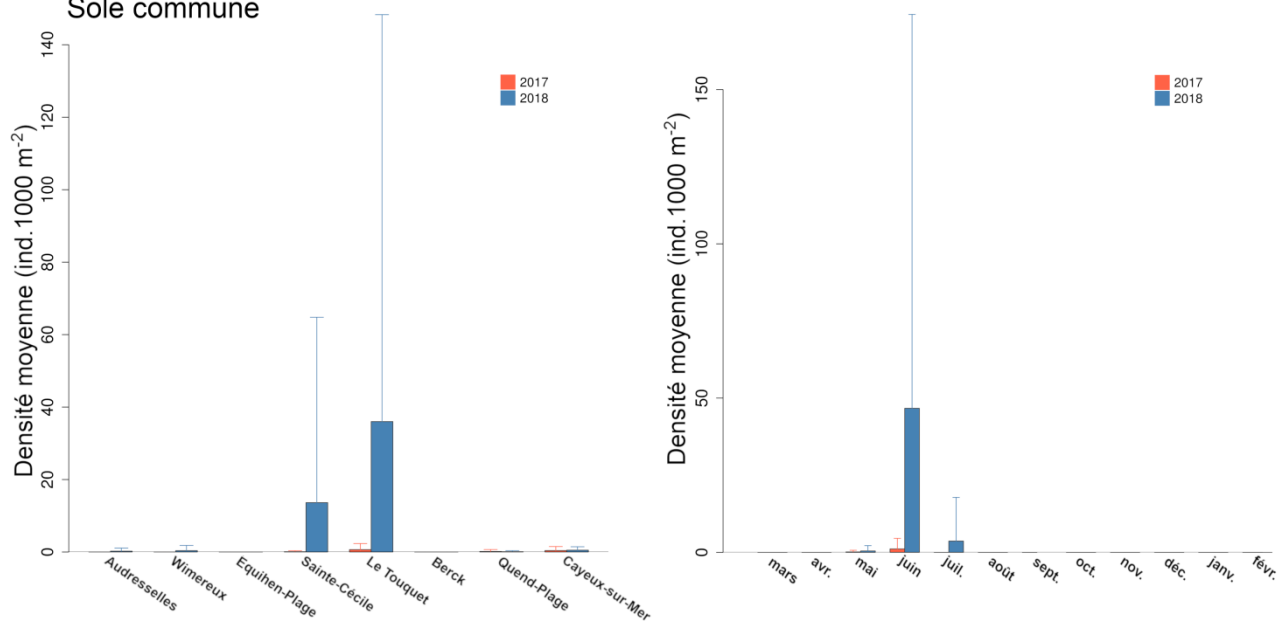
Sprat



Plie



Sole commune



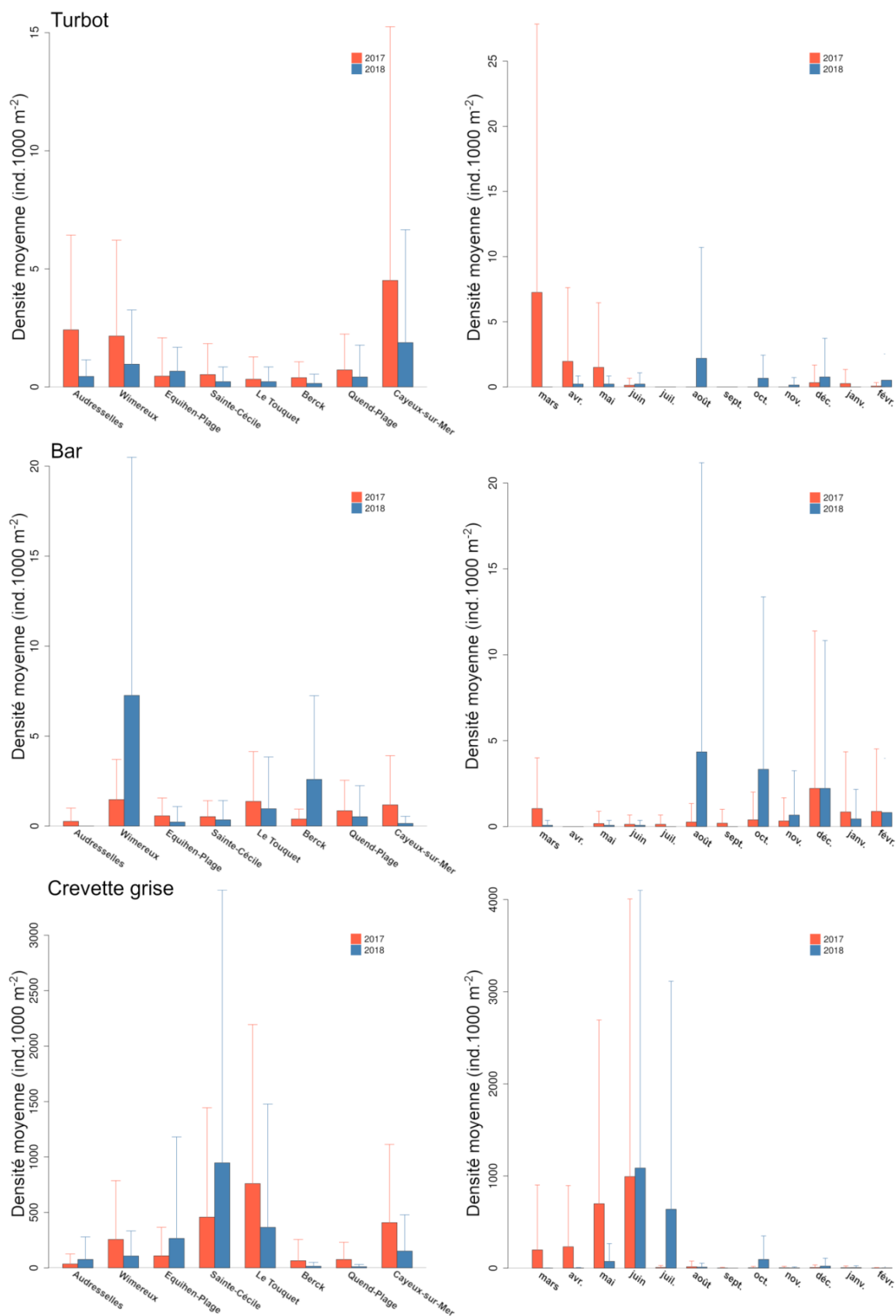


Figure 15 : Variations spatio-temporelles de la densité moyenne $\pm$ écart-type (ind.1000 m⁻²) des principales espèces d'intérêt halieutique au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).

3.3.5. Influences environnementales sur les variations des peuplements de poissons et de macrocrustacés

L'analyse canonique des correspondances (ACC), permet d'identifier les paramètres environnementaux, géographiques, morphologiques et trophiques influençant la répartition des peuplements de poissons et de macrocrustacés (Figure 19). L'analyse met en évidence trois regroupements d'espèces. Le premier regroupement rassemble les espèces fréquentant les estuaires (bar, lançon équille, crevette grise, flet, mulot, crabe vert). Ce regroupement des sites se caractérisant par la distance à l'estuaire le plus proche notamment par les sites d'Audresselles, de Wimereux, de Sainte-Cécile, du Touquet et de Berck situés à proximité d'un estuaire. Le deuxième regroupement se caractérise par le bar, la plie, le lançon équille, le turbot et la crevette grise capturés sur les sites de forte turbidité (Le Touquet et Cayeux-sur-Mer). Le troisième regroupement rassemble les espèces suivantes : gobie tacheté, sprat, petite vive, mulot, syngnathe aiguille, étrille élégante, athérine et crabe vert, fréquentant les sites de Sainte-Cécile, du Touquet et de Berck et dont la largeur de l'estran et la disponibilité en nourriture (biomasse en macrobenthos) sont les plus importantes.

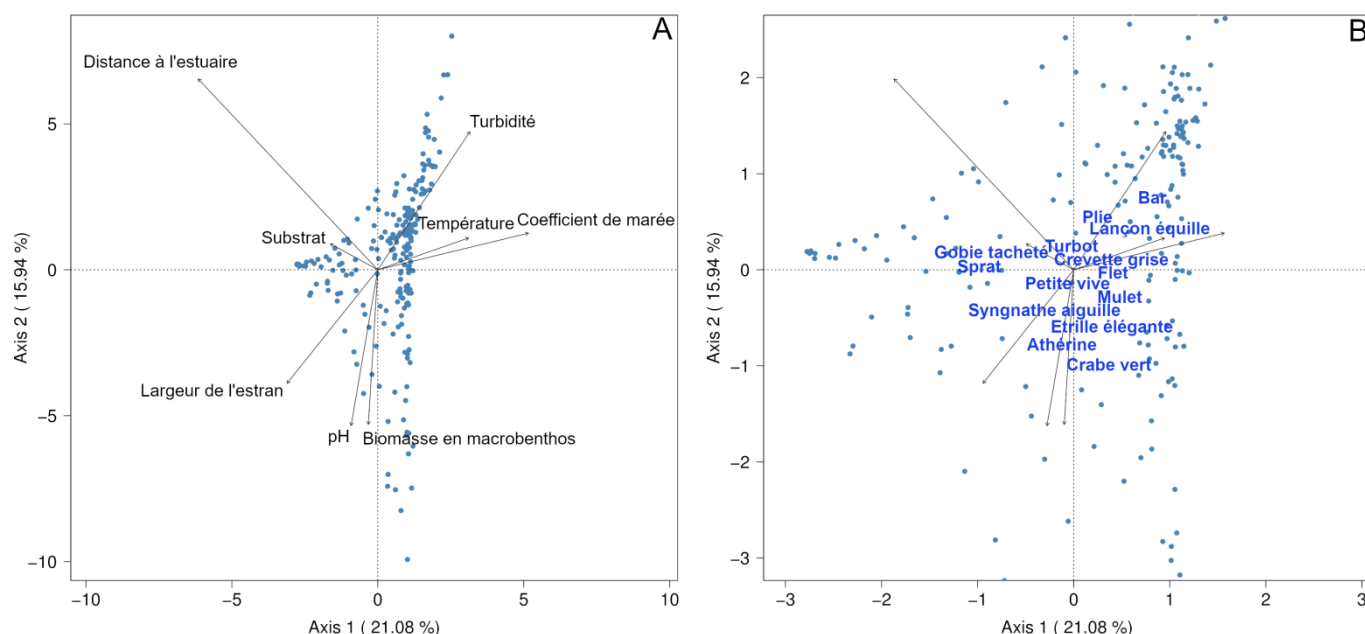
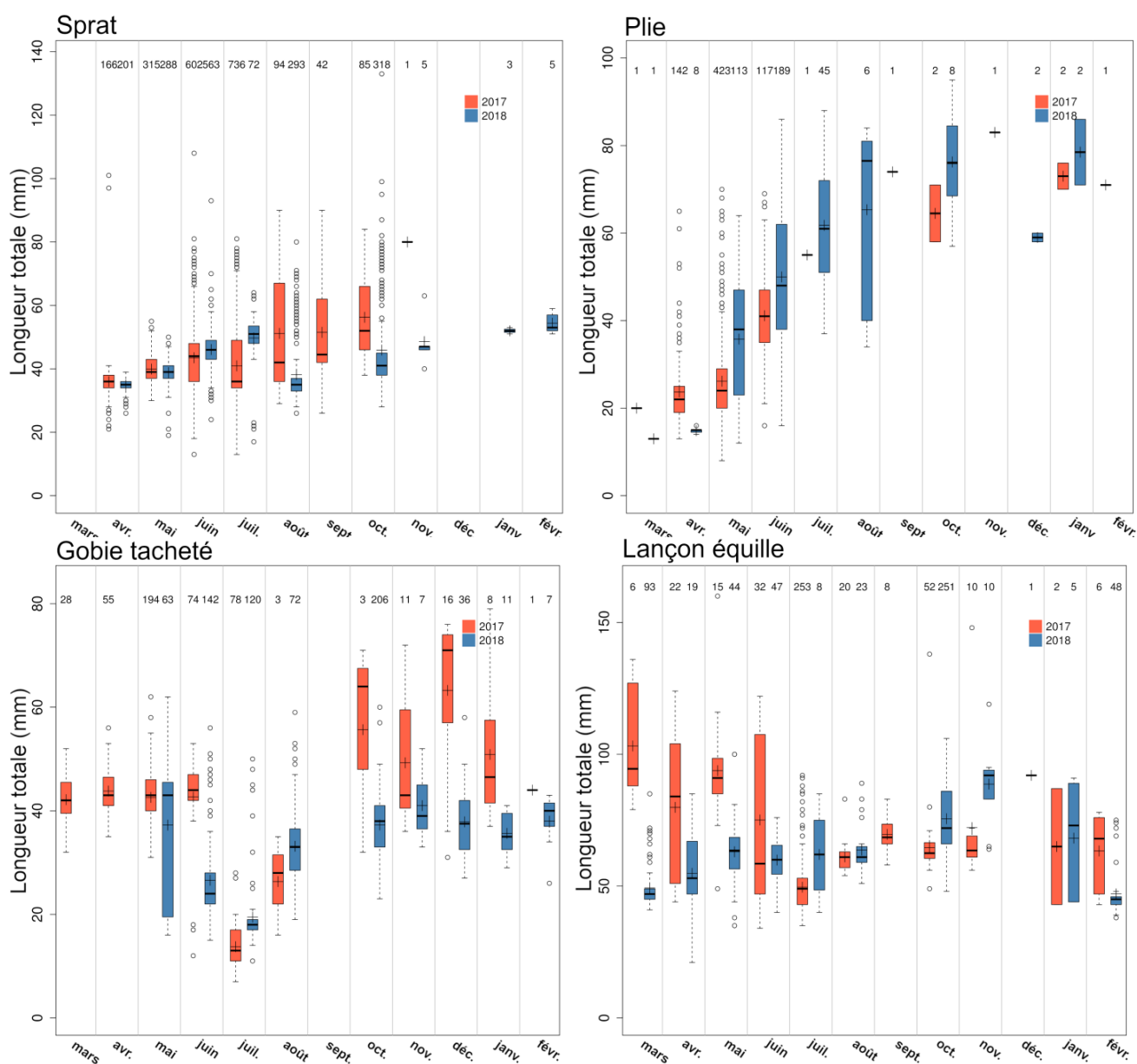


