

CARACTÉRISATION DES INTERACTIONS ENTRE ACTIVITÉS HUMAINES AUTORISÉES ET PATRIMOINE NATUREL

DE LA RÉSERVE NATURELLE NATIONALE DU BANC D'ARGUIN (GIRONDE)

AFIN DE RÉPONDRE À DES ENJEUX DE GESTION ET DE CONSERVATION

Aurélia PUERTA - Stage effectué du 15/03 au 11/08/2023

**sous la direction scientifique
de M. Benoît DUMEAU, conservateur de la réserve
et de Yann LALANNE, tuteur universitaire**

Remerciements

Je suis très reconnaissante d'avoir effectué ce stage dans un tel espace naturel protégé et je suis pleine de gratitude pour la nature et les organismes vivants qui la composent, et que j'ai eu la chance de côtoyer. En espérant que mon bref passage puisse les aider...

Je tiens à remercier le conservateur de la Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin, Benoît Dumeau, qui m'aura cousu ce stage sur mesure, et qui est un leader fédérant son équipe grâce à des valeurs humaines inclusives et bienveillantes, et ce avec le concours du directeur de la SEPANSO Aquitaine, Xavier Chevillot.

Je remercie toute la fabuleuse équipe de la Réserve : François avec qui j'ai eu plaisir à faire du terrain et que j'ai souvent sollicité dans mon travail, notamment pour mes analyses statistiques (et pour ses blagues) – Céline pour sa bienveillance, son énergie, et avec qui j'ai eu plaisir à faire des animations – Adrien pour les suivis ornithologiques, ses connaissances, son goût pour tout ce qui vit, sa bonne humeur et son amitié – Marion pour sa bienveillance, son caractère et son attention particulière au bien-être du groupe – Bérénice avec qui nous aurons partagé de bons moments et qui m'aura grandement aidé à s'évertuer à chercher des interactions positives entre l'homme et la biodiversité – Darius, en stage également et qui m'aura beaucoup aidé, notamment pour les préparatifs, le terrain et la partie en laboratoire d'un des protocoles effectués – Corentin, en stage de BTS GPN et avec qui j'aurais animé sur le banc avec des enfants – Mélanie, garde animatrice, avec qui j'aurais eu grand plaisir à travailler, je garderais un super souvenir de cette après-midi de mission de police sur le semi-rigide et pour ses valeurs et son intégrité – Florian, garde animateur, qui m'aura aussi été d'une précieuse aide pour cette journée de laboratoire qu'il aura effectuée pour moi, et pour sa bonne humeur – Jérémy, garde animateur, qui aura amené de la sympathie en rejoignant l'équipe en place.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes extérieures à la SEPANSO et qui m'auront aidé de diverses manières : Guillaume Bernard, écologue benthique à la station Marine de l'Ifremer du Bassin d'Arcachon, que j'aurais rencontré et qui m'aura aidé dans l'urgence à préparer un protocole et à l'adapter au contexte si particulier de la Réserve – IZARD Charlotte, chargée de mission biodiversité Natura 2000 au Syndicat Mixte de la Ria d'Etel, avec qui j'aurais eu un entretien au sujet du protocole OPHZ'S – Hélène Maheo, Conservatrice de la RNN de la Mer d'Iroise (OFB) et Pascal Provost, Conservateur de la RNN des Sept-Iles (LPO) avec qui j'aurais échangé, afin d'identifier des initiatives mises en place sur leur Réserve respective – Thomas Fauvel, chargé de mission et Caroline Bontet, chargée de missions Activités nautiques et de loisir, tous deux du Parc Naturel Marin du Bassin d'Arcachon (OFB), pour nos échanges.

Je n'oublie pas l'équipe universitaire : mon tuteur Yann Lalanne, qui m'aura suivi pendant toute la durée de mon stage et qui m'aura aidé pour mes analyses statistiques – Charlotte Récapet qui m'aura également aidé pour cette même mission.

Je remercie enfin chaleureusement mes proches : Mes parents, pour leur soutien inconditionnel tout au long de cette licence, leur toit et leur patience – mes amies Marion, Aurélia et Céline qui m'ont rappelé d'y croire – mes compagnons de promo, cette équipe de choc – le couple de retraités qui m'aura hébergé sur Arcachon – et mon compagnon de vie Fabien, qui aura été d'un soutien infaillible, une épaule durant toute cette année de licence, d'une aide inespérée pour cette dernière ligne droite que constitue ce rapport et la soutenance et qui aura accepté cette vie à trois (avec ce rapport à rédiger).

1. Avant propos

Le présent dossier est le résultat du travail effectué dans le cadre de mon stage universitaire de Licence 3 professionnelle en Biologie Appliquée aux Écosystèmes Exploités, que j'ai réalisé au campus Montauray d'Anglet, rattaché à l'UPPA de Pau et des Pays de l'Adour.

Le conservateur de la Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin, Benoit Dumeau, m'a proposé de travailler sur « les interactions entre les activités humaines aujourd'hui autorisées et le patrimoine naturel de la Réserve ».

A l'heure d'aujourd'hui, certaines activités sont autorisées et/ou non interdites sur la Réserve. Elles sont définies et cadrées dans différents décrets et arrêtés pris par l'administration, et ce, en adéquation avec le nouveau Plan de gestion en cours d'écriture (2022-2031). Toutefois, un nouveau décret est paru en 2022, portant sur les Zones de Protection Forte, et que je présenterai plus en détails dans ce dossier. Il vient rappeler la teneur des enjeux de conservation sur la Réserve et vient questionner la mission de gestion. En effet, les activités aujourd'hui autorisées sont-elles vraiment sans effet sur la biodiversité du site ? A partir de ce questionnement, il convient de vérifier plusieurs points. C'est dans ce contexte-là que les différentes missions, qui m'ont été confiées, s'inscrivent.

La première consiste à réaliser une « synthèse bibliographique scientifique sur les interactions entre activités humaines et le patrimoine naturel ». Pour cela, il est au préalable nécessaire d'identifier les groupes taxonomiques et espèces concernés, puis de caractériser les usages qui interagissent avec.

La deuxième mission consiste à définir comment « mesurer les impacts des pressions anthropiques sur le patrimoine naturel de la Réserve » : autrement dit, trouver des indicateurs appropriés. Pour cela plusieurs protocoles peuvent être mis en place. Un seul réalisé pendant mon stage, sera présenté dans ce travail.

Une troisième mission m'a été proposée : réaliser des « analyses statistiques portant sur la fréquentation par les embarcations et les infractions relevées sur la Réserve », par le gestionnaire. Ce travail met en lumière un outil de décision très intéressant pour les gestionnaires en général.



Les « résultats » pour ces trois missions, sont présentés dans une partie dédiée.

Enfin, je présente, notamment, dans la partie « discussion » les limites de l'actuelle gestion du site, les pistes d'amélioration et les initiatives d'autres espaces protégés, pour réduire les impacts de ces interactions sur la biodiversité. Ce qui replace totalement mon travail dans le contexte présenté dans cet avant-propos, à savoir celui du décret portant sur les Zones de Protection Forte, et qui rappelle que les enjeux de conservation de la biodiversité sont une priorité.

2. Gestionnaire de la RNN : la SEPANSO Aquitaine

En 1966, une colonie d'un millier de couples de Sternes caugeks tentera de nidifier sur le Banc d'Arguin, mais fera malheureusement les frais de certains plaisanciers qui auront la bonne idée de se jeter leurs œufs, méconnaissant alors les forts enjeux de conservation naissant sur ce site. Ce sont des passionnés naturalistes et des universitaires qui alerteront sur ce malheureux incident, sous la coordination de l'Institut de Biologie Marine de l'Université de Bordeaux I. L'espèce ne sera protégée qu'à partir de 1981. C'est dans ce contexte urgent, de destruction de nids et de dérangements anthropiques répétés, que la Fédération associative SEPANSO Aquitaine est créée en 1969, dont l'objectif principal est à l'époque de donner rapidement au Banc d'Arguin un statut de protection forte.

Il faudra attendre l'arrêté ministériel du 4 août 1972, pour que le Banc d'Arguin soit enfin classé Réserve Naturelle Nationale (RNN). Cet arrêté ministériel fera de la SEPANSO le gestionnaire. Dès lors, la Réserve est devenue un site d'importance nationale et internationale pour la préservation de l'avifaune, au moment de la nidification, de l'hivernage ou encore de la migration. Cela est notamment permis grâce à la préservation de ses habitats dunaires (nidification), des habitats intertidaux abritant une faune sous-marine diversifiée (invertébrés, poissons...), nécessaire à l'alimentation des limicoles et des oiseaux marins, et à la quiétude du site (Zones de Protection Intégrale).

Reconnue d'utilité publique en 1982, la SEPANSO regroupe 5 associations départementales et 4 associations affiliées. **3 axes et 4 missions :**

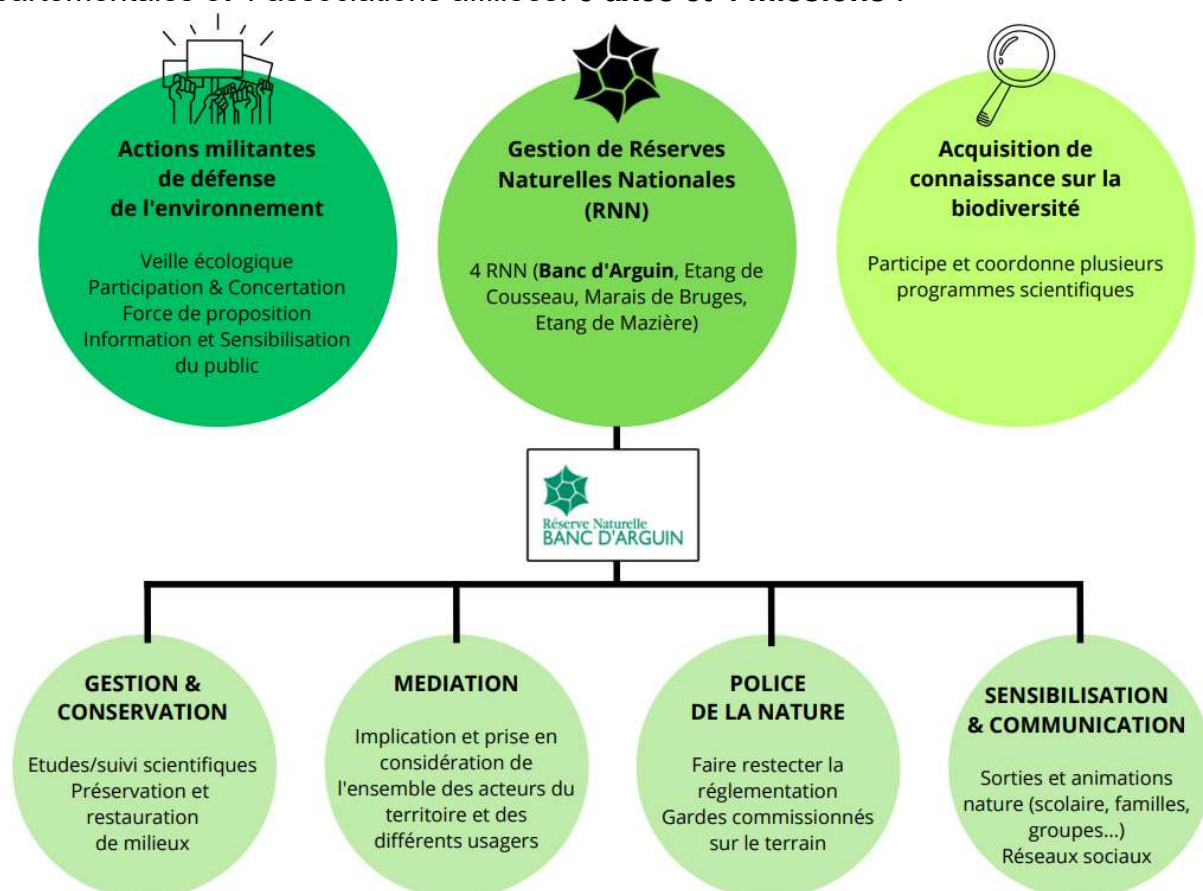


Figure 1 : Organigramme présentant les 3 axes de travail principaux de la SEPANSO, ainsi que les 4 missions sur la RNN du Banc d'Arguin.

Table des matières

1. Avant propos.....	4
2. Gestionnaire de la RNN : la SEPANSO Aquitaine.....	5
3. Introduction.....	8
3.1. Contexte.....	8
3.1.1. Statut de Réserve Naturelle Nationale.....	8
3.1.2. Description et localisation de la RNN.....	8
3.1.3. Désignation du gestionnaire et des comités associés.....	9
3.2. Plans de gestion et réglementation.....	10
3.2.1. Plans de gestion.....	10
3.2.2. Décrets et arrêtés.....	11
3.3. Enjeux.....	12
3.3.1. Patrimoine naturel de la RNN.....	13
3.3.2. Activités humaines autorisées sur la RNN.....	14
3.3.3. Des enjeux cumulés.....	15
3.4. Objectifs de la RNN.....	16
3.5. Mes missions et objectifs.....	16
4. Synthèse bibliographique scientifique sur les interactions entre activités autorisées sur la RNN et le patrimoine naturel.....	18
4.1. Notion d'interactions positives et négatives (définitions).....	18
4.2. Matériel et méthodes.....	19
4.2.1. Choix des groupes taxonomiques et des espèces.....	19
4.2.2. Caractérisation des usages concernés.....	20
4.2.3. Démarche et méthodologie.....	20
5. Zone d'étude, méthodologie et matériel.....	21
5.1. Mesurer l'impact des interactions : Protocoles mis en place sur la Zostera marina.....	21
5.1.1. Objectifs.....	21
5.1.2. Site d'étude.....	21
5.1.3. Temporalité.....	22
5.1.4. Cadre juridique.....	22
5.1.5. Préparation et matériel.....	22
5.1.6. Réalisation.....	23
5.2. Analyses statistiques sur les infractions commises sur la RNN.....	25
5.2.1. Corrélation entre le nombre de bateaux qui fréquentent le périmètre de la Réserve et le nombre d'infractions relevées.....	26
5.2.2. Seuil de fréquentation et d'infractions.....	26
6. Résultats.....	28
6.1. Synthèse bibliographique scientifique sur les interactions entre activités autorisées sur la RNN et le patrimoine naturel.....	28
6.2. Mesurer l'impact des interactions : Protocoles mis en place sur la Zostera marina.....	30
6.3. Analyses statistiques sur les infractions commises sur la RNN.....	31

6.3.1. Corrélation entre le nombre de bateaux qui fréquentent le périmètre de la Réserve et le nombre d'infractions relevées.....	31
6.3.2. Seuil de fréquentation et d'infractions.....	33
7. Discussion.....	35
8. Conclusion.....	39
9. Références bibliographiques.....	40
10. Table des figures.....	52
11. Annexes.....	53
12. Résumé.....	90

3. Introduction

3.1. Contexte

3.1.1. Statut de Réserve Naturelle Nationale

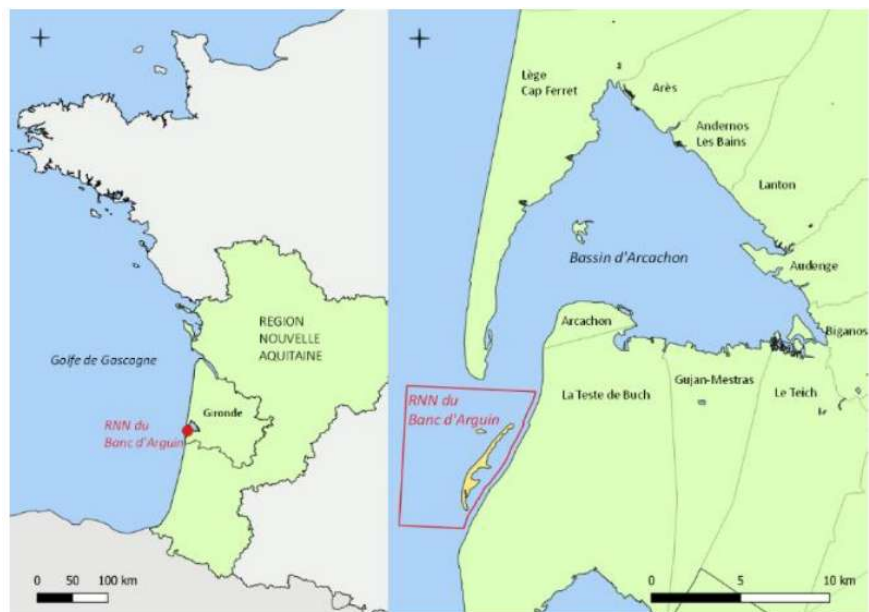
Le **statut de protection d'une RNN** est aujourd'hui le **plus fort en France**, avec celui des Parcs nationaux.