Figure 16 : Représentation des deux premiers axes de l'ACC réalisée sur les densités des principales espèces de poissons et de macrocrustacés (> 13% d'occurrence) et contrainte par les paramètres environnementaux, morphologiques, géographiques et trophiques au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (de mars 2017 à février 2018 et de mars 2018 à février 2019). A) seuls les paramètres retenus et B) les espèces sont représentés.

3.3.6. Structure en tailles/poids des principales espèces de poissons

Les structures en tailles des poissons montrent que la majorité des poissons sont de petite taille et peuvent être considérées comme des juvéniles (Figure 16). L'évolution temporelle des structures en tailles permet de mieux comprendre les successions de cohortes et la colonisation de l'estran et aussi d'avoir des informations sur les périodes de reproduction des différentes espèces. Les juvéniles arrivent sur l'estran généralement au printemps et début de l'été. Ils y restent plusieurs mois et grandissent jusqu'à une certaine taille puis quittent la zone pour rester ensuite en mer (subtidale).



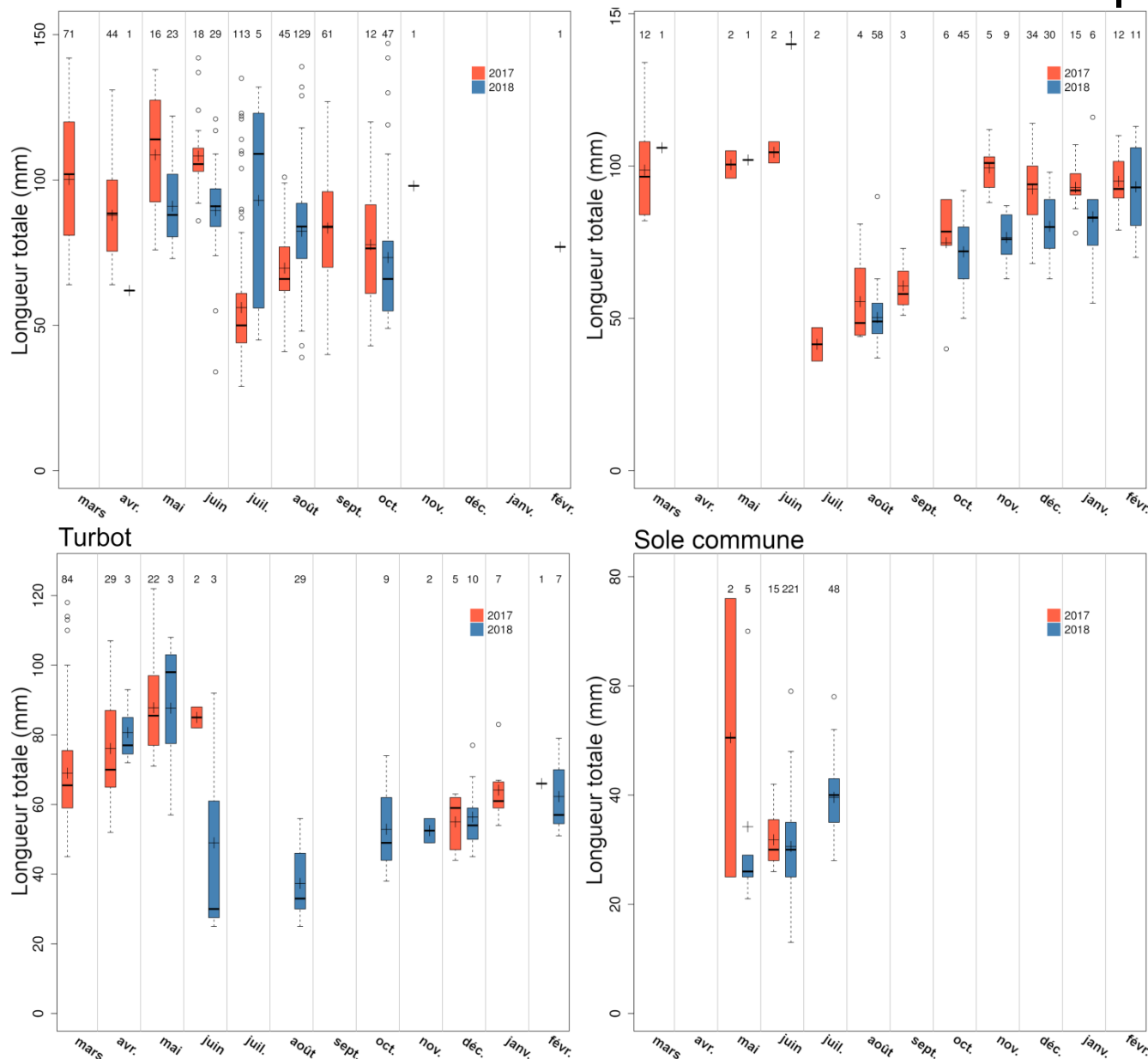
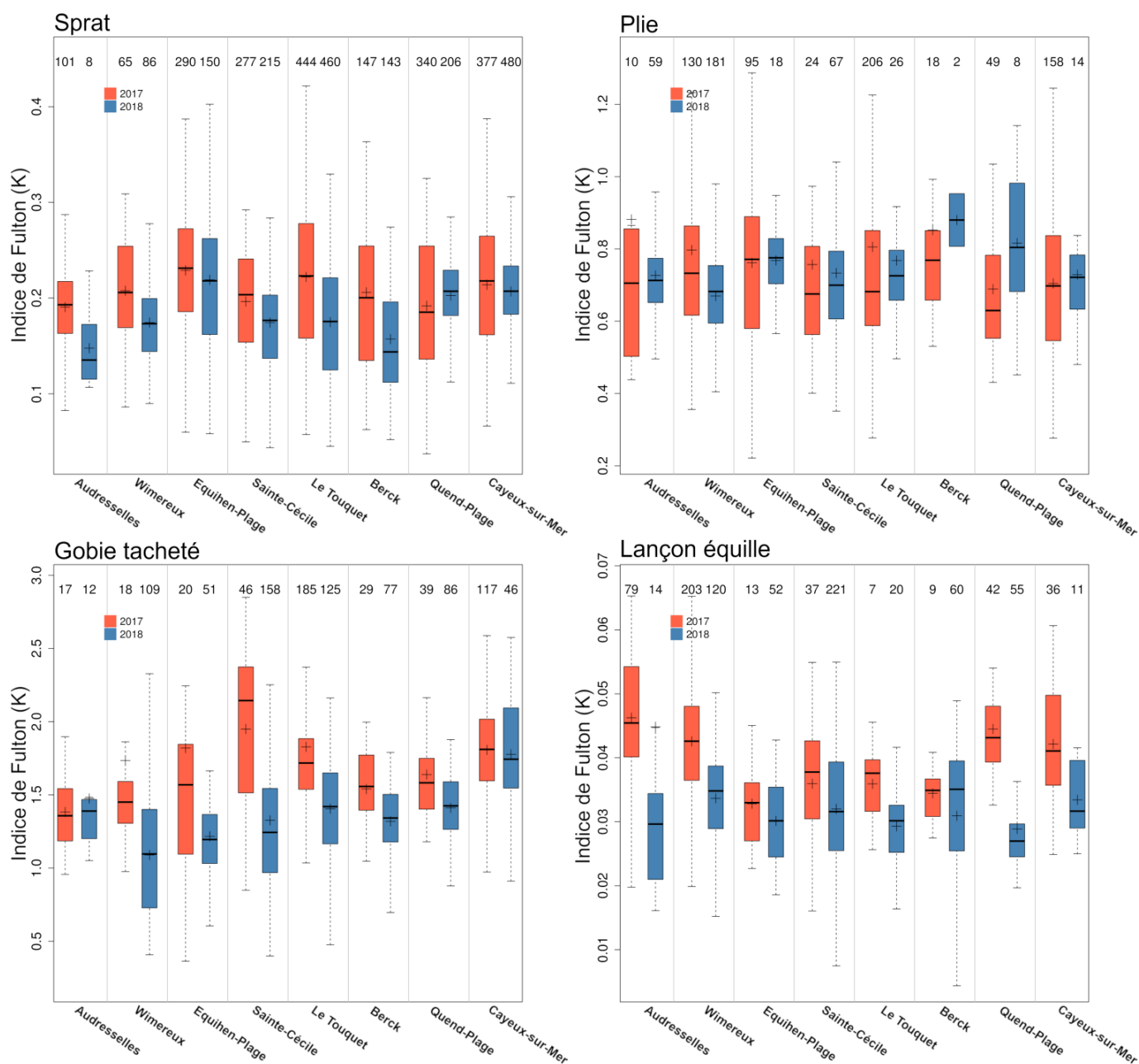


Figure 17 : Variations temporelles des longueurs totales (mm) des huit principales espèces de poissons capturées au cours des deux années d'études (de mars 2017 à février 2018 et de mars 2018 à février 2019). La boîte à moustache représente de haut en bas, la valeur maximale, le quartile 75%, la médiane, le quartile 25% et la valeur minimale. Les croix représentent la moyenne. Le nombre d'individus analysés est indiqué en haut de chaque boîte.

3.3.5. Comparaison spatiale de l'indice de condition de Fulton des principales espèces de poissons

Afin de comparer si les conditions environnementales sont favorables au développement des juvéniles de poisson, nous avons comparé pour les principales espèces de poissons l'indice de condition de Fulton K et la taille des poissons comme indice de leur croissance. Pour une même espèce, l'indice de condition K n'est pas significativement différent entre les sites et les

années (ANOVA $p > 0,05$) (Figure 17). Cela suggère que les poissons trouvent les mêmes conditions environnementales favorables pour leur développement au niveau des différents sites et au cours des 2 années étudiées. Concernant les tailles de poissons, il existe quelques différences entre les sites, mais pas de tendances pouvant être généralisées à l'ensemble des espèces étudiées (Figure 18).



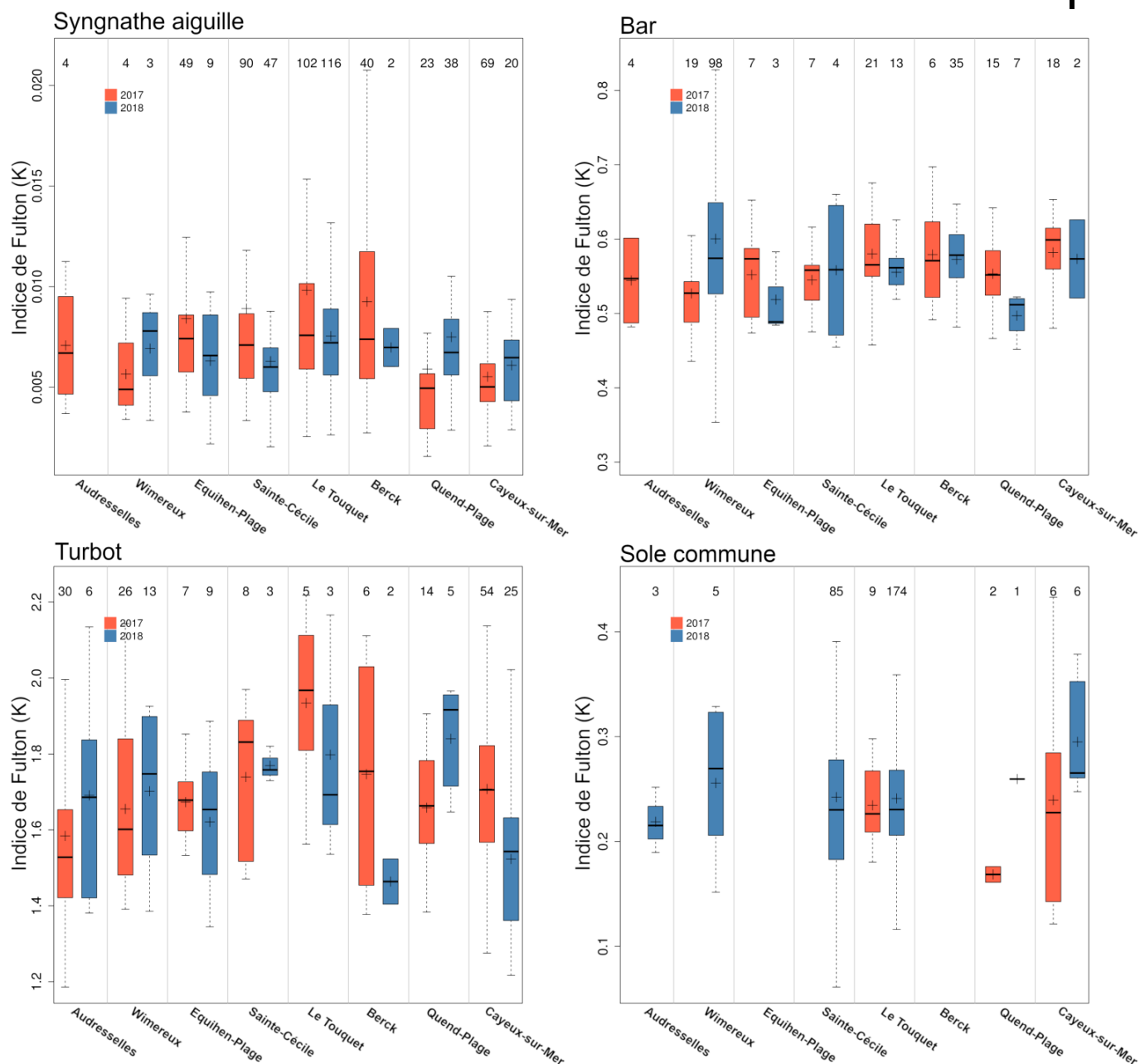
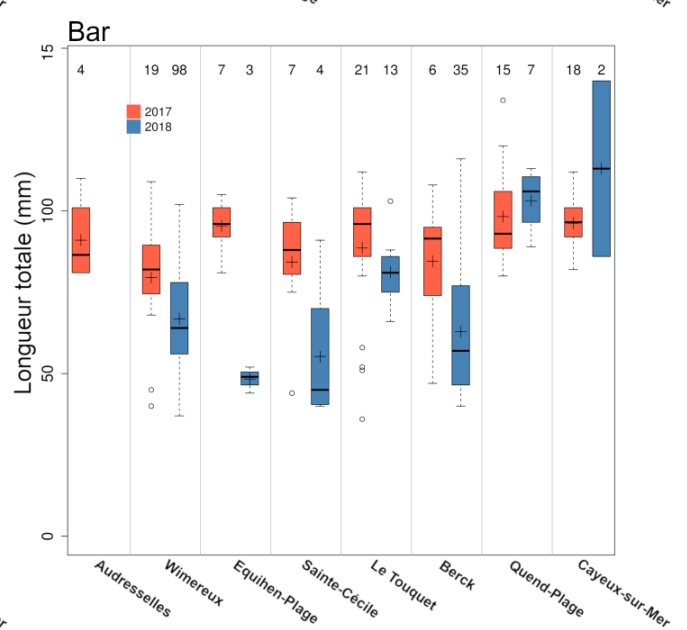
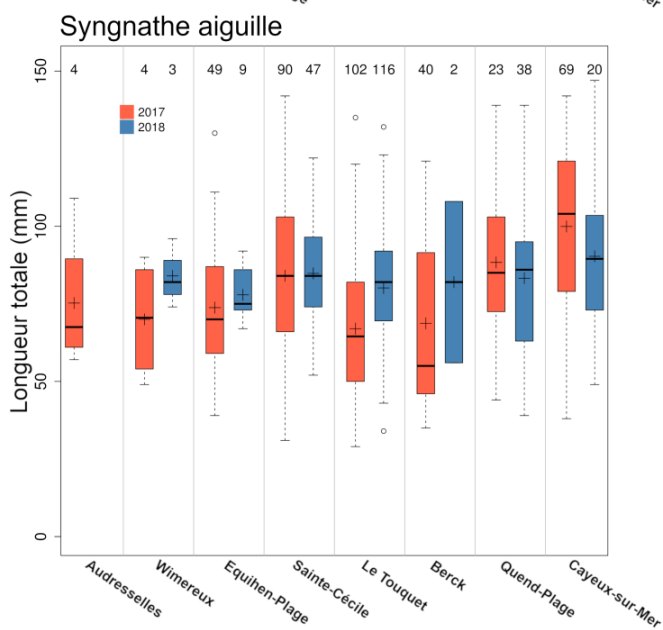
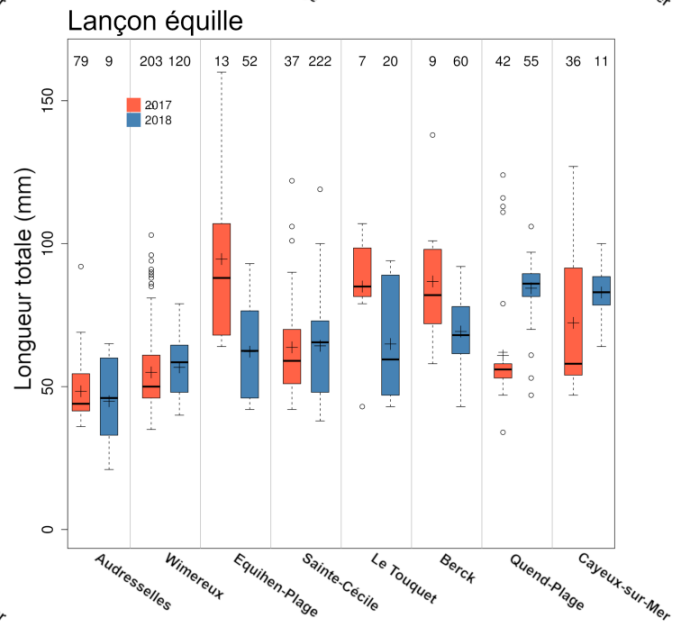
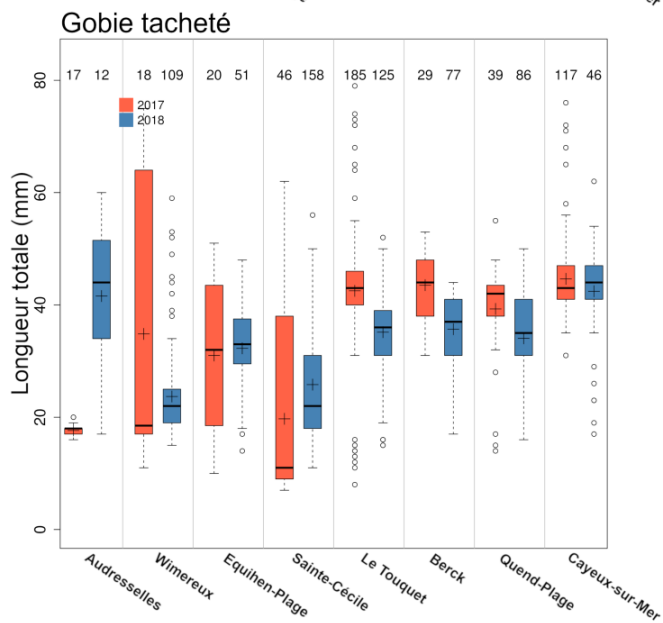
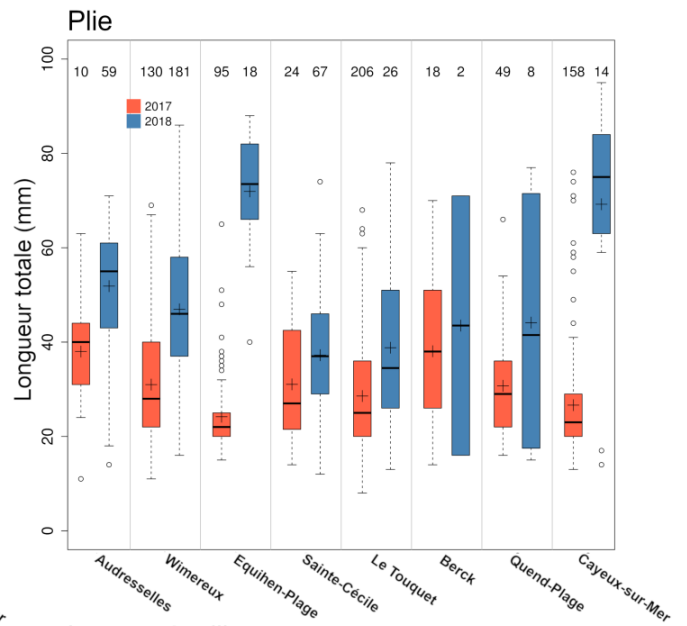
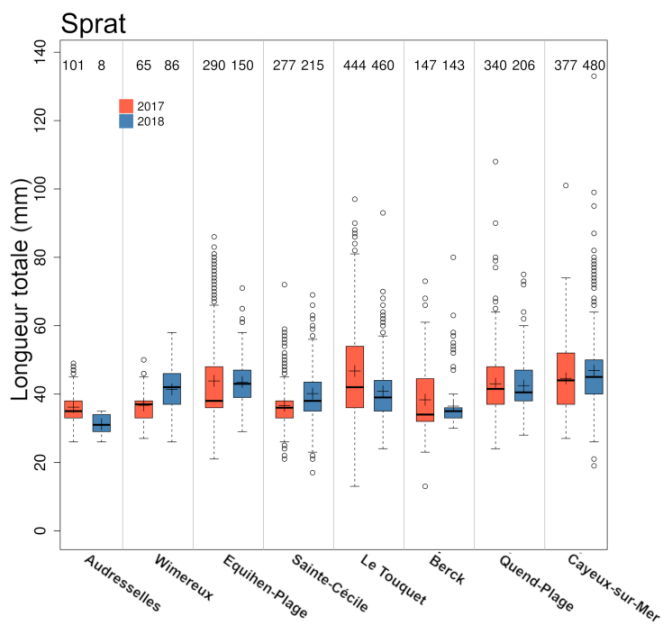