Selon l'article L332-2 du code de l'environnement, « *Le classement d'une réserve naturelle nationale est prononcé pour assurer la conservation d'éléments du milieu naturel d'intérêt national ou la mise en œuvre d'une réglementation européenne ou d'une obligation résultant d'une convention internationale.* »

L'article L. 332-1 du code de l'environnement prévoit quant à lui que : « *Des parties du territoire terrestre ou maritime d'une ou de plusieurs communes peuvent être classées en réserve naturelle lorsque la conservation de la faune, de la flore, du sol, des eaux, des gisements de minéraux et de fossiles et, en général, du milieu naturel présente une importance particulière ou qu'il convient de les soustraire à toute intervention artificielle susceptible de les dégrader.* »

3.1.2. Description et localisation de la RNN

La Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin se situe dans le département de la Gironde, en Nouvelle Aquitaine, au sud de l'embouchure du Bassin d'Arcachon, exactement en face de la Dune du Pilat. Localisée au centre de ce qu'on appelle la Côte d'Argent, qui s'étend de l'estuaire de la Gironde à celui de l'Adour au Pays basque, elle borde également le massif forestier des Landes de Gascogne. D'une surface



d'environ **4360 hectares**, **Figure 2 – Localisation géographique de la RNN du Banc d'Arguin** et d'une longueur d'environ (SEPANSO)

5,3 km, la réserve est constituée à la fois d'un ensemble de bancs de sables, qui fluctue selon les années, et de colonnes d'eau. Le tout relève du domaine public maritime, donc de l'État. Elle englobe plusieurs bancs, dont les deux principaux sont ceux d'Arguin et du Toulinguet. Ces bancs de sable sont en permanence sous l'effet d'une **dynamique géomorphologique** propre au secteur. En effet, ces bancs sont remaniés sous l'effet de l'apport de sédiments, des courants de marée mais aussi de la houle.

La RNN du Banc d'Arguin est concernée par différents zonages, avec différentes portées juridiques complémentaires, scellées par des arrêtés. La RNN est en effet comprise dans le **Parc naturel marin du Bassin d'Arcachon** (PNMBA). Cette aire marine protégée, créée en 2014, a une superficie de 435 km². La réserve est également concernée par : **deux sites Natura 2000** du Bassin d'Arcachon : la **Zone de Protection Spéciale du « Bassin d'Arcachon et du Banc d'Arguin »**, ainsi que la **Zone Spéciale de Conservation du « Bassin d'Arcachon et du Cap Ferret »** – une **ZNIEFF I** (Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique de type I) – une **ZICO** (Zone d'Importance pour la Conservation des Oiseaux) – une **Zone marine protégée** (OSPAR). (**Annexe 1** - Cartes des zonages du PNM et des sites Natura 2000)

Zones de Protection Intégrale (ZPI) : La RNN, quant à elle, comprend aussi des zonages spécifiques aux réserves, à savoir celui des **Zones de Protection Intégrale**. La RNN en compte 3, soit une surface de 220ha en 2022, sur 4360 ha de réserve. Contrairement au reste de la RNN où certaines activités sont autorisées et/ou non interdites, l'accès aux ZPI est totalement interdit au public. Selon l'article 6 du décret de 2017 « **portant extension et modification de la réserve naturelle nationale du banc d'Arguin** », la **superficie des ZPI ne peut pas faire moins de 100 ha et les** seules exceptions d'activités autorisées sont :

- des opérations réalisées par le gestionnaire dans le cadre de la mise en œuvre du plan de gestion de la réserve ;
- des activités de police et de secours ;
- des travaux et des activités scientifiques soumis à autorisation préfectorale.

Le Banc d'Arguin, étant, comme expliqué précédemment en perpétuelle évolution, le périmètre de ces ZPI fluctue aussi. Ainsi chaque année, un nouvel arrêté définissant la nouvelles délimitation est pris. Cela permet de coller aux enjeux de conservations de la réserve et aux conditions abiotiques prépondérantes à un banc de sable changeant. (**Annexe 2** – Cartes de l'évolution du Banc d'Arguin entre 1950 et 2021)

(**Annexe 3** – Carte des zonages et réglementation de la RNN du Banc d'Arguin – 2023)

Zone de Protection Renforcée (ZPR) : Cela comprend l'ensemble des terres émergées à marée haute de coefficient 45 et ce, dans une rayon de 1 mille nautique, à l'intérieur du périmètre global de la RNN. Il peut être réactualisé chaque année par arrêté préfectoral.

Zone d'Implantation Ostréicole (ZIO) : En dehors des ZPI, l'activité ostréicole est autorisée sur 3 ZIO d'un seul tenant chacune, définies par arrêté préfectoral. La surface totale ne peut pas excéder 45 hectares. Une autorisation d'exploitation est délivrée pour une durée de 5 ans renouvelable.

3.1.3. Désignation du gestionnaire et des comités associés

Le **code de l'environnement** impose la **désignation d'un gestionnaire** chargé d'assurer la surveillance, et de mettre en place la gestion et l'animation du site. Une convention est alors passée, après avis du comité consultatif, entre les services de l'État et le dit-gestionnaire. C'est ce que prévoit l'**article R.332-19**. L'**association SEPANSO Aquitaine** (Fédération des Sociétés pour l'Étude, la Protection et l'Aménagement de la Nature dans le Sud-Ouest), **créée en 1969**, est à l'origine de la mise en Réserve naturelle nationale. Ce statut sera scellé le **4 août 1972**, par la signature d'un **arrêté ministériel** portant création de RNN, faisant alors de la SEPANSO le gestionnaire.

Un **Comité consultatif de gestion**, présidé par le Préfet de département, donne son avis une à deux fois par an sur les projets de délimitation et de réglementation des zones de mouillage diurne des navires, engins nautiques et de plage. (**Annexe 4 – Composition du Comité consultatif de gestion**). Composé de 28 membres et appartenant à 5 collèges différents, ce comité consultatif est à l'image de la complexité d'un tel espace protégé. Le gestionnaire et les services de l'État doivent composer avec des acteurs socio-économiques variés du territoire, avec différents types d'usagers et prendre des mesures adaptées, par arrêtés notamment, afin de faire concilier usages et enjeux de conservation. Même si ces enjeux sont la priorité sur une RNN, ils ne peuvent être atteints sans tenir compte de ces acteurs, qui pour une grande majorité étaient présents bien avant la création de la RNN.

Un **Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel** (CSRPN), composé de 50 membres (de différentes disciplines des sciences de la vie et de la terre), occupe le rôle de conseil scientifique. Ce CSRPN, dont la nomination des membres est établie par arrêté préfectoral du 1^{er} juin 2022, aide le gestionnaire du site, ainsi que le Comité consultatif de gestion et donne son avis sur le Plan de gestion de la Réserve.

Un **Comité de gisement de la Réserve** existe également depuis 2020. Il organise le suivi des populations de bivalves fouisseurs et s'inscrit dans le cadre d'un arrêté portant autorisation de la pêche maritime dans la Réserve.

3.2. Plans de gestion et réglementation

3.2.1. Plans de gestion

La **réalisation d'un plan de gestion** pour une RNN est une **obligation** que prévoit le code de l'environnement depuis le **décret n°2005-491 du 18 mai 2005**. Il est arrêté pour une durée de **5 ans**, rédigé par le gestionnaire en charge de la RNN, présenté pour avis au comité consultatif de gestion et au comité scientifique de la Réserve et soumis aux services de l'État. Ce plan est ensuite signé par le préfet de département concerné.

En **1995**, un 1^{er} plan de gestion est rédigé, mais ne sera pas abouti, en raison de l'apparition de nouvelles pressions anthropiques. En **2005**, un plan de gestion transitoire est approuvé par le Ministère en charge de l'Environnement. Entre 2005 et le plan de gestion suivant, des modifications ont été apportées avec un nouveau décret du **10 mai 2017**, portant sur l'extension et la modification de la RNN du Banc d'Arguin, agrandissant ainsi le périmètre des ZPI et réduisant la zone occupée par l'ostréiculture. Depuis ce décret, chaque année des arrêtés sont pris afin de mettre à jour la surface et la délimitation des ZPI. En effet, le banc est en perpétuelle évolution. Il est donc nécessaire pour répondre aux enjeux de conservation, de coller aux changements abiotiques du milieu. Ainsi la surface des ZPI a progressivement augmenté ces dernières années, et celle des parcs ostréicoles réduit, couvrant quant à eux à peu près 45 ha.

Un **nouveau plan de gestion**, qui fait suite au décret de 2017, est en cours de finalisation d'écriture pour la **période 2022-2031**. Il suit la nouvelle **méthodologie CT88**, intitulé « Guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels », et édité par l'OFB.

- La première partie du plan de gestion fait un « **diagnostic** » de la Réserve. Elle présente un **état des lieux** et met en évidence l'ensemble **des enjeux écologiques du site**.
- La seconde partie traite de la « **gestion** » du site. Elle présente les **objectifs de gestion à long terme** (OLT). Y sont détaillés des **objectifs opérationnels** et des **opérations associées**, à court et moyen terme.

Pour rappel, la RNN du Banc d'Arguin est comprise dans le périmètre du Parc naturel marin du Bassin d'Arcachon (PNMBA). Les zonages administratif de protection se superposant, le plan de gestion de la réserve doit donc être **complémentaire à celui du PNMBA**, puisque leurs objectifs convergent, en terme de conservation du patrimoine naturel. C'est pourquoi chaque plan de gestion est également **soumis à l'avis du Comité de gestion du PNMBA**.

3.2.2. Décrets et arrêtés

Plusieurs décrets et arrêtés préfectoraux et ministériels sont à l'origine de la création de la **RNN du Banc d'Arguin**, de la création des **Zones de Protection forte (ZPI)**, **Zones de Protection Renforcée (ZPR)**, **Zones de Protection Forte (ZPF)**, **Zones d'Implantation Ostréicoles (ZIO)**, **zones de mouillage autorisées**. D'autres arrêtés portent sur l'encadrement de la **pêche de loisir et professionnelle**.

« Dans la hiérarchie des normes, le **décret** est un acte réglementaire et non pas législatif. C'est un acte de l'exécutif (le président de la République ou le Premier ministre) qui doit se conformer à la loi votée par le Parlement.

On distingue deux types de décrets (**décrets d'application** et **décrets autonomes**), eux-mêmes hiérarchisés en trois catégories :

- les **décrets du Conseil des ministres** signés par le président de la République ;
- les **décrets en Conseil d'État** signés par le Premier ministre ;
- les **décrets simples**, également signés par le Premier ministre. »

« Les **arrêtés** sont des actes administratifs unilatéraux publiés notamment par des ministres, des préfets ou des maires. Ils doivent respecter certaines formes (mention des textes qui fondent l'arrêté, contenu et effets juridiques). Dans la hiérarchie des normes, les arrêtés sont inférieurs aux décrets. »

(Annexe 5 – tableau listant l'ensemble des arrêtés et décrets relatifs à la RNN du Banc D'Arguin)

Le décret qui nous intéresse tout particulièrement ici est celui portant sur les ZPF. Celui-ci est en quelque sorte le fil rouge du travail mené sur les interactions entre activités humaines et la patrimoine naturel du banc d'Arguin.

➔ **Décret ZPF**

Le **12 avril 2022**, un **nouvel décret** est paru, portant sur l'application de l'**article L. 110-4 du code de l'environnement** et **définissant la notion de protection forte** et les modalités de la mise en œuvre de celle-ci.

Ce décret s'inscrit dans la stratégie nationale des aires protégées qui vise **à couvrir 30 % de son territoire national** par un **réseau d'aires protégées**, dont **10 %** de ce même territoire **en protection forte**.

« Article 1er. – Est reconnue comme zone de protection forte une zone géographique dans laquelle les pressions engendrées par les activités humaines susceptibles de compromettre la conservation des enjeux écologiques sont absentes, évitées, supprimées ou fortement limitées, et ce de manière pérenne, grâce à la mise en œuvre d'une protection foncière ou d'une réglementation adaptée, associée à un contrôle effectif des activités concernées. »

Selon l'**article 3** de ce décret, les espaces maritimes compris dans les aires protégées, créés avant la date d'entrée en vigueur du présent décret ont un **délai de 24 mois** pour remplir les critères de l'article 4. La **RNN du Banc d'Arguin** a donc **jusqu'en avril 2024 pour être en conformité**.

Les parties des 3 critères présentés dans l'**article 4**, et correspondant à la RNN du Banc d'Arguin sont les suivants :

- Disposer de mesures de gestion ou d'une réglementation spécifique des activités ;
- Disposer d'objectif de protection, à travers un document de gestion (Plan de gestion de la Réserve) ;
- Bénéficier d'un dispositif opérationnel de contrôle des réglementations ou des mesures de gestion.

Ce nouveau décret, qui vient s'ajouter aux précédents décrets réglementant déjà la RNN et à son plan de gestion, ne vient pas ajouter grand-chose pour le moment, si ce n'est appuyer fortement le cadre existant et renforcer le caractère urgent du respect des enjeux de conservation du site. Si cela ne remet pas en question les OLT du plan de gestion, cela vient par contre accélérer l'atteinte des objectifs opérationnels, et pousse le gestionnaire à augmenter son niveau de connaissance et d'expertise sur la partie « diagnostic », de manière à éventuellement prendre des dispositions réglementaires.

Autrement dit, il revient au gestionnaire :

- 1) d'identifier les pressions engendrées par les activités humaines autorisées ou non ;
- 2) de mesurer les pressions engendrées sur la biodiversité (effets et impacts) ;
- 3) d'éviter/supprimer/fortement limiter ces pressions ;
- 4) d'adapter la réglementation (Plan de gestion, décrets, arrêtés...) ;
- 5) d'effectuer des contrôles.

C'est dans le cadre de ce décret ZPF que s'inscrit le travail qui va suivre.

(Annexe 6 – Décret du Ministère de la transition écologique, N° 2022-527, du 12 avril 2022, portant sur les Zones de Protection Forte)

3.3. Enjeux

La Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin est un site naturel remarquable à plus d'un titre. Isolée du continent, les différents bancs de sable qui la composent, ainsi que la colonne d'eau, sont constitués d'écosystèmes marins et terrestres précieux pour la conservation du vivant, notamment pour les espèces faunistiques et floristiques associées. Certains habitats et certaines espèces sont d'intérêt communautaire, d'autres sont

menacés ou rares et bénéficient de protection au niveau local jusqu'au niveau européen, voire même international. Les espèces étant indissociables des milieux dont elles dépendent, la conservation de la biocénose, au même titre que du biotope sont donc nécessaires.

3.3.1. Patrimoine naturel de la RNN

La Réserve comporte : des **habitats subtidaux et pélagiques**, qui se retrouvent en dessous du niveau de basse mer, étant en permanence immergés – des habitats intertidaux, qui se situent sur la zone d'estran, subissant les marées – des habitats dunaires et supralittoraux, qui se situent au dessus du niveau de la marée la plus haute, donc en permanence émergés. (**Annexe 7** – Détails des différents habitats et sous-habitats). L'essentiel de ces habitats sont d'intérêt communautaire au titre de la Directive Habitat Faune Flore (DHFF). L'état de conservation de 4 habitats est jugé mauvais et de 6 autres moyen. Sachant que cette diversité d'habitats permet de répondre aux différentes niches écologiques de nombreuses espèces, tout au long de leur cycle vital (site de reproduction, d'alimentation, de repos, de migration), ils nécessitent donc une vigilance particulière.

La **biocénose** qui habite ces écosystèmes est tout aussi remarquable. Nous trouvons en effet, sur le banc d'Arguin, de nombreux groupes taxonomiques. La **flore marine** abrite notamment des espèces en danger, comme la Grande Zostère (*Zostera marina*) et la Zostère naine (*Zostera noltii*). Les herbiers qu'elles constituent sont de véritables habitats pour de nombreux autres organismes vivants.



La **flore terrestre** est caractéristique des différents milieux dunaires, depuis la zone intertidale jusqu'à la dune fixée. De forts enjeux pèsent également sur les espèces telles que l'Euphorbe peplis (*Euphorbia peplis*) ou encore le Pourpier de mer (*Honckenya peploides*). Sur la Réserve, et au sein de ces deux groupes, on remarque que six espèces sont protégées au niveau départemental, régional, national ou européen, six sont menacées, et une n'a pas été observée entre 2010 et 2020.

La Réserve, depuis des décennies, joue un rôle essentiel pour l'**avifaune**, comme site de reproduction, de repos, d'hivernage, d'alimentation et de halte migratoire. 227 espèces d'oiseaux ont été inventoriées depuis sa création, dont 180 sont protégées au niveau national. Pour 16 espèces, le Banc d'Arguin est devenu un site de nidification clé (ex : Goéland brun, argenté, leucophaea, marin, d'Audouin, Huîtrier-pie, Gravelot à collier interrompu). 150 sont migratrices et 32 sont des hivernantes strictes.

Des **mammifères marins** ont fréquenté de manière régulière ou saisonnière le Bassin d'Arcachon. S'il n'y a plus de population résidente aujourd'hui, par manque de données sur le sujet, et part manque de niches écologiques leur correspondant, on sait toutefois que certaines espèces sont régulièrement observées. Ainsi, 13 espèces différentes de mammifères marins ont été inventoriées entre 2009 et 2020. Toutes ces espèces sont protégées en France métropolitaine, 4 sont menacées au niveau national et 4 ont un statut

de conservation jugé « défavorable mauvais » (DHFF) au niveau international (ex : Dauphin commun, Marsouin commun, Phoque gris).

258 espèces d'**invertébrés terrestres** ont été inventoriées : 229 espèces d'insectes, 23 d'araignées et 6 autres arthropodes. 29 espèces sont évaluées comme étant rares ou très rares en Gironde, voire en Aquitaine (ex : *Argiope lobata*, *Colletes halophilus*). Fait intéressant, 36 espèces sont halophiles. Tandis que la majorité de ces espèces est inféodée aux biocénoses des hauts de plage, les laisses de mer fraîches et bois enfuis constituent à la fois des lieux d'abris, de reproduction et d'alimentation, et les bois dits superficiels d'abris de jour (sécheresse). Les dunes végétalisées offrent des sites de ponte et des ressources trophiques. Seules deux espèces ont besoin de conditions très particulières et vivent dans la zone d'estran (ex : *Bledius subniger*).

La Réserve comporte 314 espèces d'**invertébrés marins**, représentant principalement 5 phylas : Mollusques (33%), Annélides (30%), Crustacés (25%), Echinodermes (6%) et Cnidaires (4%). La majorité de ces espèces sont à la base du réseau trophique (détritivores ou suspensivores). Et certaines sont prédatrices d'autres invertébrés. Assez communes sur le Banc d'Arguin, à l'exception de l'Huître plate (*Ostrea edulis*), les espèces de ce groupe taxonomique sont toutefois révélatrices de la qualité et de la diversité des milieux naturels et de la disponibilité des niches écologiques.

Environ 130 espèces de **poissons (ichtyofaune)** ont été inventoriées sur la Réserve, grâce à une étude des années 1990 et récemment grâce à des données transmises par les professionnels de la pêche. Ces données n'étant cependant pas exhaustives et sans précision géographique, il est difficile d'avoir une idée précise des espèces et de leur abondance. Il est toutefois possible d'identifier les différentes fonctionnalités et niches écologiques, à différents stades de vie, permises par ces habitats : site de résidence, zone de frayère, de nourricerie, couloir de migration (pour les espèces amphihalines comme *Anguilla anguilla*). Les herbiers (ex : *Zostera marina*), sont des exemples de sites intéressants en tant que lieu de vie et de reproduction pour certaines espèces déterminantes de l'inventaire ZNIEFF en Aquitaine (ex : *Hippocampus guttulatus* et *Hippocampus hippocampus*, espèces protégées).

(Annexe 8 – Listes non exhaustives d'espèces représentatives de certains groupes taxonomiques cités ci-dessus)

3.3.2. Activités humaines autorisées sur la RNN

Entre les années 1970, où la Réserve sera créée, et aujourd'hui, les activités humaines se sont développées, diversifiées et la fréquentation du site a considérablement augmenté. Le Banc d'Arguin accueille ainsi chaque année entre 250 et 300 000 visiteurs, pour l'essentiel durant l'été, et plus de 55 000 embarcations. La SEPANSO qui mesure les pics de fréquentation journaliers a relevé jusqu'à 936 embarcations en même temps sur la Réserve. Un certain nombre d'activités économiques et récréatives sont autorisées ou interdites sur la Réserve. Des arrêtés et décrets permettent de donner un cadre et de les définir. Il est toutefois nécessaire de préciser que ce sont les usages qui nous intéressent ici, plutôt que les activités en tant que tel. Certains peuvent impacter la biodiversité et aller à l'encontre des enjeux de conservation de la Réserve. Or, comme le rappelle le nouveau décret ministériel portant sur les Zones de Protection Forte, aucune atteinte ne doit être commise à l'encontre de la biodiversité du Banc d'Arguin.

Les **activités récréatives** sont variées. Les plaisanciers sont autorisés à **naviguer**, à **mouiller** sur des zones dédiées, et à **débarquer en accostant sur la plage**, et ce, de manière différenciée en fonction des périodes de l'année. Du 1^{er} novembre au 31 mars, la zone de mouillage est restreinte pour les oiseaux notamment, et pour des raisons de sécurité. Plus de 25500 navires de plaisance y jettent l'ancre chaque année. **La présence et le déplacement des piétons humains** sont autorisés sur le Banc d'Arguin, sans restriction de temps, si ce n'est entre le lever et le coucher du soleil et en se limitant aux zones hors ZPI, qui sont exclusivement dédiées à la conservation. La plongée bouteille, ainsi que la pêche de loisir embarquée sont également autorisées.

Les **activités économiques** concernent exclusivement la **pêche, la conchyliculture et le transport maritime de passager**. Chaque année, un arrêté pêche est pris afin d'autoriser et d'encadrer le chalutage, la pêche au filet, les casiers et nasses, le dragage de moules, les palangres. Les pêcheurs ont obligation de déclarer toutes leurs prises. La conchyliculture est également encadrée par l'arrêté « portant extension et modification de la RNN » du 11 mai 2017. Elle est limitée à 45 ha. **(Annexe 9)**.

Enfin, des **missions de gestion, de police, de sensibilisation et de communication** sont menées par la SEPANSO, désignée par l'État, afin : de mettre en place les mesures de conservation et de gestion prévues dans le plan d'action de la Réserve – de s'assurer du respect de la réglementation en vigueur, de renseigner les différents usagers et de relever et verbaliser les infractions – de sensibiliser les différents publics via des animations, des visites guidées et une cabane d'exposition. Sur une année moyenne, sont tenus 75 journées d'accueil et 150 accueils postés. Cela représente entre 5000 et 8000 personnes sensibilisées.

3.3.3. Des enjeux cumulés

En 1966, une colonie d'un millier de couples de Sternes caugeks tentera de nidifier sur le Banc d'Arguin, mais fera malheureusement les frais de certains plaisanciers qui auront la bonne idée de se jeter les œufs de Sternes, détruisant ainsi la colonie. C'est à compter de cet excès des humains que seront identifiés les premiers enjeux de conservation, et que suivront la création de la SEPANSO Aquitaine et protection de l'espèce. Aujourd'hui, la Réserve est entre autres devenu un site incontournable de nidification.

Pour le gestionnaire, le défi relève donc dans le fait de concilier les efforts de conservation du patrimoine naturel et l'ensemble des activités humaines autorisées. Depuis les années 1960, le nombre d'usagers a considérablement augmenté et les activités se sont diversifiées et se cumulent de telles sortes qu'ils exercent aujourd'hui des pressions importantes sur les milieux naturels et les espèces qui les composent. Or, la conservation de ce patrimoine naturel demeure la priorité pour une RNN. Pour que ces activités humaines puissent encore être autorisées, il revient donc à l'État et/ou au gestionnaire de les contrôler, de les mesurer et de les réguler, car la préservation de ce site en dépend, ainsi que notre survie à une autre échelle.

3.4. Objectifs de la RNN

Le **statut de protection d'une RNN** est aujourd'hui **le plus fort en France**, avec celui des Parcs nationaux. On compte au total 359 RNN, qui couvrent 171 198 809 ha. L'outil juridique que constitue une RNN permet en effet une protection forte, efficace et pérenne d'un espace naturel qui peut être fragile voire remarquable.

Les enjeux propres à la Réserve du Banc d'Arguin sont les suivants :

- la préservation d'un continuum significatif d'habitats naturels représentatifs du site et exempts d'atteintes par les activités humaines ;
- la restauration d'habitats naturels fortement dégradés par l'activité ostréicole ;
- la préservation de la faune et de la flore terrestres ou marines ;
- le maintien en bon état de conservation de populations d'espèces sauvages exploitées économiquement dans le cas où leur capture serait autorisée.

Les finalités de mise en réserve sont les suivantes :

- atteindre ou maintenir le bon état de conservation des espèces et des habitats (avec ou non des statut de protection) ainsi que des fonctionnalités écologiques et écosystémiques ;
- apporter une valeur ajoutée sociale, économique, scientifique et/ou éducative.

3.5. Mes missions et objectifs

Si le thème principal de mon stage de cinq mois a porté sur « les interactions entre activités humaines autorisées et le patrimoine naturel de la Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin », il ne faudrait pas en oublier le fil rouge qui contextualise et permet de soulever des questions. Ce travail s'inscrit en effet dans un contexte bien particulier : celui des Zones de Protection Forte (ZPF). Le décret concerné rappelle au gestionnaire qu'aucune pression humaine ne doit porter atteinte à la biodiversité de la Réserve et que la priorité est le respect des enjeux de conservation, avant celui des usagers. Mon travail vient donc questionner la compatibilité entre les différents usages et ce patrimoine naturel, au vu de la réglementation en vigueur. Les activités autorisées aujourd'hui sont-elles compatibles avec les objectifs de la Réserve ? Les mesures et décisions prises par les services de l'État sont-elles à la hauteur des enjeux ? S'il s'avérait que certains usages portaient atteinte aux objectifs de conservation et enfreignaient la réglementation, et notamment le décret portant sur les ZPF, l'État aurait pour responsabilité de prendre les mesures nécessaires, en prenant les arrêtés qui s'imposent. Or pour prendre de telles décisions, l'État a besoin d'éléments factuels, que seul le gestionnaire peut lui apporter par son expertise et son travail de terrain.

Le travail qui va suivre repose sur 4 missions :

La première (et la principale) de mes missions a consisté à réaliser une **synthèse bibliographique scientifique portant sur les interactions entre activités humaines actuellement autorisées et le patrimoine naturel de la RNN (Habitats, faune et flore)**. Cela signifie un travail sur l'ensemble des groupes taxonomiques représentés, à l'exception des champignons et des reptiles pour lesquels nous avons très peu de données sur la RNN.

Dans une seconde partie, sont abordés les **protocoles de suivi et de mesure de l'impact de ces interactions** pouvant être mis en œuvre. Un seul a été réalisé pendant la durée de

mon stage. L'objectif de tels protocoles est d'identifier les lacunes en matière de conservation et de législation.

Il a ensuite été question de référencer les **initiatives mises en place sur d'autres espaces naturels protégés pour réduire l'impact de ces interactions sur la biodiversité**. Le travail effectué dans d'autres RNN ou RNR apporte une expertise intéressante. D'autres pays nous donnent également un éclairage nouveau sur ce qui peut être mis en place.

A cela s'ajoute un travail d'**analyses statistiques sur les infractions commises sur la RNN**. L'objectif était alors de vérifier s'il y a corrélation entre le nombre d'infractions relevées et la fréquentation par les embarcations nautiques.



Photo – En mission de police avec une des gardes animatrices de la RNN

4. Synthèse bibliographique scientifique sur les interactions entre activités autorisées sur la RNN et le patrimoine naturel

4.1. Notion d'interactions positives et négatives (définitions)

Les écosystèmes fonctionnent entre eux, se maintiennent, s'améliorent ou dysfonctionnent grâce à quantité d'interactions. Il peut s'agir d'entre-aide, de compétition, de mutualisme, de parasitisme, etc. Cette notion d'interaction fait même partie intégrante de la définition d'écosystème, puisque ce dernier est formé du biotope (l'environnement, les habitats) et de la biocénose (l'ensemble des espèces qui y vivent), ainsi que des interactions des uns avec les autres. Quand il est question d'interactions entre l'être humain, plus précisément ses activités, et la biodiversité, nous avons tendance à qualifier celles-ci de **positives ou négatives**. Pour désigner ces activités humaines, on peut également les nommer de pressions anthropiques, de menaces, afin de les distinguer du reste des activités du vivant. Ce distinguo repose sur une vision selon laquelle l'être humain s'est extrait ou distingué du reste du vivant. Il est à noter que dans les faits, les interactions négatives sont bien plus nombreuses que les positives. C'est en tout cas ce que démontre ce travail bibliographique scientifique.

La première question qui se pose est de savoir qu'est-ce qui permet de déterminer ou de qualifier si une interaction est positive ou négative ? Selon Patrick Triplet (2020), une **interaction négative** est un « processus par lequel un écosystème réagit envers une perturbation afin de retourner à son état d'équilibre initial ». Cette interaction négative peut donc éprouver la résilience d'une espèce, d'un habitat ou de tout un écosystème. Elle peut affecter leur état de santé, leur qualité, les menacer (de disparition), réduire leur effectif ou leur aire de répartition, perturber leur cycle biologique (reproduction, alimentation, repos, migration) et avoir de réels impacts sur la dynamique de population. Ces interactions peuvent impacter les espèces et leurs habitats de manière temporaire ou définitive.

Quand nous traitons des interactions négatives, nous pouvons entre autre parler de « dérangement ». C'est notamment approprié pour l'avifaune, mais pas que. Cela concerne plus génériquement la faune. Triplet et Schricke (1998) nous donnent une définition intéressante, selon laquelle : "Le dérangement correspond à « tout événement généré par l'activité humaine qui provoque une réaction (l'effet) de défense ou de fuite d'un animal, ou qui induit directement ou non, une augmentation des risques de mortalité (l'impact) pour les individus de la population considérée, ou en période de reproduction, une diminution du succès reproducteur ».

Chez les animaux, le dérangement peut provoquer, par exemple, une augmentation de la vigilance, un comportement d'évitement et souvent la fuite. Ces dérangements peuvent induire des conséquences variées et comporter plusieurs dimensions. Chez les animaux toujours, un dérangement induit :

- Des « effets » comportementaux immédiats (réaction de fuite ou de défense) ;
- Des « impacts » sur les individus (augmentation des risques de mortalité, diminution du succès reproducteur observable sur le long terme) et sur la dynamique de population.

Le dérangement peut également s'exprimer différemment en fonction de divers facteurs, tels que la temporalité, la spatialité, l'intensité, la fréquence, l'accoutumance, la qualité (source de dérangement), le site, ou encore selon l'espèce.

Dans tous les cas de figure, le dérangement induit par une interaction négative provoque un stress chez la faune ou la flore. Selon Killen et al. (2013), « un facteur de stress est un processus intrinsèque ou extrinsèque qui peut perturber les organismes et les obliger à ajuster leur physiologie ou leur comportement pour y répondre, ce qui peut pousser les écosystèmes au-delà de leurs limites de tolérance. »

Si l'on trouve aisément des études étayant les conséquences d'interactions négatives sur les organismes vivants, il est plus difficile de trouver des services rendus par l'Homme de manière fortuite à la nature. Il existe toutefois quelques exemples d'interactions positives. Je ne les présenterai pas nécessairement.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Choix des groupes taxonomiques et des espèces

Avant de commencer ce travail de synthèse bibliographique, il a fallu avec le conservateur de la Réserve, Benoit Dumeau, faire un premier choix, celui des groupes taxonomiques et espèces qui seraient ciblés dans ce travail. Il était en effet difficilement envisageable de produire un document sur l'ensemble de ces groupes, en seulement cinq mois de stage. Nous avons donc fait le choix de ne conserver que 7 groupes taxonomiques, sur les 9 que compte la RNN, à savoir : la flore marine, la flore terrestre, l'avifaune, les mammifères marins, les invertébrés terrestres, les invertébrés marins et l'ichtyofaune. La question du choix s'est également posé au sein de chacun de ces groupes. Nous avons donc décidé de traiter des espèces à fort enjeu de conservation. Pour cela, je me suis reposés sur plusieurs critères, et ce à diverses échelles (départementale, régionale, nationale, européenne ou internationale). Le statut de conservation (niveau de menace) a été déterminant, tout comme la rareté, mais également les fonctionnalités écosystémiques propres à certaines espèces ingénieures, comme par exemple les herbiers de *Zostera marina*, ainsi que la représentativité des différents habitats qui composent la Réserve. Enfin, l'existence et l'accessibilité même des données (et donc des études menées) a constitué une limite dans ce choix.