Figure 18 : Variations spatiales de l'indice de condition de Fulton (K) des huit principales espèces de poissons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). La boîte à moustache représente de haut en bas, la valeur maximale, le quartile 75%, la médiane, le quartile 25% et la valeur minimale. Les croix représentent la moyenne. Le nombre d'individus analysé est indiqué en haut de chaque boîte.



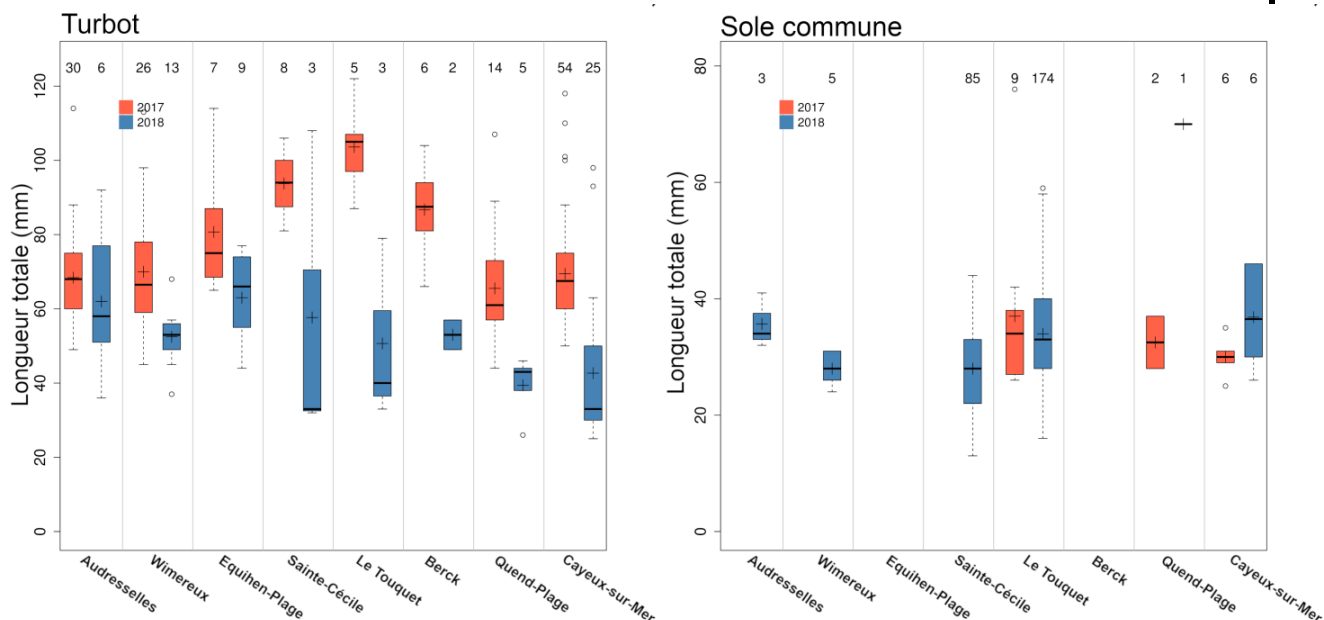


Figure 19 : Variations spatiales des tailles (longueur totale, mm) des huit principales espèces de poissons au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019). La boîte à moustache représente de haut en bas, la valeur maximale, le quartile 75%, la médiane, le quartile 25% et la valeur minimale. Les croix représentent la moyenne. Le nombre d'individus analysé est indiqué en haut de chaque boîte.

3.4. Variations spatio-temporelles des captures aux filets fixes du bord des activités de pêche de loisir

Les données des captures de poissons aux filets fixes du bord des activités de pêche de loisir pratiquées sur le périmètre du parc marin, nous permettent de connaître les espèces de poissons adultes (pas ou mal échantillonnés avec le petit chalut à perche) fréquentant l'estran ou du moins la partie inférieure de l'estran (infralittoral). L'analyse des fiches de captures déclaratives permet de recenser 27 espèces (Tableau. 4) dont 8 espèces sont communes avec les juvéniles capturés au petit chalut à perche. Il est à noter que parmi les espèces capturées, 6 sont des espèces migratrices amphihalines (lamproie, flet, mullet, saumon, truite de mer et alose). 90% des poissons capturés au filet fixe sur l'estran sont représentés par 7 espèces (par ordre décroissant d'abondance: flet, mullet, bar, plie, merlan, alose, maquereau, chinchard et cabillaud) (Fig. 20)

Tableau 4. Liste des espèces de poissons capturés aux filets fixes du bord des activités de pêche de loisir pratiquées sur le périmètre du parc marin. Les données sont exprimées en CPUE (Kg/1000 m² de filet) et par saison pour les deux années 2016 et 2017.

	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
Espèces	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Alose	0,24	0,29	1,86	4,42	6,36	5,43	1,43	1,67
Bar	1,75	0,68	1,83	2,29	7,15	10,54	5,24	12,54
Cabillaud	4,91	1,39	0,68	0,40	0,45	0,17	1,40	1,39
Carpe de mer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Plie	4,94	8,52	6,19	4,73	5,06	2,49	0,98	0,35
Chien de mer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
Chinchard	1,48	1,80	1,33	3,06	2,62	3,22	0,38	0,49
Dorade	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02
Emissole	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Flet	12,08	20,78	9,87	12,27	8,51	8,91	5,21	11,96
Hareng	2,32	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,73	0,50
Lamproie	0,00	0,07	0,58	0,00	0,58	0,34	0,00	0,00
Lieu jaune	0,00	0,34	0,01	0,01	0,03	0,03	0,25	0,19
Limande	0,36	2,16	0,71	0,23	0,02	0,01	1,56	1,69
Maquereau	0,00	1,12	1,14	3,65	3,41	7,52	0,64	2,12
Merlan	1,88	9,48	0,30	0,74	0,01	0,07	4,05	7,31
Mulet	1,66	1,87	13,55	15,52	22,78	18,48	2,43	8,18
Raie	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Roussette	0,36	3,45	0,82	0,54	0,42	0,35	0,26	0,25
Saumon	0,00	0,38	0,34	0,49	0,50	0,58	0,23	0,43
Sole	1,33	0,03	0,42	0,60	0,80	0,27	0,00	0,01
Tacaud	0,32	0,03	0,03	0,08	0,01	0,05	0,16	0,42
Truite	0,00	0,18	2,80	3,00	1,61	1,92	0,39	0,74
Truite de mer	0,00	0,06	0,00	0,25	0,00	0,03	0,00	0,00
Turbot	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vieille	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,09
Vive	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00

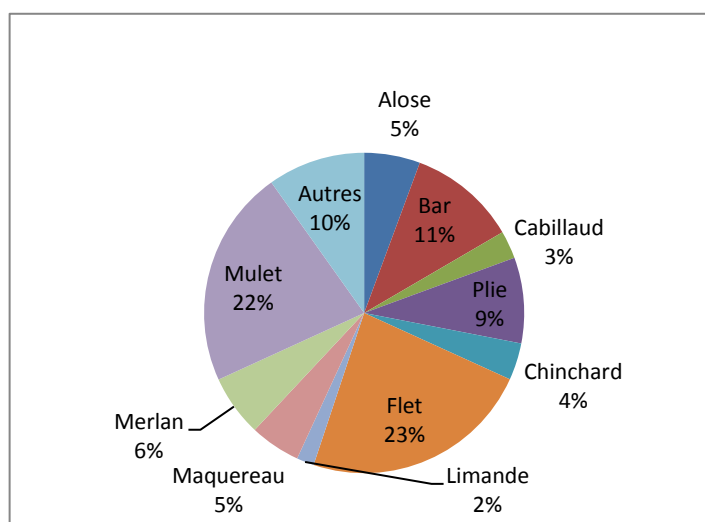
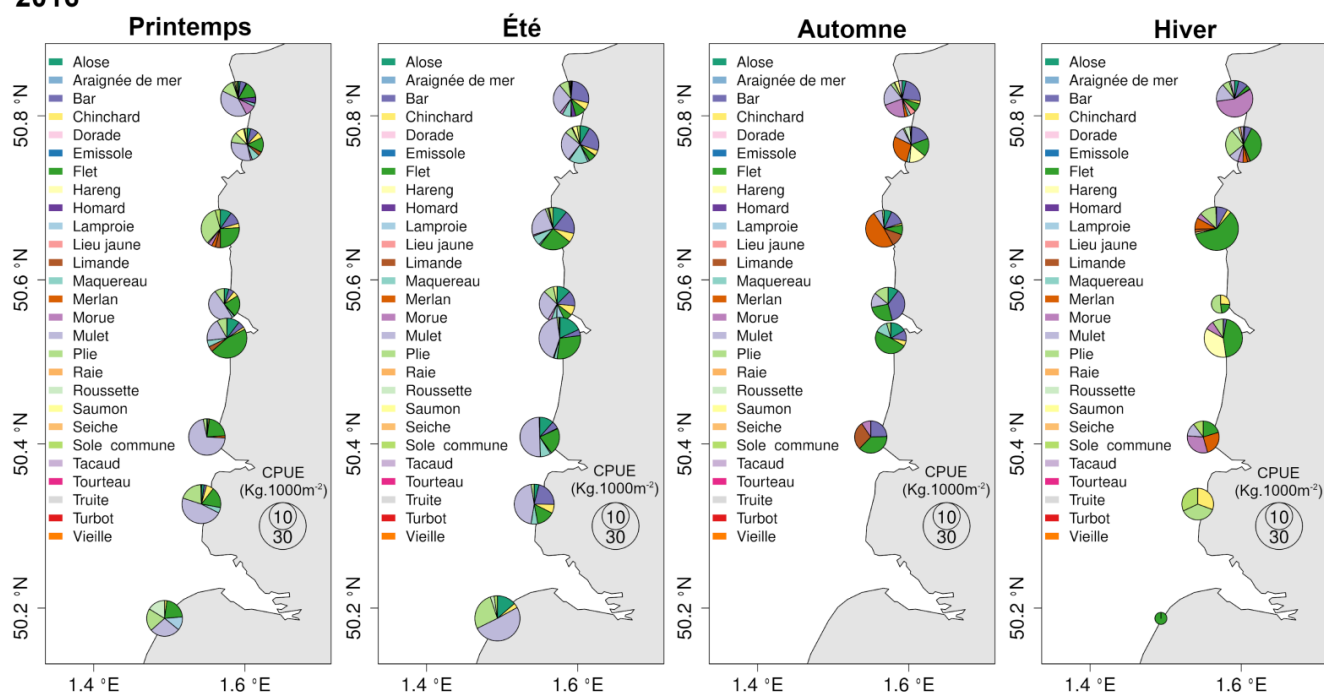