Pour cette partie-là du travail, je me suis beaucoup servie du plan de gestion 2022-2031, ainsi que du site de l'INPN.

Le choix a également été fait dans ce travail de partir des « espèces », plutôt que des « activités », pour parler des interactions. Cela permet de montrer les « effets » et les « impacts » de manière holistique des pressions anthropiques exercées et leur cumul sur les espèces. En effet, rappelons que la finalité d'une Réserve est la protection du patrimoine naturel, dont nous dépendons aussi. Il paraissait donc évident d'aborder ce travail via le prisme du vivant.

4.2.2. Caractérisation des usages concernés

Il m'a ensuite été nécessaire de caractériser les pressions d'origine anthropiques, émanant des activités autorisées ou non interdites sur la Réserve. En effet, partant du principe que la réglementation est respectée sur le site, je ne parlerai donc pas des interdictions déjà en vigueur. Pour cela, avec le conservateur, nous avons fait le choix d'avoir une approche qui se veut non incriminante. C'est pourquoi ce travail vise à caractériser les types de dérangements (et donc les usages ou pratiques) plutôt que les activités en tant que tel. Le cumul de ces usages est également à prendre en considération. En effet, selon Tamisier (1980), en période d'hivernage, bien que certains usages pris séparément aient peu d'effets et d'impacts, leur cumul peut quant à lui provoquer une baisse de capacité d'accueil des milieux.

Pour identifier ces usages, je me suis servie des différents décrets et arrêtés. Du temps passé in situ sur la Réserve a également permis de constater la réalité par moi-même.

Ainsi, parmi les activités récréatives et professionnelles autorisées, ainsi que de gestion, police et sensibilisation, plusieurs usages ont été identifiés, à savoir : la navigation, le mouillage, l'accostage, le déplacement pédestre (avec toutes les pratiques que cela impliquent), la baignade, la plongée, la pêche (de loisirs, chalutage, au filet, casiers, nasses, dragage de moules, palangre...), la conchyliculture, le transport de passagers.

4.2.3. Démarche et méthodologie

Ce travail de synthèse bibliographique scientifique repose sur la collecte de diverses études scientifiques effectués par des chercheurs, scientifiques, naturalistes, services de l'État, étudiants et autres. Dans la littérature scientifique, on trouve aussi bien des études basées sur des protocoles et observations réalisées en milieu naturel, en tant que simple observateur, que des études basées sur des dérangements « contrôlés » par les chercheurs eux-mêmes (manière d'éviter les biais).

Pour mes recherches, je me suis servie de plusieurs sites internet, tels que « google scholar, web of science, persee, semanticscholar, l'Intranet de l'UPPA, des sites étatiques, des sites d'autres gestionnaires d'espaces naturels, sciences direct, archimerifremer, hal.science, etc. Toutes les études n'étaient pas libre d'accès. J'ai privilégié au maximum celles qui l'étaient. Cela représente plus de 180 références différentes.

Pour faire suite au prisme choisi avec le questionnaire, j'ai traité chaque groupe taxonomique l'un après l'autre. Mes recherches ont chaque fois commencé avec une question assez générique, du type « impacts des activités humaines sur l'avifaune ? ». C'est au grès des premiers résultats que j'ai pu affiner mes recherches, notamment en ciblant tout particulièrement des espèces à fort enjeu de conservation et ensuite construire le plan de chacune des bibliographies, en identifiant les pressions étudiées par la science et les chercheurs. J'ai ainsi pu constater que certains groupes sont les parents pauvres de la recherche, qui ne s'est pas encore assez intéressée à certaines espèces, mettant ainsi en lumière un retard sur l'état des connaissances, pourtant nécessaire à l'exécution de plan de conservation. Les études sur les invertébrés marins sont beaucoup moins nombreuses par rapport à celles portant sur l'avifaune, par exemple.

Ce travail de synthèse bibliographique est rassemblé à l'**Annexe 10** De ce dossier. L'ensemble des références bibliographiques citées dans ce travail sont quant à elles rassemblées dans la partie « références bibliographiques ».

5. Zone d'étude, méthodologie et matériel

Dans le cadre des différentes missions que je vais présenter ci-après, la zone d'étude se limite au banc de sable principal de la Réserve, ainsi que la colonne d'eau qui l'entoure, et que l'on appelle Arguin. C'est dans la pratique, le seul banc de la Réserve que les usagers sont autorisés à fréquenter. Les avantages de cette zone d'étude est qu'elle comprend des zones accessibles aux plaisanciers et aux professionnels, ainsi que des Zones de Protection Intégrale (ZPI) interdites au public – que tous les habitats de la Réserve y sont représentés – et que les données biologiques et de fréquentation déjà récoltées par le gestionnaire concernent également ce site.

Les missions que je présente ci-après, étaient secondaires durant mon stage. C'est pourquoi j'y ai consacré beaucoup moins de temps que pour la synthèse bibliographique.

5.1. Mesurer l'impact des interactions : Protocoles mis en place sur la *Zostera marina*

5.1.1. Objectifs

La *Zostera marina* est une espèce ingénieuse, aux fonctionnalités variées (nursérie, nourricerie, abris) qui abrite grand nombres d'espèces (invertébrés marins, ichtyofaune, avifaune, etc.). Cette plante qui se développe sous forme d'herbiers, est également en déclin, victime de pressions diverses et cumulées. Elles est notamment victime d'une maladie, la wasting disease, qui recouvre ses feuilles de petites taches noires, l'empêchant de procéder à sa photosynthèse, ce qui finit par la tuer. L'expansion de cette maladie serait liée au stress de la plante. Plus la plante est stressée, plus elle est infectée. Cependant, cela ne donne aucune indication sur la source du stress, ni sur les effets cumulés. Le taux de recouvrement de la wasting disease sur les feuilles constitue donc un bon indicateur de stress et donc de pressions subies par la plante. Ce stress peut être d'origine naturelle ou anthropique. Afin de vérifier cela sur la Réserve, j'ai décidé, avec le conservateur, de procéder à un protocole portant sur cette maladie. Pour cela, il me fallait pouvoir comparer entre une zone fréquentée et une zone interdite au public.

5.1.2. Site d'étude

Sur le banc principal de la Réserve, les usagers sont nombreux, tout comme les sources potentielles de stress, du moins dans les secteurs accessibles au public. Grâce à un travail effectué en 2022 d'orthophotographie, le gestionnaire a ainsi pu identifier des patches d'herbier dans ces zones fréquentées, ainsi qu'au cœur des ZPI, inaccessibles pour le public. C'est donc en me basant sur ce travail, qu'avec l'aide du gestionnaire, j'ai choisi deux sites pour les protocoles à réaliser.

J'ai choisi :

- La conche sud, où l'ostréiculture est pratiquée et où les navires de plaisance peuvent accoster (et où depuis cet été 2023, l'ancrage est interdit). Je l'ai appelé « site A ». Les herbiers de ce site sont accessibles à pieds à marée basse. De gros coefficients de marée sont nécessaires.

- Le cœur d'une ZPI, où le public ne peut entrer et où les pressions anthropiques sont absentes. Ce site témoin est appelé « site B ». Se situant à la limite de la zone intertidale, il est facilement accessible à pieds.

Contrairement aux prélèvements réalisés par l'Ifremer, ceux du Banc d'Arguin ne nécessitent pas l'intervention de plongeurs bouteille. Tout se fait à pieds dans l'eau.

Pour chacun des sites A et B, il a été question de choisir 3 stations (en transect si possible), numérotées de 1 à 3 (ex : A1, A2, A3).

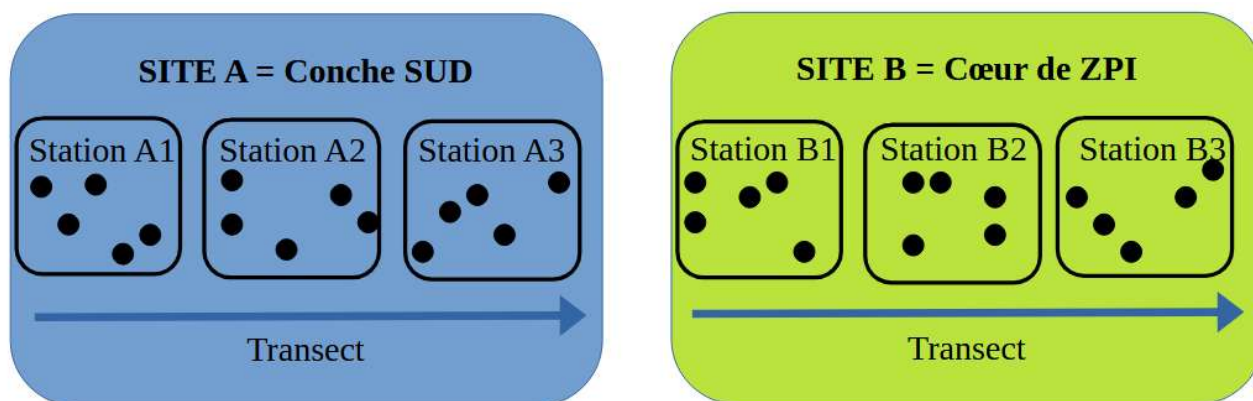


Figure 3 – Plan opérationnel pour la réalisation du protocole sur le terrain

5.1.3. Temporalité

Au vu des objectifs, ce protocole doit nécessairement être réalisé sur deux périodes différentes : avant et après le gros de la saison touristique, moment où la fréquentation est la plus élevée. Cela permet de prendre en compte la variable fréquentation, ainsi qu'un cumul prononcé de pressions anthropiques. Une autre contrainte doit obligatoirement être prise en compte. C'est celle des marées. Il est en effet nécessaire d'avoir un fort coefficient de marée, de manière à ce que le retrait de l'eau soit suffisant pour accéder à pieds aux herbiers de la conche sud (Site A). Les coefficients doivent être supérieurs à 90. L'échantillonnage doit être annuel.

Un premier passage s'est fait le jeudi 6 juillet 2023, avec un coefficient de 92. Cela a ensuite nécessité un peu plus d'une journée entière de laboratoire pour le recueil des données biométriques. Un deuxième passage est nécessaire et sera réalisé sur la fin de l'été, probablement sur septembre. Il sera effectué sur la même période que celui mené par la station marine de l'Ifremer. L'idée étant de pouvoir discuter, entre structures, des résultats obtenus.

5.1.4. Cadre juridique

La *Zostera marina* est une plante strictement protégée. Au niveau de la région Nouvelle Aquitaine, elle est protégée par un arrêté du 8 mars 2002. Elle apparaît également respectivement dans les annexes V et I des Conventions OSPAR et de Berne.

5.1.5. Préparation et matériel

Pour mesurer l'indicateur que constitue la « wasting disease » de la *Zostera marina*, nous avons fait le choix d'utiliser un protocole monté par l'Ifremer : « Protocoles de suivi stationnel des herbiers à zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). *Zostera marina*

- *Zostera noltei* », version 3 (2018). A cette occasion j'ai rencontré Guillaume Bernard, écologiste benthique à l'Ifremer (Station Marine d'Arcachon), qui a pris le temps de me briefer sur la marche à suivre, qui m'a aidé à adapter la méthodologie au contexte particulier du banc d'Arguin, qui nous a prêté le matériel nécessaire et qui nous a permis d'utiliser leur laboratoire. Ayant décidé un peu dans l'urgence de réaliser ce protocole, nous avons décidé de n'en réaliser qu'une partie, à savoir le « Wasting index », ainsi que la « densité de population », en version simplifiée. Ce premier essai, s'il est concluant permettra d'envisager un protocole plus complet pour les années à venir.

Matériel nécessaire au protocole « Wasting index » :

- 2 plans plastifiés localisant les sites et les stations (général et opérationnel) ;
- 6 poches en plastique de prélèvement ;
- 6 étiquettes de localisation des points de prélèvement (1 accrochée à chaque poche) ;
- 1 GPS ou appareil permettant de relever les coordonnées GPS.

Matériel nécessaire au protocole « Densité de population » :

- 2 plans plastifiés localisant les sites et les stations (général et opérationnel) ;
- 1 fiche et 1 crayon pour les relevés biométriques ;
- 1 cadre ou quadrat de 0,04 m² (20x20cm) en métal ;
- 1 mètre, ruban à mesurer ou autre ;
- 1 GPS ou appareil permettant de relever les coordonnées GPS.

Matériel en laboratoire :

- 1 cuvette ;
- du papier millimétré plastifié ;
- 6 barquettes en aluminium ;
- 1 barème normé, comprenant des intervalles de pourcentages, utilisé pour quantifier le taux de recouvrement de la « wasting disease » ;
- Autres équipements : 1 four pour déshydrater, 1 dessiccateur, 1 balance qui se ferme.

5.1.6. Réalisation

Ces deux protocoles nécessitent donc une phase d'échantillonnage sur le terrain et une phase en laboratoire.

5.1.6.1. Phase d'échantillonnage

→ Protocole « Wasting index »

Dans ce protocole, il est question de prélever des plantes (sans les racines). Il suffit d'arracher la plante à la base, d'un seul tenant, et non pas les feuilles une par une. Il est important de choisir de beaux pieds avec les feuilles les plus complètes. 5 pieds sont nécessaires par station. Donc 15 pieds par site (5 pieds * 3 stations). Au total, 30 pieds sur les 2 sites. La localisation des pieds sera choisie de manière aléatoire. Les 5 pieds de chaque station sont placés dans une même poche en plastique dûment étiquetée. Ce qui fera 3 poches de prélèvement pour chaque site, donc 6 poches au total.

→ Protocole « Densité de population »

Ce second protocole permet de calculer la densité moyenne des herbiers. Le protocole tel que prévu par l'Ifremer, prévoit de prélever l'ensemble des pieds (racines comprises), dans chaque quadrat posé. Avec le gestionnaire la Réserve, nous avons fait le choix de ne pas prélever les pieds et de simplement relever les données biométriques relevable sur le terrain. Pour cela, il est prévu de réaliser deux comptages dans chaque station, à l'aide du quadrat de 20cm x 20cm. Les relevés par quadrats peuvent être réalisés proches ou plus ou moins éloignés. Il faut cependant éviter les bordures. A chaque opération, il faut donc compter le nombre de pieds par quadrat et la hauteur maximale du groupement de pieds. Cela permet d'obtenir une densité de population. Pour calculer la biomasse, il aurait fallu prélever les pieds. Cela représente 2 quadrats par station, soit 6 par site, et 12 sur l'ensemble des deux sites (A et B).

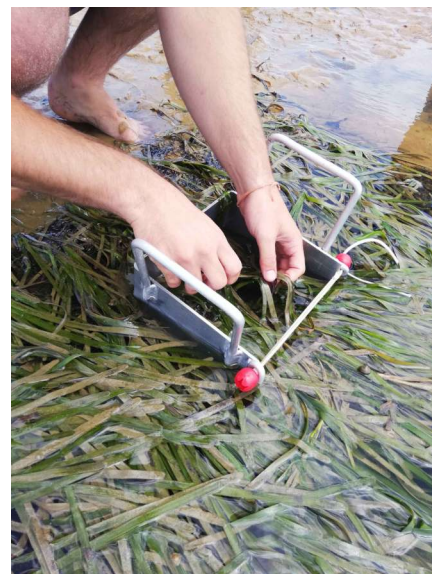


Photo – Relevé de densité avec un quadrat de 20 x 20 cm

5.1.6.2. Phase en laboratoire

Pour la réalisation des analyses, la Station Marine de l'Ifremer d'Arcachon a accepté de mettre à disposition de la SEPANSO son laboratoire, dédié au suivi des Zostères.

→ Protocole « Wasting index »

Dans l'idéal, la phase en laboratoire doit être effectuée le même jour que les prélèvements. Sinon, il est possible d'entreposer les prélèvements au réfrigérateur (surtout pas au congélateur), et ce, maximum durant 72h. Pour ce premier passage, les analyses ont été effectuées le lendemain toute la journée.

Une première phase du travail en laboratoire consiste à relever toutes les données biométriques correspondant aux prélèvements effectués sur le terrain. Une feuille de calcul (type excel) est fournie par l'Ifremer. Pour chaque plante, les feuilles (de la plus jeune F1 à la plus âgée F4 ou F5) sont mesurées :

- longueur du limbe en cm (depuis le haut de la gaine jusqu'en haut de la feuille) ;
- largeur du limbe en mm (zone moyenne) ;
- pourcentage de maladie estimé sur le limbe, appelé « wasting index (WI) ». Pour ça, un barème ou index, comprenant des intervalles de pourcentages est utilisé pour cette quantification.

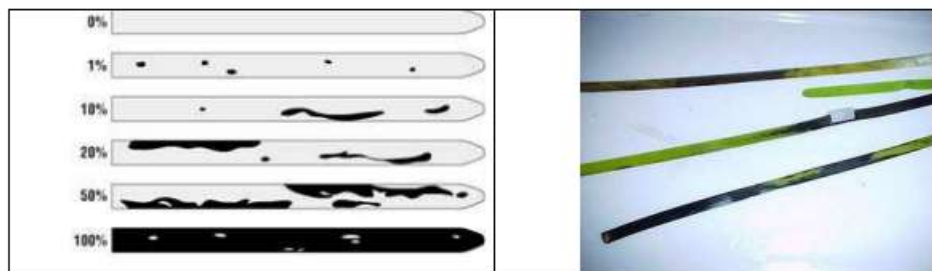


Figure 4 – Index permettant de mesurer le pourcentage de « wasting disease » sur les feuilles de Zostera.

Au vu de toutes ces données, le fichier calcule le WI global pour chaque site. Ce qui permet de comparer ce pourcentage entre les deux sites.

Dans une deuxième phase, les prélèvements sont placés dans des barquettes en aluminium pré-pesées, en respectant les numéros de stations, puis placés au four à 60°C, pendant 48h, afin de les déshydrater. Une fois passé ce temps, les prélèvements sont transportés dans un dessiccateur, afin d'éviter une réhydratation rapide après sortie du four, jusqu'à la balance elle-même plus ou moins étanche, pour une pesée. Cela permet de mesurer la nécromasse.

5.2. Analyses statistiques sur les infractions commises sur la RNN

Le gestionnaire de la Réserve m'a également proposé de faire des analyses statistiques portant sur la fréquentation de la réserve en terme d'embarcations et le nombre d'infractions relevées toute l'année, sur des pics de fréquentation, entre 2018 et 2022.

Deux questions m'ont été posées. La première étant de savoir s'il y a corrélation entre le nombre de bateaux qui fréquentent le périmètre de la Réserve et le nombre d'infractions relevées (entrées en ZPI, excès de vitesse, mouillage hors zones autorisées). La deuxième étant de dégager un seuil d'infractions jusqu'auquel le gestionnaire est en mesure de gérer les rappels à la réglementation et les verbalisations. Autrement dit, à partir de combien de bateaux atteint-on un seuil d'infractions non tolérable pour le gestionnaire qui a mission de police sur la Réserve ?

Le jeu de données en question, comporte un certain nombre de variables. Seule une partie a été nécessaire à mon travail. J'ai d'ailleurs dû procéder à un nettoyage du fichier, afin d'harmoniser les désignations d'infractions. Seules les infractions suivantes m'intéressent : ZPI (entrée en ZPI), VTS (Excès de vitesse) et ZHM (Mouillage en zone non autorisée). Je considère donc toutes les autres infractions comme « autres ». Je suis obligée de conserver les « autres », afin de ne pas surestimer l'effet de la fréquentation sur les infractions.

Mon jeu de données épuré est composé de huit colonnes : date, mois, année, pic de fréquentation, infractions, intervention, infractions (qualitatif), infractions (binaire). Cette dernière colonne comporte des modalités qualitatives (ZPI, VTS, ZHM et Autre), que j'ai ensuite transformé dans une dernière colonne en modalités quantitatives binaires (ZPI, VTS et ZHM valent « 1 » et Autre « 0 »).

Cependant, ce qui m'intéresse, c'est la somme (le nombre total par jour) de ces infractions. J'ai donc dû créer une nouvelle variable « quantitative » à partir du jeu de données épuré. Pour cela, j'ai créé une table dynamique sur libre office, permettant d'obtenir une seule ligne par dates référencées, une colonne avec le pic de fréquentation journalier et une troisième colonne avec le nombre d'infractions journalier.

Dans cette troisième colonne, ne considérant pas les « autres » infractions comme utiles à mon analyse, je les comptabilise comme valant « 0 ». Ce qui me permet de conserver toutes les lignes du jeu de données et donc de prendre en compte toutes les journées où le pic de fréquentation a été relevé. Cela permet d'éviter un biais. Nous noterons cependant que nous n'avons pas dans ce jeu tous les jours de l'année.

Pour ces deux analyses, j'ai utilisé un fichier type libre office pour préparer mon jeu de données, ainsi que Rstudio pour la partie analyse.

5.2.1. Corrélation entre le nombre de bateaux qui fréquentent le périmètre de la Réserve et le nombre d'infractions relevées

Je peux donc désormais étudier la relation entre ces variables désormais toutes deux quantitatives. Je cherche à démontrer s'il y a ou non corrélation entre ces deux variables quantitatives :

- le pic de fréquentation journalier, enregistré entre 13 et 14h = cette variable est quantitative discrète. On parle aussi de variable explicative, car dans ma réflexion, elle est utilisée pour expliquer ou prédire le nombre d'infractions.
- le nombre d'infractions relevées ces mêmes jours, en prenant en compte toutes les infractions dans le traitement des données mais en considérant que les infractions suivantes : Zone hors mouillage (ZHM), Zone de protection intégrale (ZPI) et Vitesse (VTS) = cette variable est quantitative discrète. On parle alors de variable expliquée.

NB : Même si le pic de fréquentation ne se veut pas exhaustif sur le nombre de bateaux qui pénètrent le périmètre de la RNN, il donne tout de même une indication sur les journées très fréquentées de la réserve. Sachant que ces pics de fréquentation sont relevés au moment de la journée qui attire le plus les plaisanciers pour profiter du site.

Je peux considérer les observations de ce jeu de données comme étant indépendantes.

Je cherche donc à vérifier si le nombre d'infractions relevées dépend du nombre de bateaux présents dans la Réserve. Mes hypothèses sont donc les suivantes :

$H_0 = \{\text{le nombre d'infractions relevées n'augmente pas avec la fréquentation}\}$

$H_1 = \{\text{le nombre d'infractions relevées augmente avec la fréquentation}\}$
= {plus il y a de bateaux sur la RNN, plus il y a d'infractions}

La première étape des analyses consistent à vérifier si les données sont modélisables par régression linéaire. Si les conditions d'application ne sont pas toutes réunies, à savoir une indépendance des données, une normalité des données et une homogénéité des variances, il faudra alors évaluer la relation entre les deux variables autrement, en effectuant un test de corrélation. Pour cela on calcule le coefficient de corrélation, qui est une mesure spécifique qui quantifie la force de la relation linéaire entre deux variables d'une analyse de corrélation. Il est noté « r ». Il existe 2 coefficients de corrélation : celui de Pearson et celui de Spearman. Le coefficient de Pearson est adapté quand les données suivent une distribution normale. Si ce n'est pas le cas, il faut utiliser un test non paramétrique. Le coefficient de Spearman est en effet utile quand des données bivariées sont éloignées d'une tendance linéaire. Il sert notamment à détecter qu'il n'y a pas de relation monotone. Il est approprié aux modèles dissymétriques et aux valeurs exceptionnelles. Le coefficient de Spearman est en fait égal au coefficient de Pearson calculé sur les rangs des valeurs.

5.2.2. Seuil de fréquentation et d'infractions

Dans un second temps, je cherche à dégager un seuil de fréquentation en terme de bateaux au-delà duquel le nombre d'infractions n'est plus gérable les agents de police de la Réserve et les autres services collaborant à cette mission.

Je cherche ici un modèle ou test statistique me permettant de déterminer un **seuil de fréquentation** par les embarcations en fonction du **nombre d'infractions**. Il revient toutefois au conservateur de déterminer un seuil acceptable d'infractions, afin d'identifier le nombre de fréquentation correspondant. Par acceptable, il faut comprendre ici que celui-ci reste gérable pour la mission de police de la Réserve.

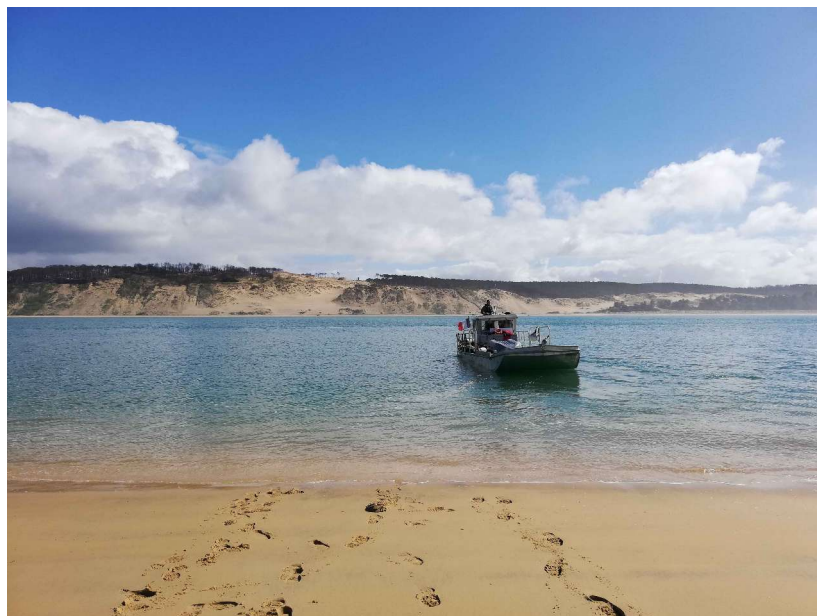
Parmi toutes les infractions qui sont relevées sur la Réserve, nous avons décidé avec le gestionnaire, de prendre en compte 3 types d'infraction : l'entrée en ZPI, le mouillage en zone non autorisé et les excès de vitesse par les embarcations.

Pour rappel, le pic de fréquentation maximum relevé est de 936 et le nombre d'infractions maximum relevé est de 433.

Afin de répondre à cette question, je propose ci-dessous, deux approches :

➔ Arbre de décision conditionnel :

Un arbre de décision est un modèle très utilisé en statistiques exploratoires. Il est assez facile à utiliser. Les algorithmes utilisent une approche de partitionnement récursif. Un partitionnement récursif est un algorithme de classification supervisée, créant un arbre dichotomique. A chaque nœud de cet arbre, une variable permet de déterminer si le parcours de l'arbre doit être poursuivi vers la gauche du nœud (quand la valeur de la variable est inférieure à un seuil fixé), ou vers sa droite (si la valeur est supérieure ou égale à ce seuil). L'algorithme maximise la séparation entre les différentes sous-entités, de manière à pouvoir discriminer au mieux ces groupes et faire des choix. L'algorithme d'arbre conditionnel construit des arbres dans une infrastructure d'inférence, rendant donc une assertion juste et l'autre non. L'arbre que j'ai décidé de proposer au gestionnaire est de type conditionnel.



6. Résultats

6.1. Synthèse bibliographique scientifique sur les interactions entre activités autorisées sur la RNN et le patrimoine naturel

Dans le cadre de cette mission, j'ai produit une synthèse bibliographique de **33 pages (Annexe 10)** que j'ai étayé de plus de **180 références bibliographiques**, portant sur **7 groupes taxonomiques** différents : la flore marine, la flore terrestre, l'avifaune, les mammifères marins, les invertébrés terrestres, les invertébrés marins et l'ichtyofaune.

Le résultat de mes recherches m'aura **davantage mené vers des études portant sur les interactions négatives que positives**, ces dernières étant assez rares dans la bibliographie scientifique. Je fais le choix dans ce rapport, et notamment en annexe, de présenter un travail abouti sur les interactions négatives, très peu sur les positives. Le gestionnaire pourra toujours poursuivre mon recueil ultérieurement. Cela n'enlève rien au fil rouge de mon stage qui relie chacune de mes missions.

Pour chaque groupe taxonomique, j'ai identifié les pressions anthropiques concernées. Je parle alors « d'usages concernés ». Ensuite, je présente les « effets et impacts ». J'ai ainsi pu constater que **certains groupes sont les parents pauvres** de la recherche, qui ne s'est pas encore assez intéressée à certaines espèces. Cela met aussi en lumière un retard sur l'état des connaissances, pourtant nécessaire à l'exécution de plan et d'actions de conservation. Les études sur les invertébrés sont beaucoup moins nombreuses par rapport à celles portant sur l'avifaune, par exemple. Au regard de cela, beaucoup plus d'espèces d'oiseaux que d'invertébrés sont protégées.

L'ensemble des groupes taxonomiques présents sur la Réserve, qu'ils soient terrestres ou marins, sont plus ou moins concernés par les **mêmes pressions anthropiques**. La (sur)fréquentation humaine touche l'ensemble du vivant, et ce, qu'il s'agisse de piétons ou d'embarcations. Plus il y a de monde, plus il y a de conséquences. Le dérèglement climatique, certaines pratiques de pêche et d'ostréiculture, les effluents urbains, agricoles, la pollution chimique, sonore, l'introduction d'espèces invasives... sont autant d'usages qui peuvent occasionner des interactions négatives chez toutes ces espèces.

Les **effets et impacts** observés dans ces groupes présentent également quelques similitudes. Un des grands points communs est la destruction des habitats. Le simple piétinement ou le ramassage de bois flottés, de laisse de mer, ou encore l'arrachage d'herbiers par le mouillage en sont des exemples criants. J'en profite pour expliquer un des distinguos majeurs, qui est que les effets et impacts peuvent s'observer sur les individus, sur les populations, sur les relations inter-spécifiques, sur leurs habitats ou encore sur les ressources dont ils dépendent.

Dans cette synthèse bibliographique, j'ai réussi à identifier des grands ensembles à l'échelle des individus et des populations. Les effets et impacts peuvent aussi bien toucher la **physiologie et le cycle biologique (métabolisme, santé) que l'éthologie**. Il est d'ailleurs une différence importante à rappeler entre effets et impacts. Chez les animaux, les « effets » sont en général comportementaux et s'observent immédiatement (réaction

de fuite ou de défense). Les « impacts » s'observent sur les individus, davantage sur le long terme (augmentation des risques de mortalité, diminution du succès reproducteur observable sur le long terme). Cela peut aller jusqu'à impacter la dynamique de population.

Des différences s'observent également en **fonction du cycle biologique** et de la **saisonnalité**. Si l'on prend le cycle biologique sur une journée, cela comporte chez les animaux par exemple, des temps de repos, d'alimentation, de soins. Des dérangements sur une phase d'alimentation n'aura pas les mêmes conséquences que sur une phase de repos. Et si l'on ajoute à cela la saisonnalité, cela peut même aggraver la situation. Un arrachage d'herbiers marins en août-septembre sera moins préjudiciable qu'en plein hiver où la croissance et la production photosynthétique ne sont pas les mêmes. Déranger des oiseaux pendant leur phase d'alimentation en hiver et au printemps-été différera aussi. A la belle saison, les adultes doivent nourrir leur progéniture. En hiver ils s'économisent et seront plus tolérants au dérangement.

Ainsi en **fonction des saisons**, des pressions anthropiques toucheront des moments clés très différents, comme la **reproduction**, **l'hivernage (ou la dormance)**, **la croissance**, **la migration**. Comme je l'expliquais précédemment, les conséquences de certaines pressions ne s'observent pas toujours immédiatement. Les impacts sont parfois seulement visible ultérieurement, à la saison suivante et plus précisément à la phase suivante du cycle biologique. Prenons l'exemple des oiseaux. Si leur phase d'hyperphagie au moment de l'automne et au début de l'hiver n'est pas bonne, il se peut qu'ils se mettent en mauvais posture pour la migration ou encore pour la reproduction au printemps suivant. Chez les végétaux, un fort piétinement au moment où les plantes se reproduisent, peut faire régresser une station.

Dans les grandes lignes, voici les effets et impacts, dus aux pressions anthropiques, que j'ai trouvé, et qui sont développées et étayées dans la synthèse bibliographique en **Annexe 10**.

Chez la flore marine : stress – arrachage des herbiers – augmentation de la turbidité et concurrence pour la lumière – modification des habitats – pollution physico-chimique et organique.

Chez la flore terrestre : la dégradation et pertes d'habitats dunaires – la rudéralisation et l'introduction d'espèces invasives – des répercutions sur les autres espèces (communautés).

Chez l'avifaune : interruption, limitation de l'alimentation – baisse du temps alloué à l'alimentation – modification du comportement et du régime alimentaire – désertion de sites d'alimentation – augmentation des comportements de regroupement – piétinement des nids et abandons des œufs – dispersion et perte des poussins – augmentation de la prédation – chocs thermiques sur les œufs et les poussins – baisse des soins parentaux – baisse du taux de reproduction.

Chez les mammifères marins : mortalités additionnelles directes (captures, collisions, pollution sonore) – mortalités additionnelles indirectes (présence de contaminants, modification quantitative et qualitative des ressources trophiques, baisse du succès reproducteur, problèmes d'orientation, lésions et pertes d'audition) – modification des habitats – dérangement direct – impacts acoustiques.