Figure 20. Proportion des espèces de poissons capturées au filet calé par les activités de pêche de loisir pratiquées sur le périmètre du parc marin.

La répartition spatiale de la composition en espèces capturée par les filets fixes montre que le bar, le flet, le merlan, le mullet, la plie, la morue, la limande et le chinchard sont des espèces régulièrement capturées à chaque saison au cours des deux années et sur l'ensemble des sites (Figure 21). Le mullet, le flet, le bar et la plie sont les quatre espèces les plus capturées tout au long de l'année. D'autres espèces sont ponctuellement capturées selon la saison, c'est le cas du merlan, de la morue et de la limande en automne et en hiver et le chinchard au printemps et en été (Tableau 4). Les sites d'étude montrent une composition en espèces relativement semblable entre les saisons et entre les deux années. Les CPUE sont les plus importantes au niveau d'Équihen-Plage (9-28 kg.1000 m⁻²), du Touquet (7-29 kg.1000 m⁻²), de Cayeux-sur-Mer (16-20 kg.1000 m⁻²) et Quend-Plage (25 kg.1000 m⁻²) en automne 2017 alors qu'Audresselles, Wimereux, Sainte-Cécile et Berck présentent des CPUE 2 à 10 fois moins importantes. L'été, l'hiver et l'automne 2017 sont les saisons les plus marquées avec des CPUE moyen plus élevées (16, 18-29 et 13-25 kg.1000 m⁻², respectivement).

2016



2017

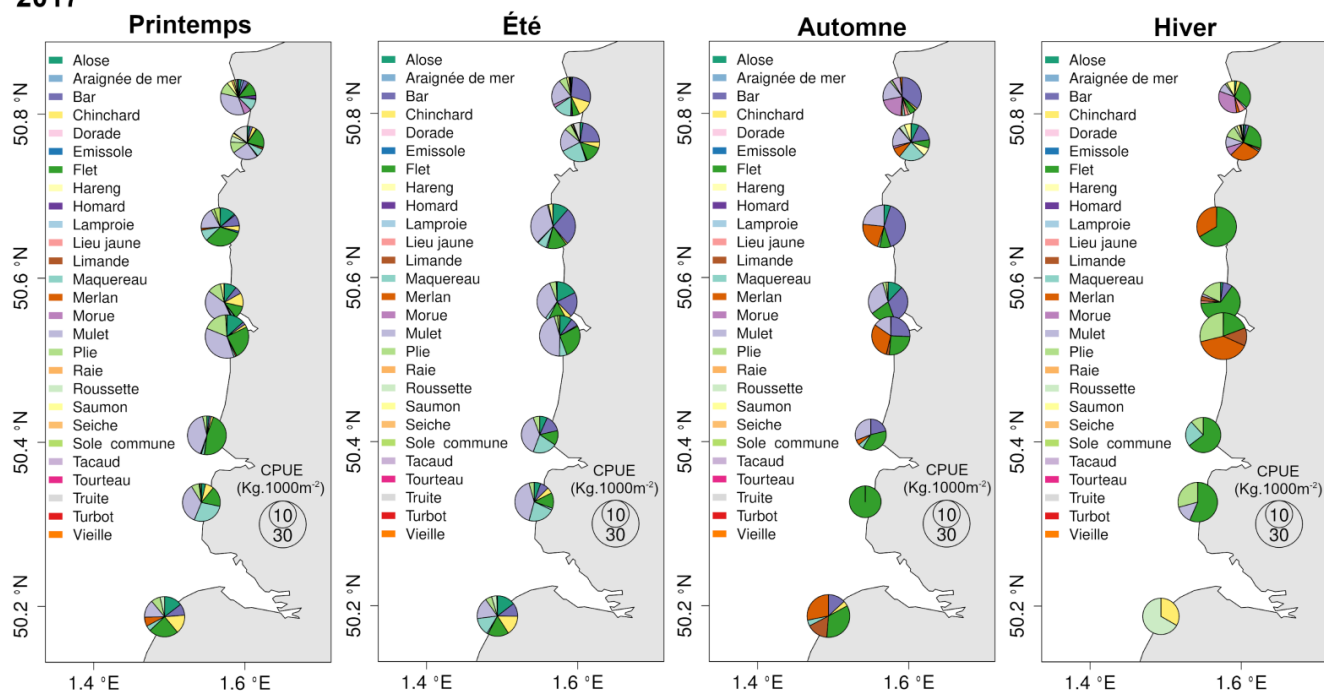


Figure 201 : Variations spatiotemporelles de la CPUE ($\text{kg} \cdot 1000 \text{ m}^{-2}$) et de la composition de poissons capturés au filet fixe sur l'estran en fonction des saisons au niveau des 8 sites au cours des années 2016 et 2017. La taille des cercles est proportionnelle à la CPUE moyenne des poissons.

3.5. Variations spatio-temporelles des macrodéchets

A titre indicatif, nous avons recensé les macrodéchets récoltés dans le chalut au cours de nos 744 pêches réalisées au cours des deux années d'études. Ainsi 538 et 892 macrodéchets ont été récoltés dans le chalut respectivement en 2017 et 2018, ce qui représente 0,7 kg en 2017 et 0,94 kg en 2018. La répartition spatiale des macrodéchets montre des densités moyennes plus importantes au niveau d'Equihen-Plage, de Sainte-Cécile, du Touquet, de Berck en 2017 et de Quend-Plage en 2018 avec la présence **principalement de fils et filets de pêche** (12,8 - 87,9%) et d'emballages plastiques (3,5 - 36,8%) (Figure 22). Les sites d'Audresselles, de Wimereux et de Cayeux-sur-Mer présentent des densités de macrodéchets 2 à 5 fois moins importantes (environ 2 - 3 frag.1000 m⁻²) (Figure 23)



Figure 21 : Exemple de macrodéchets récoltés sur l'estran avec le petit chalut à perche.

Au niveau temporel, les densités de macrodéchets sont maximales en juin et juillet (30,1 et 15 frag.1000 m⁻² respectivement) avec une dominance du fils et filets de pêche (31,6 - 70,1% en 2017 et 32 - 85% en 2018), des emballages en plastique (4,9 - 47,8% en 2017 et 10,3 - 31,2% en 2018) et des morceaux de plastiques (12,8 - 44,4% en 2017 et 11,9 - 64% en 2018) (Figure 24). Les densités de macrodéchets sont très faibles entre octobre et février (moins de 5 frag.1000 m⁻²).

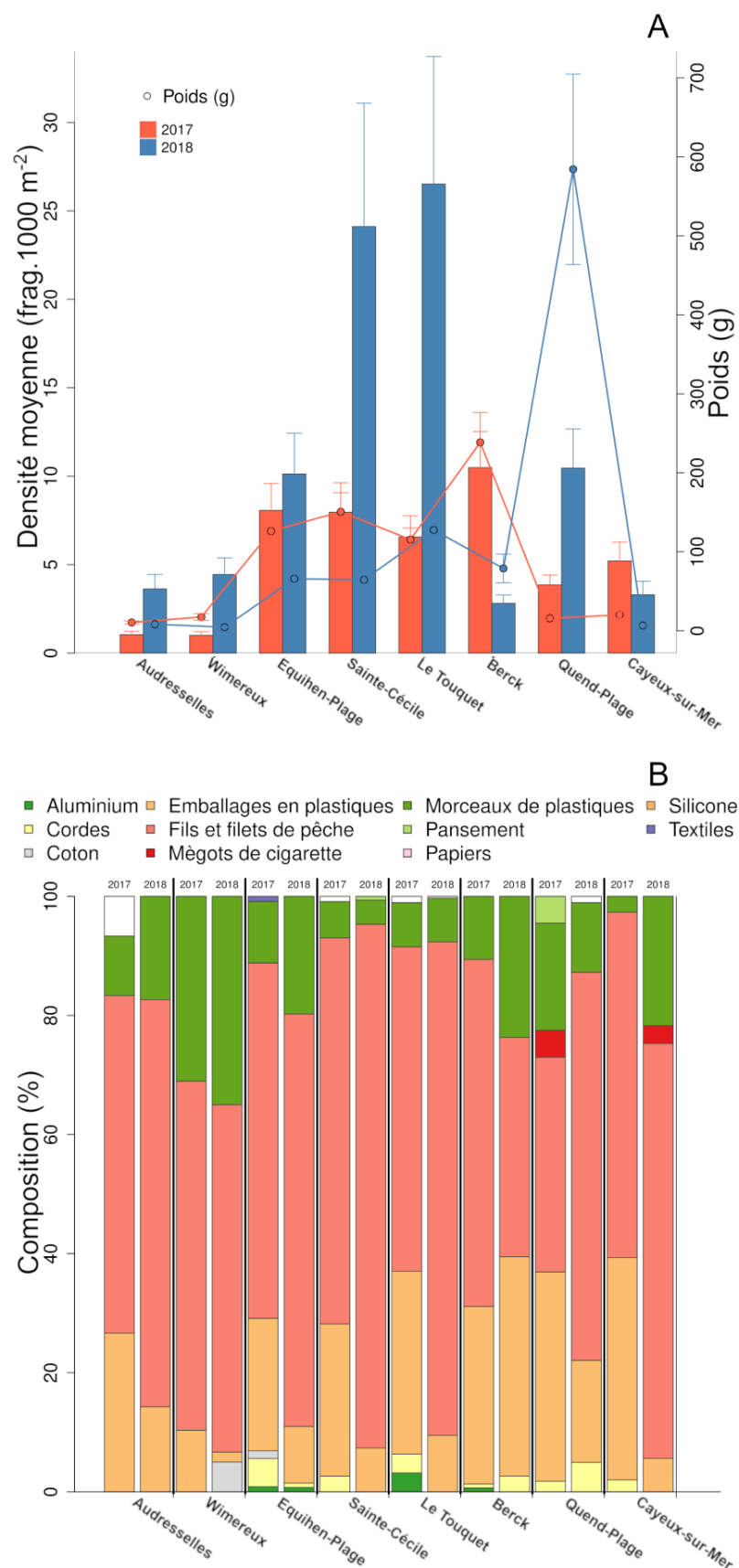


Figure 22 : Variations spatiales de A) la densité moyenne $\pm$ écart-type (frag.1000 m⁻²) et du poids (g), et B) de la composition (%) de macrodéchets au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).