Chez les invertébrés terrestres : destruction et/ou modification des habitats – augmentation de la mortalité des individus – baisse de la richesse spécifique – perte de la relation butineur-fleur.

Chez les invertébrés marins : exploitation de la ressource – introduction d'espaces envahissantes – destruction et modification des habitats – modification des conditions de vie – pollutions et bioaccumulation – dommages physiologiques et changements comportementaux.

Chez l'ichtyofaune : exploitation de la ressource – introduction d'espèces envahissantes – destruction et/ou modification des habitats – modification des conditions de vie – pollution et bio-accumulation – pollution sonore.

6.2. Mesurer l'impact des interactions : Protocoles mis en place sur la *Zostera marina*

L'analyse des différentes données biométriques relevées sur le terrain, ainsi qu'au laboratoire, nous donnent un certain nombre d'indicateurs. En voici les résultats et leur interprétation :

→ Protocole « Wasting disease »

Dans cette analyse, ont été calculés, les taux de recouvrement de la « wasting disease » sur les feuilles des pieds récoltés.

Sont calculés :

La moyenne du taux de recouvrement est calculée sur les feuilles en fonction de leur numéro, de la F1 à la F6 :

Site A (Conche sud) :	On note que les F4 et F5 ont un taux de recouvrement par la maladie, bien plus élevé que les autres feuilles, respectivement %WD F4 = 11,1 et %WD F5 = 11 %
Site B (ZPI)	on note que les F4 et F5 ont un taux de recouvrement par la maladie, bien plus élevé que les autres feuilles, respectivement %WD F4 = 5,7 et %WD F5 = 5,9 %

La moyenne du taux de recouvrement est calculée pour l'ensemble des pieds récoltés de chaque site :

Site A (Conche sud) :	WI % = 24,73 %	On note que le taux de recouvrement de la maladie est deux fois plus étendue sur les plantes du Site A que le B. Les plantes semblent donc être davantage sujettes au stress dans la conche sud, qu'en pleine ZPI.
Site B (ZPI) :	WI % = 12,87 %	

La nécromasse des pieds récoltés :

Site A (Conche sud) :		On note que la nécromasse des pieds récoltés sur le Site A (avec une moyenne de 11,22 g) est plus importante que sur le site B (avec une moyenne de 5,37 g)
Station A1	9,93 g	
Station A2	12,55 g	

Station A3	11,17 g	g). Cela signifie que les herbiers sont deux fois plus développés en matière de biomasse sur le site A. Les plantes y sont plus grandes. Dans la ZPI, nous avons remarqué que les herbiers se développent à une très faible profondeur, proche de la zone intertidale. Elles ont donc peu de masse d'eau au dessus d'elles pour se développer.
Site B (ZPI) :		
Station B1	3,67 g	
Station B2	5,35 g	
Station B3	7,08 g	

→ Protocole « Densité de population »

Dans cette analyse, ont été calculés les densités de pieds dans les quadrats, et à chaque reprise la hauteur maximum de la canopée.

	Moyenne du nombre de pieds par quadrat	Densité au 400cm ² (nb de pieds)	Densité moyenne au m ² (nb de pieds)	Moyenne de la hauteur max de canopée	Hauteur max de la station
SITE A – CONCHE SUD					
Station A1	18	18/400cm ²	90	75,5	77
Station A2	11	11/400cm ²	55	83,5	95
Station A3	14,5	14,5/400cm ²	72,5	109,5	110
SITE B – ZPI					
Station B1	17	17/400cm ²	85	39,5	44
Station B2	43	43/400cm ²	215	71,5	73
Station B3	34	34/400cm ²	170	44,5	45

On note que les densités moyenne au m² sont dans l'ensemble bien plus élevées en ZPI (Site B) que dans la conche sud. A l'inverse, les hauteurs maximum de canopée sont plus élevées dans la conche sud. Autrement dit, là où les herbiers sont de petites hauteurs, la densité est en revanche assez élevée. Là où les herbiers sont de grandes hauteurs, les densités sont moindres. Cette observation soulève des questions qui auraient pu être vérifiées par des analyses statistiques plus poussées. Notamment pour savoir s'il y a corrélation entre cette hauteur de canopée et la densité. Dans le cas présent, cela n'était pas recherché, et le nombre d'observations reste petit pour être suffisamment représentatif.

6.3. Analyses statistiques sur les infractions commises sur la RNN

6.3.1. Corrélation entre le nombre de bateaux qui fréquentent le périmètre de la Réserve et le nombre d'infractions relevées

Pour rappel, je cherche à vérifier si le nombre d'infractions relevées dépend du nombre de bateaux présents dans la Réserve. Mes hypothèses sont donc les suivantes :

H0 = {le nombre d'infractions relevées n'augmente pas avec la fréquentation}

H1 = {le nombre d'infractions relevées augmente avec la fréquentation}

= {plus il y a de bateaux sur la RNN, plus il y a d'infractions}

Je ne peux modéliser les données par régression linéaire, car les conditions d'application ne sont pas toutes réunies. En effet, bien que les données soient indépendantes, elles ne suivent pas une loi normale et les variances ne sont pas homogènes.

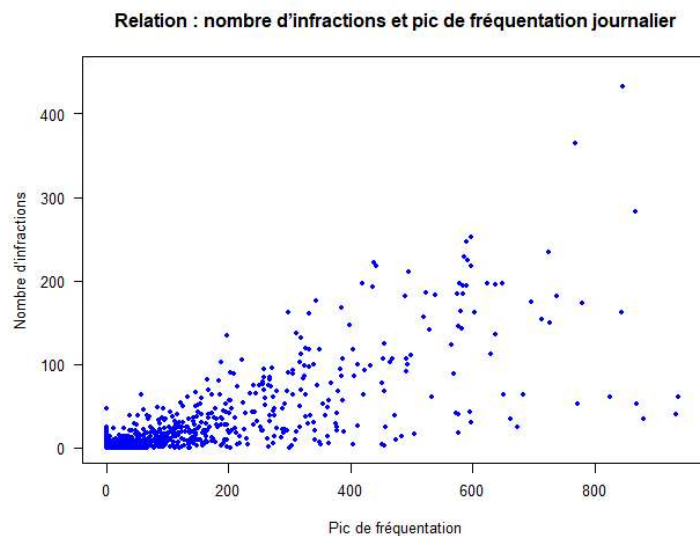


Figure 5 – Nuage de point représentant la relation entre le nombre d'infractions journalier et le pic de fréquentation journalier, réalisé sur Rstudio.

→ Test de corrélation

J'ai ensuite réalisé un test non paramétrique en calculant un coefficient de Spearman. Pour cela, j'ai posé les hypothèses suivantes :

$H_0 = \{\text{Le coefficient de corrélation est égal à } 0\}$

= {Les deux variables ne sont pas corrélées et le nombre d'infractions relevées n'augmente pas avec la fréquentation des bateaux}

$H_1 = \{\text{Le coefficient de corrélation est différent de } 0\}$

= {Les deux variables sont corrélées et le nombre d'infractions relevées augmente avec la fréquentation des bateaux}

Les résultats sont les suivants :

Pearson's product-moment correlation

```
data: rank(Surveillance$infractions) and
rank(Surveillance$frequentation)
t = 43.247, df = 1195, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.7580085 0.8022735
sample estimates:
      cor
0.7811206
```

L'intervalle de confiance ne contient pas « 0 » et $p < 5\%$ ($p = 2,2e-16$). Il y a donc bien corrélation entre les deux variables. On rejette donc H_0 (pour garder H_1). Cela signifie que les deux variables sont corrélées. De plus, le coefficient de Spearman $r = 0,7811206$. On peut donc dire qu'il y a une forte corrélation à 78 %. Ce résultat est donc très significatif.

Quand une variable augmente et que l'autre augmente, on parle de corrélation positive. C'est le cas ici (graphique 1). Rappelons que le coefficient de corrélation permet de quantifier la force de la relation entre la variable explicative (pic de fréquentation) et la variable expliquée (nombre d'infractions). Il est compris entre -1 et 1. Plus le coefficient est loin de 0 et proche de 1, plus la relation est forte entre les deux variables. Présentement, « r » est compris entre 0,80 et 0,86, avec un intervalle de confiance de 95 %, donc très proche de 1. La relation est donc forte.

Il y a donc corrélation entre le nombre de bateaux qui fréquentent le périmètre de la RNN et le nombre d'infractions (ZPI, vitesse, hors zones de mouillage).

→ Droite de régression linéaire

Afin de faire apparaître la droite de régression, qui représente assez bien la tendance du modèle, il faut au préalable transformer le modèle en logarithme (pour les X et les Y). Ce qui permet de faire une régression linéaire par la suite.

Parce que notre jeu de données comporte des zéros dans ses variables, on construit un modèle de régression linéaire avec transformation en log+1.

Je vérifie dans un premier temps l'homogénéité des variances : Les résidus ne doivent pas dépendre de la variable explicative (ici le pic de fréquentation). Ils doivent donc se répartir autour d'une droite horizontale (en rouge). Dans ce graphique 4, la majorité des valeurs sont proches de la droite de régression. Les variances sont donc homogènes dans l'ensemble.

J'effectue en suivant un Test de Breush-Pagan. Il est utilisé pour tester l'hétéroscédasticité dans un modèle de régression linéaire. Quand les variances des résidus des variables que l'on étudie sont différentes, autrement dit quand les erreurs dans l'échantillon ne sont pas constantes, on dit qu'il y a hétéroscédasticité. Dans la situation inverse, avec des variances d'erreurs constantes, on parlerait d'homoscédaticité.

Les résultats sont les suivants :

studentized Breusch-Pagan test

```
data: mdlLR1  
BP = 0.31617, df = 1, p-value = 0.5739
```

Dans le cas présent, au seuil de signification de 5 %, le test de Breush-Pagan ne peut pas rejeter l'hypothèse d'homogénéité de la dispersion des résidus. Celle-ci est donc vérifiée.

6.3.2. Seuil de fréquentation et d'infractions

→ Arbre de décision

Comme expliqué dans la méthodologie, j'ai décidé de réaliser un arbre de décision, de type conditionnel, afin de tenter de répondre à la question du seuil d'embarcations tolérable sur la Réserve pour le gestionnaire. L'arbre produit est construit à partir de 1197 observations. Nous savons que la fréquentation maximum observée sur la RNN est de 936. L'algorithme sépare, à un premier niveau, des sous-entités, en dessous ou égal à 296

embarcations et au dessus de 296 embarcations. Nous obtenons ainsi 6 sous-entités, qui peuvent être regroupées/séparées en 3 groupes (3 tendances).

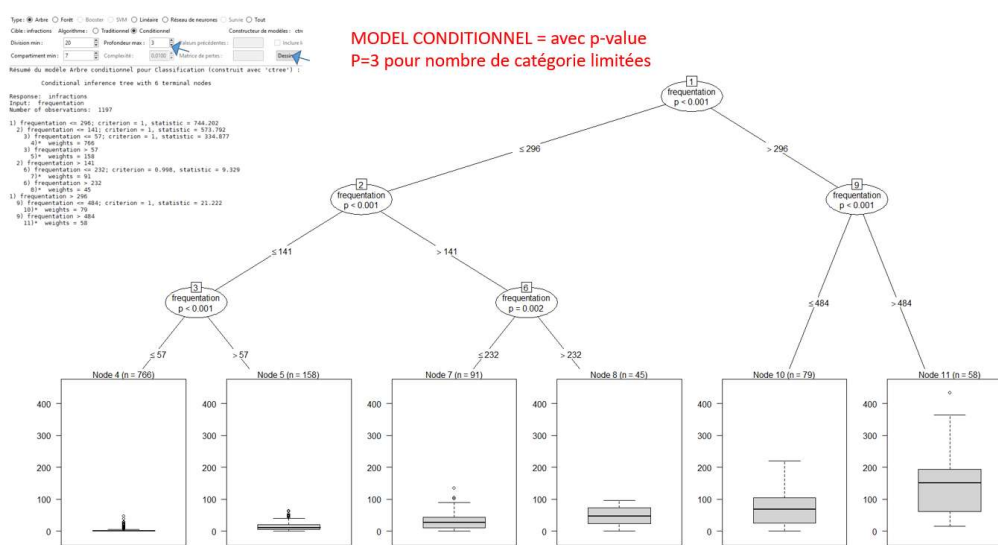


Figure 6 – Arbre décisionnel de type conditionnel réalisé sur Rstudio

Les résultats sont les suivants :

Pour un nombre d'embarcations (NE) inférieur ou égal à 57, le nombre d'infractions (NI) est proche de zéro.

Pour $57 < NE \leq 141$, alors $5 < NI < 20$

Pour $141 < NE \leq 232$, alors $5 < NI < 40$

Pour $232^* < NE \leq 296$, alors $10 < NI < 70$

Pour $296 < NE \leq 484$, alors $20 < NI < 100$

Pour $484 < NE$, alors $70 < NI < 200$

* Au delà de 232 embarcations, on constate que l'on peut facilement atteindre 70 infractions, au pic de fréquentation. Cela commence à être difficilement gérable en terme d'infractions à verbaliser. Mais ce choix des seuils relève alors du gestionnaire. Je reviendrai sur ce point dans la partie discussion.

7. Discussion

Avril 2024 est la deadline qu'ont donné les services de l'État aux Réserves Naturelles Nationales, dont celle du Banc d'Arguin, pour être en conformité avec le décret portant sur les Zones de Protection Forte. C'est au gestionnaire de s'assurer que les objectifs à long terme et opérationnels soient à la hauteur de ces exigences réglementaires. Mais c'est également au même gestionnaire de faire remonter aux services de l'État, la réalité de terrain et les freins qu'il rencontre. Si aucune pression anthropique ne doit nuire au patrimoine naturel, en étant évitée, supprimée ou fortement limitée, quelques étapes préliminaires sont nécessaires pour en arriver là.

Identifier et caractériser d'abord :

Référencer les activités humaines aujourd'hui autorisées sur la Réserve s'est avéré être un bon point de départ. J'ai ainsi pu démarrer et réaliser une **synthèse bibliographique scientifique** portant sur les interactions entre ces activités humaines et le patrimoine naturel. Les résultats de cette synthèse sont sans surprise. Oui, les activités humaines, bien que légales aujourd'hui, semblent, au vu de la bibliographie, constituer de véritables pressions anthropiques qui peuvent peser sur le vivant. Mais attention, cela ne signifie pas qu'il faille interdire totalement au public un espace qui a pour vocation de protéger la biodiversité. Tout est en fait une histoire de mesure, de temporalité et de cumul. Plus une pression est subie en quantité (répétée, sur la durée, surfréquentation) et plus les pressions se cumulent, plus cela devient impactant pour la faune, la flore et leurs habitats.

Aujourd'hui, les usages sont variés et la fréquentation est très importante sur la Réserve, et tout particulièrement pendant la période estivale. Les plaisanciers qui aiment venir accoster sur le banc, avec leur embarcation, afin d'y passer la journée en été, ne réalisent pas qu'en piétinant la zone intertidale, ils mettent probablement en danger des populations d'invertébrés terrestres et marins. Les promeneurs qui découvrent et parcourent le milieu dunaire ne voient pas la zone de nidification qu'ils empêchent potentiellement par leur présence. Les personnes qui jettent leur ancre, ne voient pas les herbiers de Zostères, véritables habitats pour de nombreuses espèces, être arrachés. Mais encore une fois, tout est histoire de mesure. La plupart des études que j'ai lues, portant sur l'impact des activités humaines sur le vivant, soulèvent le problème de la(sur)fréquentation. Bien évidemment, certaines activités auront des effets et impacts très importants sans avoir besoin d'évoquer la fréquentation. Il est toutefois évident que tout ne peut se résumer au seul problème de la fréquentation, bien qu'il soit récurrent.

Le travail de synthèse bibliographique aura été fastidieux car très long : sept groupes taxonomiques différents à traiter. Force est de constater que la bibliographie recèle d'articles sur les interactions négatives et si peu sur les positives. Par choix et par nécessité, j'ai privilégié dans mon travail, les recherches sur les négatives. Le gestionnaire pourra toujours compléter ultérieurement avec les quelques références positives qui existent. Il m'est apparu comme pertinent d'aboutir au maximum ce recueil, afin de saisir au plus près les limites relatives au fait que certaines activités puissent être autorisées sur la Réserve. Autrement dit, cette phase de mon travail m'a permis de caractériser ces interactions.

Après la caractérisation, la vérification :

Une fois ces usages identifiés et ces interactions caractérisées, la suite logique a consisté à observer in situ si cela se vérifiait. Pour cela, des **indicateurs ou métriques** étaient nécessaires. Dans le cadre de ce stage, je n'ai pu réaliser qu'un seul double protocole, celui portant sur « la wasting disease » des *Zostera marina* et sur leur « densité de population », issus d'un protocole de l'Ifremer. Les résultats présentés précédemment montrent une grosse différence de taux de recouvrement de la maladie qui affecte l'espèce, entre les deux sites d'étude. Les herbiers sont davantage affectés dans la conche sud où les usages sont nombreux (ostréiculture, navigation, mouillage, accostage...). Cela contribue à révéler un stress élevé chez la plante. Le protocole sera à nouveau réalisé en septembre afin de pouvoir comparer les résultats entre l'avant et l'après saison touristique. Mais ces premiers résultats questionnent déjà les activités aujourd'hui autorisées sur une zone de potentielle expansion de ces herbiers.

Si le protocole sur la *Zostera marina* est le seul que j'ai pu réaliser, il initie une suite nécessaire d'autres indicateurs à mettre en place par le gestionnaire. En effet, certains groupes taxonomiques montrent déjà des signes d'interactions négatives avec les activités humaines. L'avifaune par exemple, dont plusieurs espèces nichent sur la Réserve, est clairement dérangée par la fréquentation humaine. Toutes les zones de milieu dunaire, hors ZPI, où les oiseaux tentent de nidifier, montrent peu de succès reproducteur. Les zones d'estran où les oiseaux se nourrissent sont également des zones sensibles. A ce propos, des protocoles permettant de relever les dérangements et les mouvements de fuite en période d'alimentation sur la zone d'estran, seraient appropriés. J'en ai identifié trois, à savoir ceux du CNRS-Chizé (Fritz, 2003), Collop (2016) et du RNF (Lagrange, 2018). Des inventaires sur les invertébrés ont été effectués par la Société Linéenne de Bordeaux entre 2013 et 2015 et ont révélé l'absence de certaines espèces sur les zones ostréicoles. Un protocole de suivi en ZPI et hors ZPI, dupliqué sur plusieurs zones et plusieurs années pourrait confirmer cette observation.

De tels indicateurs donneraient des arguments tangibles au gestionnaire pour être vigilant et afin d'obtenir des services de l'État un cadre réglementaire plus adapté aux enjeux de conservation de cette biodiversité. Ce qui permettrait d'ajuster la gestion sur le site.

La (sur)fréquentation pointée du doigt :

Si la fréquentation occasionne des pressions sur la vivant, elle semble également induire des infractions de la part des différents usagers, qu'il s'agisse d'entrées interdites en ZPI, de mouillages en zone non autorisée ou encore d'excès de vitesse. C'est en tout cas ce que le gestionnaire m'a demandé de vérifier à l'aide d'analyses statistiques. Comme expliqué dans les résultats, il y a en effet corrélation entre la fréquentation par les embarcations et le nombre d'infractions relevées. Ces résultats soulèvent pour le gestionnaire deux soucis majeurs. Le premier est que cela signifie davantage de pressions que la biodiversité en place ne peut supporter sans en être affectée. Le second questionne le gestionnaire quant à sa capacité de police. En effet, au-delà d'un certain seuil d'infractions, il n'est plus en mesure de sensibiliser le public à la réglementation ni de verbaliser toutes les personnes en infraction. L'arbre décisionnel de type conditionnel que j'ai proposé au gestionnaire est un très bon outil pour l'aider à établir un seuil de fréquentation et pour convaincre les services de l'État de la nécessité d'agir sur cette fréquentation. En déterminant un seuil d'infractions qu'il est en mesure de gérer, il peut déterminer à l'aide de cet arbre, combien d'embarcations maximum peuvent être présents sur la Réserve à l'instant T.

La gestion d'un site très fréquenté peut également être basée sur la « **capacité de charge** » d'un milieu, comme a pu l'expérimenter le Parc National de Port-Cros (Var), afin de limiter l'accès à l'île de Porquerolles. Elle peut être abordée à travers différents spectres. La première définition est agronome et pastorale, et concerne la capacité d'un milieu à supporter une quantité d'animaux (bétail) sans que cela ne l'altère ou le dégrade. D'un point de vue purement écologiste et en matière de gestion des espaces protégés, une **capacité de charge des écosystèmes**, est selon l'essai de Bergeron-Vervill (2013), « un seuil au-delà duquel un bien ou un service écologique commence à être dégradé et ne peut plus contribuer au bien-être des populations ». La capacité de charge est assez difficile à mesurer. Cependant, si elle est faisable pour estimer combien d'animaux d'élevage peuvent occuper une surface donnée sans en affecter le milieu (du fait que l'on connaisse l'ensemble des paramètres concernant l'espèce donnée), on peut aisément l'imaginer possible pour l'humain. En effet, d'après Triplet (2020), l'évaluation de la capacité de charge d'une destination touristique sur l'environnement se pratique déjà. Elle prend en compte à la fois l'environnement, mais également la perception des visiteurs (dégradation de l'expérience des visiteurs).

Réduire les impacts : quelques pistes

Le problème de la (sur)fréquentation a été soulevé dans les différentes missions qui m'ont été confiées. Cela s'est en effet vérifié quand j'ai effectué mes recherches sur les initiatives d'autres espaces protégés en France et à l'étranger, visant à réduire les impacts des activités humaines sur la biodiversité. Pour cela, j'ai notamment contacté plusieurs conservateurs d'autres RNN. Une fois qu'une pression est connue et mesurée, l'étape suivante consiste à la réduire voire à la supprimer. C'est en tout cas ce que rappelle le décret portant sur les Zones de Protection Forte et qui concerne la Réserve du Banc d'Arguin.

Le contingentement apparaît comme étant la solution la plus efficace mais également la plus compliquée à mettre en place. Sur la Réserve Nationale du Banc d'Arguin, l'idée semble difficile à envisager tellement les usagers sont attachés à leurs habitudes. Cela répondrait pourtant à une nécessité. Ailleurs, l'idée a été tentée par des gestionnaires et des élus. Dans le Parc National des Calanques, après avoir constaté que le site était fragilisé par l'hyper-fréquentation, ils ont mis en place des schémas opérationnels pour organiser cette fréquentation, limitant à 400 personnes par jour, et comprenant entre autres un schéma d'organisation des mouillages et un schéma d'accès. Dans la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio, en Corse, ils ont décidé de tester un contingentement saisonnier en fermant une partie de l'île entre le 15 et le 30 juin, et ce, en interdisant l'accès aux bateaux de plaisance, pour une durée de trois ans. Ils ont également mis en place des caméras de comptage des bateaux, fixées sur des rochers, afin d'avoir une idée réelle de la fréquentation. Dans le Parc Naturel Marin de la mer d'Iroise, un arrêté a été pris pour interdire les jet-skis. D'autres idées existent comme mettre en place un week-end par mois sans moteur ou encore autoriser la venue des bateaux par alternance des plaques d'immatriculation.

Un des fondamentaux en protection des espaces naturels est de communiquer et de sensibiliser le public aux enjeux de conservation qui pèsent sur le vivant, et de rappeler que nous sommes tous tributaires du maintien et de la protection des écosystèmes. Dans cet objectif, la Réserve propose déjà chaque année un grand nombre d'animations, de ballades, de sorties nature à des publics très variés – ouvre une cabane d'exposition pendant les deux mois d'été sur le banc – forme des bénévoles à sensibiliser le public aux bons usages et à la biodiversité – communique sur les réseaux sociaux – édite et diffuse

une plaquette A5 présentant les zonages à respecter et rappelant la réglementation. Triplet (2016), propose un « Petit guide du bon comportement dans la nature » afin de responsabiliser les usagers dans leurs pratiques. Son idée n'est pas de rappeler que certains usages sont interdits, et que les gens peuvent être sanctionnés, mais d'apporter des notions de bases nécessaires pour que les usagers comprennent le « pourquoi » de la conservation. La compréhension amenant ainsi plus facilement et plus naturellement à agir dans le bon sens.

Rien que durant la période estivale, près de 190000 visiteurs foulent le banc d'Arguin. Ils y passent de quelques minutes à la journée entière, dans la limite du lever au coucher du soleil. A l'exception des Zones de Protection Intégrale, les visiteurs peuvent parcourir le reste de la Réserve, sans autres restrictions. Or, comme tout milieu naturel, celui-ci évolue et la végétation dunaire, par exemple, recolonise le milieu, y compris en dehors des ZPI. Naturellement la flore terrestre s'implante et les espèces tributaires de ces milieux (invertébrés terrestres, avifaune) tentent à leur tour d'occuper ces espaces correspondant à certaines de leurs niches écologiques. Les humains et le reste de la biodiversité entrent alors en compétition pour l'espace. La bibliographie scientifique a clairement fait ressortir le piétinement comme étant une pression difficile à gérer pour le milieu dunaire. Selon Ausseur-Dolléans (1993), aménager des sentiers et imposer un cheminement en milieux dunaires pourrait être une bonne solution pour limiter les impacts.

Chaque année, ce sont plus de 55000 embarcations qui viennent sur la Réserve. Une bonne partie mouille ou vient accoster sur la zone d'estran. La bibliographie fait état de nombreux effets et impacts, notamment sur les herbiers de Zostères. Même si, notamment cette année, des patchs d'herbiers ont été bordés de piquets de bois afin d'éviter que les bateaux de les arrachent via leur hélice ou leur ancre, ces usages peuvent empêcher cette flore de coloniser son habitat naturel. Contrôler et limiter les zones de mouillage peut donc s'avérer très approprié, en plus du zonage déjà mis en place et validé chaque année par un nouvel arrêté préfectoral. Dans le Parc Naturel Marin du Golfe du Lion, en Méditerranée, des Zones de Mouillage et d'Équipements Légers (ZMEL) ont été mises en place depuis 2011. Cela signifie que l'ancrage est totalement interdit dans ces zones. A la place, des bouées spécifiques (qui ne détériorent pas le milieu), peuvent être installées, et auxquelles les embarcations ont obligation de s'amarrer pour mouiller. Dans la Réserve Naturelle de Petite Terre, en Guadeloupe, ils ont mis en place une procédure de réservation de mouillage obligatoire, au minimum 48h à l'avance. Leur système est payant et permet de contingenter et de sensibiliser, en plus de préserver directement le milieu.

Les pistes pour réduire ces impacts sont nombreuses et parfois propres à un contexte et un site bien particuliers. Cependant, il me semble très pertinent d'explorer ces possibilités pour la Réserve Naturelle du Banc d'Arguin et de préparer les usagers à de potentiels futurs changements, réglementations et aménagements. Si la réglementation en vigueur et ce nouveau décret portant sur les Zones de Protection Forte le rappelle, il est surtout essentiel de garder à l'esprit que les enjeux intrinsèques de conservation du patrimoine naturel de la Réserve parlent d'eux même. C'est une priorité pour la biodiversité et pour le monde dans lequel nous voulons vivre.

8. Conclusion

Ce stage de cinq mois au sein de la SEPANSO Aquitaine aura été une expérience très enrichissante en matière de gestion d'espace naturel protégé. Travailler sur les interactions entre activités humaines autorisées et le patrimoine naturel de la Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin m'aura permis d'avoir une approche holistique. Si le fil rouge de tout ce travail a été le décret portant sur les Zones de Protection Forte, j'aurais mené mes missions, depuis une réalité de terrain jusqu'à des pistes de réflexions pour l'avenir – en passant par des recherches bibliographiques scientifiques approfondies – par la mise en place d'indicateurs biométriques – par l'analyse statistique de données de gestion – et par le recueil d'initiatives pouvant réduire les impacts des pressions anthropiques sur la biodiversité du Banc d'Arguin.

Cette réalité de terrain, où les logiques récréatives, économiques, politiques et écologiques s'affrontent, s'entre-aident et parfois convergent, m'a permis de rencontrer de nombreux usagers et acteurs du territoire, d'assister à des réunions, des rendez-vous et un comité de gestion de la Réserve, auquel j'ai d'ailleurs présenté mon travail. Au grès de mes missions et de ces mois de stage, j'ai ainsi pu saisir toute la complexité de gérer un tel espace naturel. La mission du gestionnaire est de remplir les objectifs de son plan de gestion et également de faire en sorte que tout le monde cohabite. Force est de constater qu'il n'est pas facile (mais pas impossible) de faire cohabiter et travailler ensemble, les différents usagers, mais aussi les membres, d'horizons très variés, de ce comité de gestion. Mon travail sera, je l'espère, un outil supplémentaire pour aider le gestionnaire dans cette mission de concertation.

J'ai bon espoir également, que ce que j'ai produit, donne des clés aux services de l'État afin de prendre les mesures réglementaires nécessaires adaptées aux enjeux de conservation de cet espace protégé. En effet, l'État donne des moyens, des pouvoirs, des missions et un cadre législatif au gestionnaire. Ce dernier met en place des actions de gestion, de sensibilisation, de police, en conformité avec le Plan de gestion qu'il a rédigé et fait remonter des éléments factuels et scientifiques aux services de l'État, afin que ce dernier réajuste le cadre réglementaire quand celui-ci n'est plus adapté.

J'espère ainsi, très modestement avoir aidé au mieux le gestionnaire dans ses missions.



Photo – Œufs de Goéland sp., lors d'un suivi nidification.

9. Références bibliographiques

Bibliographie sur la flore marine

ALEXANDRE A. et al. 2005. Effects of clam harvesting on sexual reproduction of the seagrass *Zostera noltii*. Mar Ecol Prog Ser. Vol. 298 : 115-122. [Lien vers l'article](#)

ANGST B. et al. 2017. Synthèse des connaissances sur les herbiers de zostères en appui à leur gestion dans le Golfe du Morbihan. Parc du Golfe du Morbihan. [Lien vers l'article](#)

Auby Isabelle, Trut Gilles, Vignon Alan, Vignon Alan, Bujan Stephane (2009). Suivi stationnel des herbiers de zostères (*Zostera noltii* et *Zostera marina*) de la Masse d'eau côtière FRFC06 – Arcachon amont - District Hydrographique Adour-Garonne - 2007. RST/LER/AR/09-001. [Lien vers l'article](#)

AUBY I. et al. 2023. Le cuivre dans le Bassin d'Arcachon : Synthèse des connaissances. Ifremer. [Lien vers l'article](#)

AUBY I. et al. 2018. Protocoles de suivi stationnel des herbiers à zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). *Zostera marina* – *Zostera noltii*. Version 3. Ifremer. [Lien vers l'article](#)

BLAU L. et ELGER A. Suivi de la dynamique des herbiers de zostères dans l'étang de Vaccarès et de la contamination chimique dans les canaux du Fumemorte, du Versadou et du Rousty – Analyse des données pour l'année 2020 - Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement (Toulouse). [Lien vers l'article](#)

BOS A. R. et al. 2007. Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds : sediment accretion and modification. Estuarine, Coastal and shelf Science 74 (2007) 344-348. [Lien vers l'article](#)

COGNAT M. et al. 2018. Environmental factors controlling biomass development of seagrass meadows of *Zostera noltii* after a drastic decline (Arcachon Bay, France). Journal of Sea Research. Vol 140. Pages 87-104. [Lien vers l'article](#)

DEN HARTOG C. 1987. « Wasting disease » and other dynamic phenomena in *Zostera* beds. Aquatic botany, Volume 27, Issue 1, January 1987, Pages 3-14. [Lien vers l'article](#)

FOURQUIREAN et al. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. Nature Geoscience, vol 5, p. 505-509. [Lien vers l'article](#)

GACIA E. et DUARTE C. M. 2001. Sediment retention by a mediterranean *Posidonia oceanica* Meadow : The balance between deposition and resuspension. Estuarine, Coastal and Shelf Science (2001) 52, 505-514. [Lien vers l'article](#)

GAMAIN P. et al. 2018. Can pesticides, copper and seasonal water temperature explain the seagrass *Zostera noltii* decline in the Arcachon bay ? Marine pollution bulletin, 134. Pages 66-74. [Lien vers l'article](#)

GANTHY F. Rôle des herbiers de zostères (*Zostera noltii*) sur la dynamique sédimentaire du Bassin d'Arcachon - Thèse – Université de Bordeaux 1. [Lien vers l'article](#)

GERLA D. 2006, IFREMER. « Inventaire des herbiers de zostères – Baie de Saint-Malo / Rance Haut estuaire du Trieux ». [Lien vers l'article](#)

GIESEN W. et al., 1990. Wasting disease and present eelgrass condition. Rapport Dutch Ministry Transp. And Waterw. Université de Nijmegen, The Netherlands. Volume 25, Issue 3, June 1990, Pages 395-404