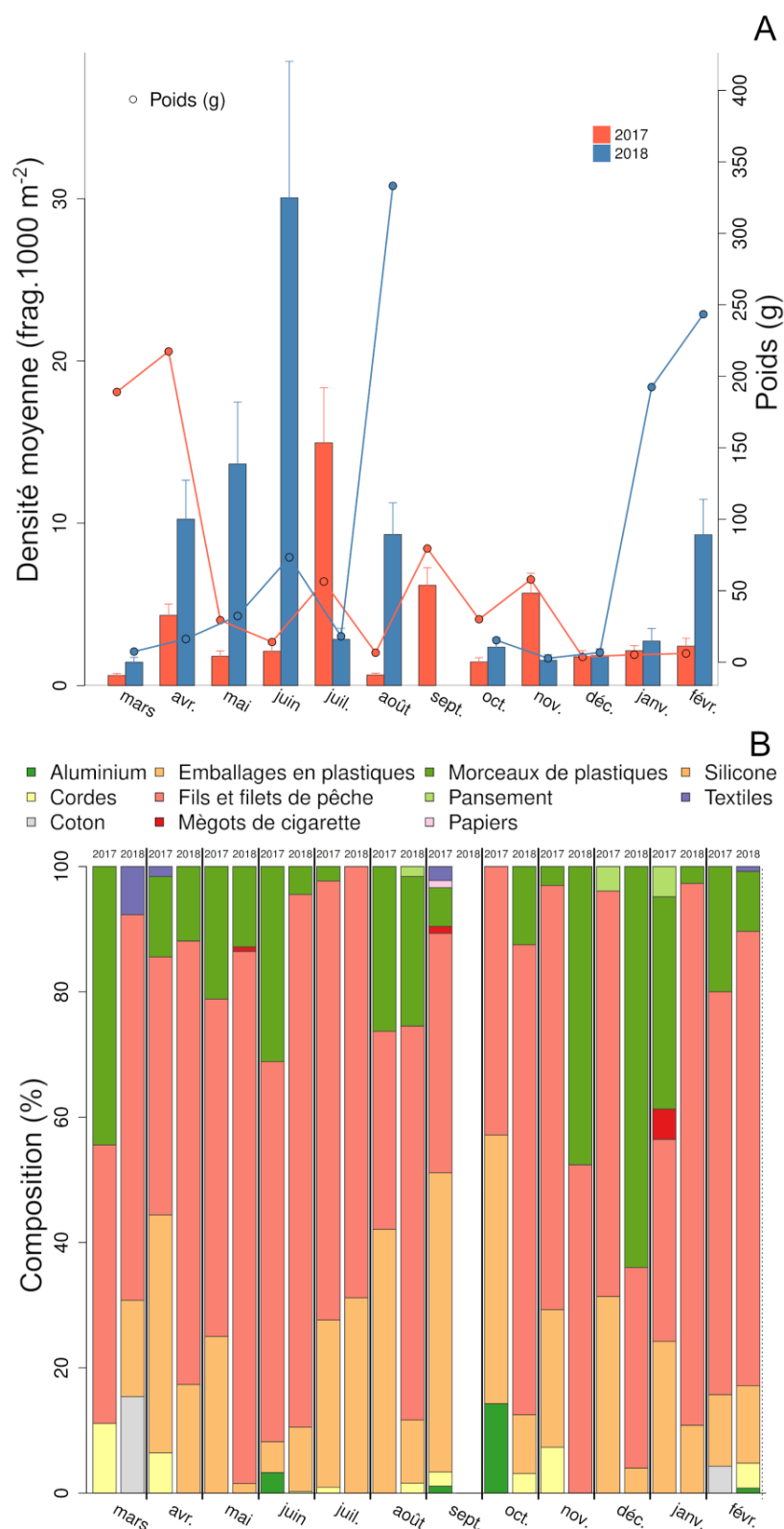


Figure 23 : Variations temporelles de A) la densité moyenne $\pm$ écart-type (frag. 1000 m⁻²) et du poids (g) et de B) la composition (%) de macrodéchets au niveau des 8 sites au cours des deux années d'études (2017 : de mars 2017 à février 2018 et 2018 : de mars 2018 à février 2019).

IV. Interprétation des résultats et discussion

Bien que les plages sableuses représentent environ 74% du littoral de la Manche Orientale, les connaissances sur les fonctions écologiques de l'estran notamment au regard de l'ichtyofaune et des macrocrustacés sont relativement rares, voire inexistantes. Les seules études réalisées en Manche ont concerné un seul site, la plage de Sainte-Cécile, qui a fait l'objet d'un suivi temporel (saisonnier et interannuelle) (Amara et Paul, 2003 ; Selleslagh et Amara, 2008b ; Benazza et al., 2015). Dans le cadre de la présente étude, nous avons étudié au cours des deux années les juvéniles de poissons et de macrocrustacés fréquentant l'estran sableux au sein du périmètre du PNMEPMO. L'étude s'est portée sur 8 sites d'échantillonnage allant d'Audresselles à Cayeux-sur-Mer.

Les principaux objectifs de cette étude étaient de trois ordres :

- Faire un inventaire de l'ichtyofaune et des macrocrustacés et étudier la composition des peuplements à la fois spatialement et temporellement afin d'établir une base qualitative et quantitative d'information sur la composition et la répartition des peuplements piscicoles fréquentant l'estran.
- Cartographier les peuplements piscicoles et des macrocrustacés des zones intertidales et étudier l'influence des facteurs environnementaux (biotique et abiotique) structurant les assemblages de poissons.
- Évaluer la fonctionnalité écologique de l'estran pour l'ichtyofaune (rôle de nurserie) et son importance dans le renouvellement des stocks halieutiques.

Parallèlement, nous nous sommes intéressé aux captures de poissons aux filets fixes des activités de pêche de loisir pratiquées sur le périmètre du parc marin, pour connaître les espèces de poissons adultes (pas ou mal échantillonnées avec le petit chalut à perche) fréquentant l'estran ou du moins la partie inférieure de l'estran.

4.1. Rôle et importance de l'estran sableux pour les poissons et les macrocrustacés

Ce travail repose sur un suivi conséquent. Entre les mois de mars 2017 et février 2019, 31 campagnes d'échantillonnage ont été réalisées sur chacun des 8 sites étudiés. Un total de **744 pêches au petit chalut à perche** a permis la capture de 99 538 individus de poissons et de

macrocrustacés confondus. Au cours des deux années d'études, **35 espèces** ont été capturées au niveau des 8 sites échantillonnés : 21 espèces de poissons appartenant à 15 familles différentes et 14 espèces de macrocrustacés appartenant à 9 familles. Ces espèces occupent la zone intertidale uniquement à marée haute et à certaines périodes de l'année. Les poissons capturés durant les deux années de suivi sont majoritairement des juvéniles dont la taille moyenne varie de $28,6 \pm 11,8$ mm (pour la plie) à $96,9 \pm 33$ mm (pour la barbue). L'estran sableux se distingue ainsi par la dominance d'individus de moins d'un an dont la taille est inférieure à celle des poissons pêchés plus au large (zone subtidale) (Amara, 2003). Cela confirme le rôle privilégié de cet écosystème dans l'accueil des plus jeunes individus : **la zone intertidale apparaît comme un maillon essentiel du système composite qu'est une nourricerie. Cette fonction est l'une des composantes écologiques essentielles de l'estran.**

Parmi les espèces recensées, 11 espèces de poissons (sprat, plie, lançon équille, mullet, bar, flet, sole commune, barbue, merlan, anchois, hareng) et 3 espèces de macrocrustacés (crevette grise, bouquet commun, étrille de sable) sont des espèces d'intérêt halieutique. Cela souligne **l'importance de cet écosystème dans le renouvellement des ressources halieutiques** de la zone d'étude du PNMEPMO.

Les données issues des activités de pêche de loisirs aux filets fixes en bords de mer révèlent que l'estran sableux (ou du moins la partie infralittorale) est également **fréquentée par 27 espèces de poissons adultes**. Les principales espèces étant par ordre décroissant: flet, mullet, bar, plie, merlan, alose, maquereau, chinchard et cabillaud. Il s'agit principalement d'espèces pélagiques et démersales. Les raisons de la fréquentation de l'estran par les poissons adultes ne sont pas connue mais doivent certainement être d'ordre alimentaire.

La diversité du peuplement ichtyologique recensée au cours de cette étude est similaire à celle recensée lors d'un suivi pluriannuel de 11 années réalisé entre 2000 et 2013 au niveau de la plage de Sainte-Cécile (Benazza et al., 2015). Ce qui montre une certaine **stabilité de la diversité des espèces fréquentant l'estran** de la zone d'étude. Cette diversité est également du même ordre de grandeur que, ce qui a été décrit dans d'autres zones intertidales du Nord de l'Europe avec 20 espèces de poissons sur l'estran sableux des côtes Belges (Beyst et al., 2001) et 24 espèces à Porto Pim aux Açores (Santos et Nash, 1995). Comme cela a été observé dans d'autres études, seul **un petit nombre d'espèces dominant le peuplement** (Gibson et al., 1993 ; Lazzari et al., 1999 ; Harley et al., 2001 ; Beyst et al., 2001 ; Campos et al., 2010 ; Benazza et al., 2015). Parmi les 21 espèces de poissons capturées, seules **cinq espèces (le sprat, la plie, la sole commune, le gobie tacheté et le lançon équille), qui représentent**

environ 90% des captures totales de poissons est considérés comme des espèces communes de la zone d'étude. La majorité des autres espèces de poissons échantillonnées sont occasionnelles (e.g. l'athérine, le mulot, le gobie buhotte, le turbot et le flet) ou rares (e.g. le gobie transparent, la barbue, le merlan, l'anchois, la blennie, l'épinoche et le hareng).

Chez les macrocrustacés, **2 espèces, la crevette grise et le crabe vert représentent plus de 95% des captures de macrocrustacés.** Ces espèces ont été capturées au niveau des 8 sites et sont généralement des espèces ubiquistes largement répandues le long des zones côtières peu profondes des côtes nord européennes (Gibson et al., 1993 ; Santos et Nash, 1995 ; Beyst et al., 2001 ; Amara, 2002).

Les avantages pour les espèces marines utilisant la zone intertidale pendant une partie de leur cycle de vie ne sont pas bien connus. Cependant, de nombreux auteurs ont signalé que les zones intertidales sableuses pourraient offrir aux juvéniles un refuge contre la prédation et une nourriture abondante et réduire la compétition avec les espèces subtidales. Les espèces peuvent également utiliser ces habitats à la recherche d'un environnement physiologique optimal favorisant une croissance maximale (Thiel et al., 1995). L'utilisation de la zone intertidale permettrait ainsi de maximiser la croissance et la survie des espèces, particulièrement au stade juvénile (Amara et Paul, 2003).

Alors qu'il existe plus de 80 espèces de poissons en Manche Orientale (Amara et Cornille, 2003), seules les juvéniles de 21 espèces fréquentent la zone intertidale. Bien que très abondants en zones subtidales, les juvéniles de nombreuses espèces comme la limande *Limanda limanda*, la petite sole jaune *Buglossidium luteum* et le callionyme *Callionymus lyra* (Amara, 2004), ne sont jamais capturés au niveau de la zone intertidale. L'absence de ces espèces est probablement due au fait de leurs exigences physiologiques moins bien adaptées aux fluctuations importantes des conditions environnementales de la zone intertidale. Par conséquent, l'utilisation de la zone intertidale par certaines espèces de poissons représente un avantage qui non seulement réduit la prédation et maximise la croissance, mais réduit également la compétition pour les aliments aux premiers stades de leur cycle de vie.

La zone intertidale située dans le périmètre du Parc Naturel marin des Estuaires Picards et de la Mer d'Opale est fréquentée par de nombreuses espèces de poissons et de macrocrustacés marins. Au cours de la période d'étude, 35 espèces ont été capturées dont 11 espèces de poissons et 3 espèces de macrocrustacés sont des espèces d'intérêt commercial. La majorité des individus capturés sont des juvéniles de moins d'un an. L'intertidal apparaissant comme

un maillon essentiel du système composite qu'est une nourricerie. Cette fonction est l'une des composantes écologiques essentielles de l'estran sableux.

La présence de juvéniles d'espèces d'intérêt halieutique souligne l'importance de cet écosystème dans le renouvellement des ressources halieutiques de la zone d'étude. De plus, 27 espèces de poissons adultes semblent fréquenter l'estran à marée haute.

Il est donc indispensable de préserver et maintenir le fonctionnement écologique de ces habitats essentiels pour assurer la croissance, la survie et le bon déroulement du cycle de vie et, par conséquent, la gestion et la pérennité durable des ressources marines exploitées.

4.2. Évolution spatio-temporelle de la diversité et des densités de poissons et de macrocrustacés

Les 8 sites étudiés au niveau du périmètre du PNMEPMO présentent quelques différences au niveau de la morphologie des plages comme la pente et la largeur de l'estran, la proximité d'un estuaire ou encore du substrat. Toutefois les conditions environnementales (température, salinité, pH et turbidité) mesurées au niveau des 8 sites suivent la même évolution temporelle (saisonnière) et ne présentent pas de différence significative entre les sites sauf pour la turbidité. Les poissons trouvent donc **des conditions hydroclimatiques relativement stables** au niveau de l'estran sableux situé dans le périmètre du parc marin.

Concernant la **biomasse du macrobenthos** (c.à.d. les proies potentielles pour les espèces de poissons et de macrocrustacés), **les sites d'Equihen-Plage et du Touquet présentent les plus fortes biomasses comparées aux autres sites**. Les 2 sites Audresselles et Cayeux-sur-Mer présentent les plus faibles biomasses de macrobenthos, qui pourrait être dû notamment à la présence de cordons de galets. Toutefois, l'analyse de l'indice de condition et de la croissance des poissons suggère que les **juvéniles trouvent les mêmes conditions environnementales favorables pour leur développement au niveau des différents sites**.

Les deux années du suivi mettent en évidence **des différences spatiales de la richesse spécifique et de la densité de poissons et de macrocrustacés** fréquentant la zone intertidale. Globalement, les mêmes patterns de variations ont été observés en 2017 et 2018. En termes de richesse spécifique, les sites Equihen-Plage, Sainte-Cécile, Le Touquet et Cayeux-sur-Mer présentent la plus grande richesse spécifique pour les poissons (13-17 espèces) et pour les

macrocrustacés (8-10 espèces). Les densités les plus importantes en poissons ont été observées au niveau des sites d'Equihen-Plage, du Touquet et de Cayeux-sur-Mer alors que les densités les plus importantes de macrocrustacés ont été observées à Sainte-Cécile, Le Touquet et Cayeux-sur-Mer. Les analyses multivariées ont permis de regrouper les sites dans deux groupes distincts caractérisés par des peuplements différents. Le premier groupe qui correspond aux sites du Touquet et de Cayeux-sur-Mer et le second groupe avec les sites d'Audresselles et de Wimereux. Cette différence entre les sites est due à une diversité et densité d'espèces beaucoup plus importantes pour les sites du premier groupe contrairement au deuxième groupe et également à une différence d'assemblage en espèces.

Les secteurs de Sainte-Cécile, d'Equihen-Plage, du Touquet et de Cayeux-sur-Mer sont ceux qui présentent une plus grande diversité et les abondances les plus élevées. Ces secteurs pourraient jouer un rôle important pour la biodiversité et le renouvellement des ressources de la zone d'étude. Ils mériteraient une attention particulière.

Au niveau temporel, l'occupation de la zone intertidale est similaire au niveau des différents sites et **reflète les périodes de reproduction et de recrutement des espèces en Manche Orientale**. Les analyses mettent en évidence **une succession d'apparition d'espèces de poissons et de macrocrustacés en fonction des saisons**. En effet, pour la plupart des espèces de poissons et de macrocrustacés, **les juvéniles arrivent au niveau de la zone intertidale au printemps et au début de l'été**. Ces juvéniles vont grandir pour atteindre une taille suffisante afin de regagner le large en fin d'été, début d'automne. Les densités de poissons sont **maximales de mai à août** avec une dominance du sprat alors que les densités de macrocrustacés sont maximales de mai à juillet et dominé par la crevette grise. Les indices de diversités, pour les poissons, sont **maximaux au printemps et début d'été**. Pour les macrocrustacés, les indices de diversité sont élevés en automne et en hiver.

Les secteurs de Sainte-Cécile, d'Equihen-Plage, du Touquet et de Cayeux-sur-Mer sont ceux qui présentent une plus grande diversité et les abondances les plus élevées. Ces différences semblent être liées à la localisation (proximité estuaire), la morphologie de l'estran et la disponibilité en nourriture des sites. Ces secteurs pourraient jouer un rôle important dans le maintien de la biodiversité et le renouvellement des ressources halieutiques en Manche Orientale. Ils mériteraient une attention particulière.

Les conditions environnementales pour les juvéniles de poissons sont comparables entre les différents sites. Les juvéniles semblent **trouver les mêmes conditions environnementales favorables** pour leur développement au niveau des différents sites. La succession temporelle d'apparition des poissons et des macrocrustacés sur les sites suit les périodes de reproduction et de recrutement. La plupart des espèces **arrivent sur les estrans sableux au printemps et début d'été.**

4.3. Recommandations et perspectives

Le suivi réalisé au cours des deux années dans le périmètre du PNMEPMO met en évidence le rôle de nourricerie que la zone intertidale offre pour de nombreux poissons et macrocrustacés, notamment d'espèces d'intérêts halieutiques. De nombreux poissons adultes fréquentent aussi l'estran. Cet écosystème peut donc être considéré comme une zone fonctionnelle pour les ressources halieutiques (ZCH). Il s'avère donc nécessaire de **mettre en place un plan de gestion pour préserver et conserver** le bon fonctionnement écologique de cet écosystème et l'exploitation durable des ressources qui y dépendent (Delage et Le Pape, 2016). Certains sites semblent jouer un rôle de nourricerie plus important que d'autres sites; c'est le cas des sites de Sainte-Cécile, d'Equihen-Plage, du Touquet et de Cayeux-sur-Mer qui présentent une plus grande diversité et les abondances les plus élevées. Du fait de la variabilité interannuelle des peuplements de poissons et de macrocrustacés, il est nécessaire de **réaliser des suivis sur le long terme** (5 à 10 ans) pour bien circonscrire les sites d'intérêt écologiques (e.g. zones de nourriceries). Le suivi pourrait se réaliser principalement au printemps et en été (de mars à septembre).

Afin d'avoir une meilleure vision des espèces fréquentant l'estran sableux mais aussi des **migrations des espèces entre la zone subtidale et l'intertidale**, il serait nécessaire de mettre en place un échantillonnage à marée haute à l'aide d'un petit chalut tracté par une petite

embarcation type Zodiac. Ce type d'échantillonnage est par exemple déjà mis en place dans le cadre des suivis DCE en estuaire.

Les pressions naturelles pouvant affecter l'estran sableux sont principalement liées au réchauffement climatique et la montée des eaux qui peuvent modifier les conditions hydroclimatiques et les limites de l'estran sableux. Par ailleurs, le long des côtes de la Manche, le bloom de *Phaeosystis globossa* (vers de mai) qui se développe plus ou moins intensément selon les années au printemps. Ces évolutions naturelles pourraient avoir des conséquences plus ou moins importantes sur les espèces fréquentant l'estran selon leur tolérance aux conditions environnementales. Il serait intéressant de mettre en place des études (suivies à long terme sur certains sites) pour **analyser les effets de ces changements environnementaux** et les mesures susceptibles d'être mises en place.

Il est également important de prendre en considération les **pressions anthropiques exercées** sur les nourriceries et les espèces d'intérêt halieutique qui fréquentent l'estran sableux (Le Guyader et al., 2017), notamment lors des périodes de reproduction et de recrutement qui ont lieu essentiellement au printemps et au début de l'été. Dans la zone d'étude, les pressions anthropiques sont principalement liées aux activités récréatives et de loisirs pratiquées sur l'estran (tourisme, activités sportives, pêche à pied, ..) qui ont lieu principalement au printemps et en été. Même si ces périodes correspondent avec les périodes où la diversité et l'abondance des espèces qui fréquentent l'estran sont les plus fortes, il est difficile d'en estimer les effets. Des études sur **les impacts de la pêche à la crevette sur les juvéniles de poissons** au sein du parc marin sont nécessaires pour mieux cadrer cette activité. Les résultats que l'on a obtenus sur les macrodéchets collectés sur l'estran, soulignent l'importance des filets et fils de pêche ainsi que des emballages et des morceaux de plastiques. Il est aujourd'hui connu que ces plastiques se dégradent en microplastiques (plastiques de taille < 5 mm) et que ces derniers sont ingérés par de nombreux organismes marins. Une étude récente réalisée dans les estuaires de la Manche a montré que les juvéniles de poissons consomment ces microplastiques (Kazour et al., 2018). Ce qui est également le cas des moules et des coques (Hermabessiere et al., 2019). Les impacts de ses microplastiques sur les organismes sont encore peu connus (Seuront 2018). Il serait intéressant de réaliser une étude pour **évaluer les niveaux de contamination en microplastiques sur l'estran sableux et les risques associer** sur les espèces fréquentant ce milieu.

Références bibliographiques

- Able, K.W., 2005. A re-examination of fish estuarine dependence: Evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64, 5-17.
- Allain, Y-M., Helias, A., Ribiere, G., 2006. La gestion des estuaires dans une approche communautaire. Rapport du ministère des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer, 68.
- Amara, R., 2002. Localisation et diagnostic de l'état de santé des nourriceries d'espèces d'intérêts halieutiques en Manche orientale et sur le littoral atlantique. Contrat MATE. 125pp.
- Amara, R., 2003. Seasonal Ichthyodiversity and Growth Patterns of Juvenile Flatfish on a Nursery Ground in the Southern Bight of the North Sea (France). *Environmental Biology of Fishes* 67(2): 191-201.
- Amara, R., 2004. O-group flatfish growth conditions on a nursery ground (bay of Canche, Eastern English Channel). *Hydrobiologia*, 518, 23-32.
- Amara, R., 2011 Impact de la pollution sur les écosystèmes côtiers : exemple de la Manche orientale. VertigO. la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 9.
- Amara, R., Cornille, V., 2003. Mise à jour de l'inventaire des poissons du littoral Nord-Pas-de-Calais. *Revue des travaux de la station marine de Wimereux*, 25 : 12-17.
- Amara, R., Paul, C., 2003. Seasonal patterns in the fish and epibenthic crustaceans community of an intertidal zone with particular reference to the population dynamics of plaice and brown shrimp. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*.56: 809-820.
- Beisel, J. N., Thomas, S., Usseglio-Polatera, P., Moreteau, J-C., 1996. Assessing changes in community structure by dominance indices: a comparative analysis. *Journal of Freshwater Ecology*, Vol 11, Issue 3, 291-299p.
- Benazza, A., Selleslagh, J., Breton, E., Rabhi, K., Cornille, V., Bacha, M., Lecuyer, E., Amara, R., 2015. Environmental Control on Fish and Macrocrustacean Spring Community-Structure, on an Intertidal Sandy Beach. *Plos One* 10 : e0117220.
- Beyst, B., Hostens, K., Mees, J., 2001 Factors Influencing Fish and Macrocrustacean Communities in the Surf Zone of Sandy Beaches in Belgium: Temporal Variation. *Journal of Sea Research* 46, 281-294.
- Blaber, S.J.M., Blaber, T.G., 1980. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. *Journal of Fish Biology* 17, 143-162.
- Campos, J., Bio, A., Cardoso, J., Dapper, R., Witte, J.I., 2010. Fluctuations of brown shrimp *Crangon crangon* abundance in the western Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 405, 203-219.

-
- Clarke, K.R., Warwick, R.M., 2001. Change in marine communities : an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd ed. Plymouth.
- Costa, M.J., Cabral, H.N., Drake, P., Economou, A.N., Fernandez-Delgado, C., Gordo, L., Marchand, J., Thiel, R., 2002. Recruitments and production of commercial species in estuaries. In: Elliott, M., Hemingway, K.L. (Eds.), Fishes in estuary. Blackwell Science Ltd, 54-123.
- Delage, N., Guitton, J., Le Pape, O., 2016. Zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française. Première partie : Définitions, critères d'importance et méthode pour déterminer des zones d'importance à protéger en priorité. Rapport d'étude. Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°44, 30 p.
- Frontier, S., 1983. L'échantillonnage de la diversité spécifique. In: Stratégies d'échantillonnage en écologie, pp 416-436. Ed. par S. Frontier. Paris: Masson-Presses de l'université Laval.
- Gibson, R.N., 2003. Go with the flow. Tidal migration in marine animals. *Hydrobiologia*, 503, 153-161.
- Gibson, R.N., Ansell, A.D., Robb, L., 1993. Seasonal and annual variations in abundances and species composition of fish and macrocrustacean communities on a Scottish sandy beach. *Marine Ecology Progress Series* 98, 89-105.
- Gibson, R.N., Yoshiyama, R.M., 1999. Intertidal fish communities. *In* Intertidal fishes — life in two worlds. Edited by H.H. Horn, K.L.M. Martin, and M.A. Chotkowski. San Diego, Calif. pp. 264–296.
- Guérault, D., Désaunay, Y., Lecomte Finiger, R., Grellier, P. and Beillois, P., 1995. Biometry and otolithometry of *Anguilla anguilla* (L.) glass eels: towards a model for seasonal variation. In VIII th SEI Congress, OVIEDO, 8p.
- Harley, X., Koubbi, P., Grioche, A., 2001. Ecology of plaice (*Pleuronectes platessa*) in fish assemblage of beaches of the Opale Coast (North of France) during spring 1997. *Cybum*, 25, 67-80.
- Hermabessiere, L., Paul-Pont, I., Cassone, A. L., Himber, C., Receveur, J., Jezequel, R., ... & Huvet, A. (2019). Microplastic contamination and pollutant levels in mussels and cockles collected along the channel coasts. *Environmental Pollution*, 250, 807-819.
- Hurlbert, S. H., 1971. The Nonconcept of Species Diversity: A Critique and Alternative Parameters. *Ecology* 52, 577.
- ICES, 1986. Fifth report on the Benthos Ecology Group. I.C.E.S, Ostende, 12-15 may, CM, 27, 33.

- Kazour, M., Jemaa, S., El Rakwe, M., Duflos, G., Hermabassiere, L., Dehaut, A., ... & Amara R. (2018). Juvenile fish caging as a tool for assessing microplastics contamination in estuarine fish nursery grounds. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-12.
- Lazzari, M.A., Sherman, S., Brown, C.S., King, J., Joule, B.J., Chenoweth, S.B., Langton, R.W., 1999. Seasonal and annual variations in abundance and species composition of nearshore fish communities in Maine. *Estuaries* 22, 636-647.
- Lazzari, M.A., Sherman, S., Kanwit, J.K., 2003. Nursery use of shallow habitats by epibenthic fishes in Maine nearshore waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56, 73-84.
- Le Guyader, D., Jannic, N., Harlay, X., 2017. Référentiel local des pressions exercées sur les espèces et le milieu littoral et marin par les activités de loisir sur le territoire du Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale. Terra Maris / PNM EPMO - AFB.
- Le Luherne, E., Réveillac, E., Ponsero, A., Sturbois, A., Ballu, S., Perdriau, M., Le Pape, O., 2016. Fish community responses to green tides in shallow estuarine and coastal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 175, 79-92.
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR, an R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software* 25, 1–18.
- Lebot, C., 2016. Valorisation des données de pêche au filet fixe et perspectives d'amélioration des connaissances sur les activités de pêche de loisir (Rapport de stage de Master 2.). Par, Boulogne-sur-Mer.
- Manné, S., 2007. Evaluation de l'erreur de détermination des espèces lors des échantillonnages piscicoles. Conseil supérieur de la pêche, protection des milieux aquatiques, 58p.
- McIntosh, R. P., 1967 An Index of Diversity and the Relation of Certain Concepts to Diversity. *Ecology* 48, 392–404.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Wagner, H., 2013. Package 'Vegan'. *R Packag ver* 254, 20–8.
- Regimbart, A., Guitton, J., Le Pape, O., 2018. Zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française. Deuxième partie : Inventaire. Rapport d'étude. Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°46, 175 p.
- Santos, R.S., Nash, R.D.M., 1995. Seasonal changes in a sandy beach fish assemblage at Portp Pim, Faial, Azores. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 41, 479-591.

-
- Seitz, R.D., Wennhage, H., Bergström, U., Lipcius, R.N., Ysebaert, T., 2014. Ecological value of coastal habitats for commercially and ecologically important species. *ICES Journal of Marine Science* 71, 648–665.
- Selleslagh, J., Amara, R., 2008a. Inter-season and interannual variations in fish and macrocrustacean community structure on a eastern English Channel sandy beach: Influence of environmental factors. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77, 721-730.
- Selleslagh, J., Amara, R., 2008b. Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (eastern English Channel). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79, 507-517.
- Seuront, L., 2018. Microplastic Leachates Impair Behavioural Vigilance and Predator Avoidance in a Temperate Intertidal Gastropod. *Biology Letters* 14, 20180453.
- Short, A.D., 1999. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*: John Wiley & Sons.
- Suthers, I. M., 1998. Bigger? Fatter? Or Is Faster Growth Better? Considerations on Condition in Larval and Juvenile Coral-Reef Fish. *Australian Journal of Ecology* 23, 265–273.
- Sutton, S. G., Bult, T. P., Haedrich, R. L., 2000. Relationships among Fat Weight, Body Weight, Water Weight, and Condition Factors in Wild Atlantic Salmon Parr. *Transactions of the American Fisheries Society* 129, 527–538.
- Thiel, R., Sepulveda, A., Kafeman, R., Nellen, W., 1995. Environmental factors as forces structuring the fish community of the Elbe estuary. *Journal of Fish Biology* 46, 47-69.
- Van der Veer H.W., Bergman, H., Bergmann, M., 1986. Development of Tidally Related Behaviour of a Newly Settled 0-Group Plaice (*Pleuronectes Platessa*) Population in the Western Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 31, 121–129.
- Van der Veer, H.W., Bergman, M.J.M., 1987. Predation by crustaceans on a newly settled 0-group plaice *Pleuronectes platessa* populations in the Western Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 35, 203-215.
- Van der Veer, H.W., Bergman, M.J.N., Dapper, R., Witte, J.I.J., 1991. Population dynamics of an intertidal 0-group flounder *Platichthys flesus* population in the western Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 73, 141-148.

Annexe:



Les poissons de la zone intertidale de la Côte d'Opale



UNIVERSITÉ DU LITTORAL CÔTE D'OPALE



Famille Ammodytidae
1 : Lançon écuille *Ammodytes tobianus* Linnaeus, 1758

Famille Atherinidae
2 : Athérine *Atherina presbyter* Cuvier, 1829

Famille Gasterosteidae
3 : Epinoche *Gasterosteus aculeatus* (Bonaparte, 1831)

Famille Trachinidae
4 : Petite vive *Echiichthys vipera* (Cuvier, 1829)

Famille Clupeidae
5 : Sprat *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758)

Famille Mugilidae
6 : Mulet *Mugilidae sp.*

Famille Syngnathidae
7 : Syngnathe aiguille *Syngnathus acus* Linnaeus, 1758

Famille Moronidae

8 : Bar *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758)

Famille Gobiidae
9 : Gobie tacheté *Pomatoschistus microps* (Krøyer, 1838)
10 : Gobie transparent *Aphia minuta* (Risso, 1810)
11 : Gobie buhotte *Pomatoschistus minutus* (Pallas, 1770)

Famille Blenniidae :
12 : Blennie *Lipophrys pholis* (Linnaeus, 1758)

Famille Soleidae
13 : Sole commune *Solea solea* (Linnaeus, 1758)

Famille Pleuronectidae
14 : Plie commune *Pleuronectes platessa* Linnaeus, 1758
15 : Flet commun *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758)

Famille Scophthalmidae
16 : Turbot *Scophthalmus maximus* (Linnaeus, 1758)
17 : Barbue *Scophthalmus rhombus* (Linnaeus, 1758)



Agence des
aires marines protégées

M-A. LEPRÊTRE J. DENIS K. RABHI R. AMARA



Parc naturel marin
Estuaires picards
Mer d'Opale

Annexe I : Planche des poissons qui fréquentent la zone intertidale de la Côte d'Opale.