- HENDRIKS I. E. et al. 2008. Experimental assessment and modeling evaluation of the effects of the seagrass *Posidonia oceanica* on flow and particle trapping. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 356 : 163-173, 2008. [Lien vers l'article](#)
- HILY C. et al. 2003. The seagrasses of western Europe. *World atlas of seagrasses*. Part 2, pages 38-45. [Lien vers l'article](#)
- HILY et BOUTEILLE. 1999. Modification of the specific diversity and feeding guilds in an intertidal sediment colonized by an eelgrass meadow (*Zostera marina*). Brittany, France. [Lien vers l'article](#)
- HILY C., 2006. Fiche de synthèse sur les biocénoses : les herbiers de Zostères marines (*Zostera marina* et *Zostera noltii*). Guide méthodologique d'élaboration/ Cahier technique N°82 – DOCOB Natura 2000. [Lien vers l'article](#)
- IFREMER. Les fonds marins de Bretagne, un patrimoine remarquable – Connaître pour mieux agir. [Lien vers l'article](#)
- JONES C.G. et al. 1994. Organisms as Ecosystem Engineers - *OIKOS* Vol. 69, No. 3 (Apr., 1994), pp. 373-386. [Lien vers l'article](#)
- JONES C.G. et al. 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers - *Ecology* - Ecological Society of America – Vol 78, Issue 7, Pages 1946-1957. [Lien vers l'article](#)
- KERVELLA Y. 2010. Impact des installations ostréicoles sur l'hydrodynamique et la dynamique sédimentaire. Thèse, Université de Caen. [Lien vers l'article](#)
- LEFCHECK et al. 2017. Multiple stressors threaten the imperiled coastal foundation species eelgrass (*Zostera marina*) in Chesapeake Bay, USA - *Global Change Biology*. [Lien vers l'article](#)
- MCGOWAN A. et al. 2016. Evaluation de la variabilité entre les portions subtidales et intertidales de trois herbiers du sud de la baie Clayoquot, en Colombie -Britannique, et à l'intérieur des ces herbiers – Université Simon Fraser, Parcs Canada, Université de Victoria et Commission de coopération environnementale (CCE). [Lien vers l'article](#)
- MATEO M. A. et al. 1997. Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1997) 44, 103-110 . [Lien vers l'article](#)
- MILAZZO M. et al., 2004. Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean) : effect of anchor types in different anchoring stages - *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* - Volume 299, Issue 1, 10 February 2004, Pages 51-62. [Lien vers l'article](#)
- MONTEFALCONE M. et al., 2008. BACI design reveals the decline of the seagrass *Posidonia oceanica* induced by anchoring - *Marine Pollution Bulletin* N° 56 – 1637-1645. [Lien vers l'article](#)
- RAPOSA K. et BRADLEY M. 2009. Methods and protocols for eelgrass mapping in Rhode Island : recommendations from the Rhode Island eelgrass mapping task force . Rhode Island, États-Unis ; Narragansett Bay Research Reserve. [Lien vers l'article](#)
- SIBA, Étude des causes de régression des herbiers de zostères du Bassin d'Arcachon.
- SHORT F. et WYLLIE-ECHEVERRIA S. 1995. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental conservation* 23 (1) : 17-27. [Lien vers l'article](#)
- WARD L. G et al. 1984. The Influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment . *Marine Geology*, 59 (1984) 85-103. [Lien vers l'article](#)

WIDDOWS J. et al. 2008. Effects of seagrass beds (*Zostera noltii* and *Z. marina*) on near-bed hydrodynamics and sediment resuspension. Marine Ecology Progress Series. Vol 358 : 125-136, 2008. [Lien vers l'article](#)

Bibliographie sur la flore terrestre

ACOSTA A.T.R. et al. 2013. Passive recovery of Mediterranean coastal dunes following limitations to human trampling. In Restauration of coastal dunes. Chapter 12. [Lien vers l'article](#)

BERNARD J. et LE BIHAN O., 2015. Espace Naturel Sensible des dunes de Bon Abris. Plan de gestion 2015-2019. Commune d'Hillion (Côtes d'Armor). [Lien vers l'article](#)

CALVAO T., PESSOA M. F., CEBOLA LIDON F. 2013. Impacts of activities on coastal vegetation – A review. Emir. J. Food. Agric. 25 (12) : 926-944. [Lien vers l'article](#)

CARTEREAU M. 2014. Une nouvelle station d'Euphorbe peplis L. sur la presqu'île de Giens (Hyères, Var), végétal menacé du littoral méditerranéen. Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, 28. Pages : 155-159. [Lien vers l'article](#)

CHERPITEL T. et FILIPE M., 2018. Conservation et flore remarquable de l'Espace nature sensible de Sable -d'Or à Fréhel (Côtes-d'Armor). E.R.I.C.A, 32. Pages : 67-76. [Lien vers l'article](#)

DEFEO et al. 2008. Threats to sandy beach ecosystems : a review. Estuarine, Coastal and Shelf Science : 1-12. [Lien vers l'article](#)

DREAL des Hauts-de-France. Quelques plantes exotiques potentiellement envahissantes des Hauts-de-France. [Lien vers l'article](#)

IORIO E. et al., 2022. Les arthropodes terrestres dans les études d'impact : limites actuelles et propositions pour une meilleure prise en compte des enjeux de conservation. Revue Naturae. Art. 2022 (4). [Lien vers l'article](#)

JAULIN S. et SOLDATI F. 2005. Les dunes littorales du Languedoc-Roussillon. Guide méthodologique d'évaluation de leur état de conservation à travers l'étude des cortèges spécialisés de Coléoptères. [Lien vers l'article](#)

LEMAUVIEL S. 2000. Les dunes grises des côtes atlantiques : fonctionnement, dynamique potentielle, principes de gestion conservatoire et processus de restauration. Theses.fr

LEMAUVIEL S., GALLET S. et ROZE F. 2003. Gestion durable des dunes fixées : exemple d'un site pilote en Bretagne (France). [Lien vers l'article](#)

LEMAUVIEL S. et ROZE F., 2003. Response of three plant Communities to trampling in a sand dune system in Brittany (France). Environmental Managment, 31. Pages : 227-235. [Lien vers l'article](#)

MULLER S. 2000. Les espèces végétales invasives en France : Bilan des connaissances et propositions d'actions. Revue d'Écologie, Terre et Vie, 2000. Sup7. pp : 53-70. hal-03529250. [Lien vers l'article](#)

PROVENCHER L. et TREMBLEY E., 2002. Étude d'impacts des visiteurs sur la végétation dunaire de l'Île Barrière de Richibouctou-Nord. Géographie et Télédétection. Bulletin de recherche N°163-164. [Lien vers l'article](#)

RICKARD C. A., MCLACHLAN A., KERLEY G.I.H. 1994. The effect of vehicular and pedestrian traffic on dune vegetation in South Africa. Ocean and Coastal Management. Vol 23. Issue 3. Pages : 225-247. [Lien vers l'article](#)

SANTORO R., et al. 2012. Effects of trampling limitation on coastal dune plant communities. *Environment Management* 49. Pages : 534-542. [Lien vers l'article](#)

Bibliographie sur l'avifaune

ANNEZO J.P. et HAMON D. 1989. Prédation par les limicoles de la macrofaune intertidale en baie de Saint-Brieuc. *Projet EUPHORBE*. Ifremer. [Lien vers l'article](#)

ERARD C. TAMISIER, A et DEHORTER O. 1999. Camargue, canards et foulques. Fonctionnement et devenir d'un prestigieux quartier d'hiver. Centre Ornithologique du Gard, Nîmes. In : *Revue d'Ecologie (La Terre et La Vie)*, tome 54, n°2, 1999. pp. 199-200. [Lien vers l'article](#)

de ROSS G. et SCHAAFSMA W. 1981. Is recreation affecting the number of birds' nests ? A case study . *Statistica neerlandica*. Vol. 35, Issue 2. Pages 69-90. [Lien vers l'article](#)

FOX et MADSEN. 1997. Behavioural and distributional effects of hunting disturbance on waterbirds in Europe : implication for refuge design. *Journal of Applied Ecology*, 34. Pages 1-13. [Lien vers l'article](#)

GOMEZ-SERRANO MÁ. Et LOPEZ-LOPEZ P. 2014. Nest Site Selection by Kentish Plover Suggests a Trade-Off between Nest-Crypsis and Predator Detection Strategies . *PLoS ONE* 9(9): 107-121. [Lien vers l'article](#)

GOSS-CUSTARD, J.D, TRIPLET P., SUEUR F. et WEST A.D. 2006. Critical thresholds of disturbance by people and raptors in foraging wading birds. *Biological conservation*, N° 127, p88-97. [Lien vers l'article](#)

HALL K. R. L. 1960. Egg-Covering by the white-fronted sandplover *Charadrius marginatus*. *IBIS* 102. Issus 4. Pages 545-553. [Lien vers l'article](#)

HOLBERTON et al. 1996. The corticosterone stress response in Gentoo and king penguins during the non-fasting period. *The Cooper Ornithological Society. The Condor* N°98. Pages 850-854 ? [Lien vers l'article](#)

JARVIS P.J. 2005. Reactions of animals to human disturbance, with particular reference to flight initiation distance. *Recent Research Developments in Ecology*, n°3. Pages 1-20. [Lien vers l'article](#)

LE ROUX Cécile, 2019, Le dérangement des oiseaux d'eau : état de l'art et protocole de suivi applicable au Parc Naturel Marin Estuaire de Gironde – mer de Pertuis – ONCFS – Direction de la recherche et de l'expertise – Unité Avifaune Migratrice – Université de Montpellier. [Lien vers l'article](#)

LE CORRE Nicolas, 2009. Le dérangement de l'avifaune sur les sites naturels protégés de Bretagne : état des lieux, enjeux et réflexions autour d'un outil d'étude des interactions hommes/oiseaux – Université de Brest - Unité Mixte de Recherche Laboratoire Géomer. [Lien vers l'article](#)

MUNIER Robin, 2019. Spatialisation et qualification des interactions entre l'avifaune et les activités de loisirs dans le parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer de pertuis, Mémoire de Master 2 – Master Sciences pour l'environnement parcours Géographie appliquée à la gestion des littoraux. La Rochelle Université. [Lien vers l'article](#)

MURCHISON C.R. et al., 2015. Human activity and habitat characteristics influence shorebird habitat use and behaviour at a Vancouver Island migratory stopover site. *Environmental Management* 58. Pages 386-398. [Lien vers l'article](#)

OWENS N.W. 1977. Responses of wintering Brent Geese to human disturbance. *Wildfowl* N° 28, p5-14. [Lien vers l'article](#)

PAULI B.P. et al., 2017. Forecasting disturbance effects on wildlife : tolerance does not mitigate effects of increased recreation on wildlands. *Animal Conservation* n°20. Pages 251-260. [Lien vers l'article](#)

PENDLETON L., et al. 2012. Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. PLoS ONE 7(9): e43542. [Lien vers l'article](#)

PEUZIAT I., 2005. Pratiques, représentations et impacts de la fréquentation nautique de loisir dans les espaces insulaires. Le cas de l'archipel de Glénan (France) – Université de Bretagne occidentale – Institut universitaire européen de la mer GEOMER CNRS. [Lien vers l'article](#)

PRIMI L., 2022. Caractérisation des sites de nidification de l'Huîtrier-pie (*Haematopus ostralegus* L., 1758) et du Gravelot à collier interrompu (*Charadrius alexandrinus* L. 1758) par la végétation à la Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin et bilan de leur succès d'incubation sur 13 ans – Master Patrimoine Naturel et Biodiversité – Université de Rennes 1 – SEPANSO Aquitaine.

ROMERO L.M et REMAGE-HEALEY L. 2000. Daily and seasonal variation in Response to stress in captive starlings (*Sturnus vulgaris*) : Corticosterone. Elsevier. General and Comparative Endocrinology. Vol. 119. Issue 1. Pages 52-59. [Lien vers l'article](#)

SMIT Cor J. and VISSER Georges J.M. 1993. Effects of disturbance on shorebirds : a summary of existing knowledge from the Dutch Wadden Sea and Delta aerea. [Lien vers l'article](#)

TAMISIER A. 1980. Cumul d'activités et saturation des milieux. Bull. Mens. ONC, N° sp. Sci et Tech. 1980- p235-241.

TAMISIER A., BECHET A., JARRY G., LEFEUVRE J.-C., LE MAHO Y.. 2003. Effet du dérangement par la chasse sur les oiseaux d'eau – Revue de littérature – Revue d'écologie (La Terre et la Vie) – p435-449. [Lien vers l'article](#)

TRIPLET P. et al., 2009. Définir, analyser et prendre en compte les dérangements dans la gestion d'un site . Revue Garde n°67. Pages 4-6. [Lien vers l'article](#)

TRIPLET et SCHRICKE, 1998. Les facteurs de dérangements des oiseaux d'eau: synthèse bibliographique des études abordant ce thème en France, Bull. mens. ONC, 235, pp. 20-27. [Lien vers l'article](#)

TRIPLET et al., 2003. Activités humaines et dérangements : l'exemple des oiseaux d'eau. *Alauda*, vol.71, N°3. Pages 305-316.

WERHULST et al., 2001. Experimental evidence for effects of human disturbance on foraging and parental care in oystercatchers. Elsevier. Biological Conservation 101 : 375-380. [Lien vers l'article](#)

Williamson K. 1943. The behaviour Pattern of the Western Oyster-catcher (*Haematopus ostralegus occidentalis* Neumann) in Defense of Nests and Young. IBIS 85, Issue 4. Pages 486-490. [Lien vers l'article](#)

ZUCCA Maxime, 3ième édition (Sud Ouest) 2021, La migration des oiseaux – Comprendre les voyageurs du ciel – p106-107.

Bibliographie mammifères marins

ABGRALL P. et al. 2009. Updated review of scientific Information on impacts of seismic survey sound on marine mammals 2004-present. Canadian Science Advisory Secretariat = Secrétariat canadien de consultation scientifique, 2009.

BARCELO A. et al. 2014. La nage avec les cétacés : une activité perturbante pour les mammifères marins et dangereuse pour les pratiquants au sein du Sanctuaire Pelagos (Méditerranée nord-occidentale). Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, 28. pp 49-64. [Lien vers l'article](#)

BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE), 2004. Les enjeux des levés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Rapport d'enquête et d'audience publique, n° 193, Gouvernement du Québec, 128p. [Lien vers l'article](#)

BARCELO et al. 2013. Gouvernance et animation du Santuaire PELAGOS, la première aire marine protégée transfrontalière de haute mer destinée à la protection des mammifères marins (Méditerranée). Sci. Rep. Port-Cros natl Park, 27 : 451-460. [Lien vers l'article](#)

GAUTHIER et al. 2015. Quels impacts pour les mammifères marins. Vecteur Environnement. Montréal. Vol. 48, N°1 : 44-49. [Lien vers l'article](#)

KOSTECKI C., LE PAPE O. et BRIND'AMOUR A. 2012. Pressions biologiques et impacts associés. Eléments de synthèse. Impacts cumulatifs et synergiques : l'exemple des mammifères marins. [Lien vers l'article](#)

MAYOL P. et al. 2014. Le whale-watching en Méditerranée française : état des lieux et recommandations. Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, 28 : 133-143. [Lien vers l'article](#)

OBSERVATOIRE PELAGIS- CNRS. Site Internet : [Lien vers l'article](#)

PETIT A., SCHUHL A. et al. CNRS. 2021. Impacts acoustiques des projets éoliens en mer sur la faune marine. Compartiment des mammifères marins, des poissons et des invertébrés. Rapport et synthèse de l'expertise scientifique collective. [Lien vers l'article](#)

RICHARDSON W.J., GREENE C.R. Jr, MALME C.I. et THOMSON D.H. 1995. Marine mammals and noise. Academic Press, San Diego, CA. 576pp. [Lien vers l'article](#)

SECRÉTARIAT CHARGE DE LA MER. Avancées pour la préservation de l'environnement marin en mer Méditerranée. [Lien vers l'article](#)

SOUTHALL B. L. et al. 2007. Marine mammal noise exposure criteria : initial scientific recommendations. Aquatic Mammals, 33(4), 411-521. [Lien vers l'article](#)

VAN CANNEYT O., et al. 2015. Guide des échouages de mammifères marins. Cahier technique de l'Observatoire PELAGIS sur le suivi de la mégafaune marine. Université de la Rochelle et CNRS, 64 pages. DOI : 10.13140/RG.2.1.1495.6002. [Lien vers l'article](#)

Bibliographie sur les invertébrés terrestres

IRMLER U. 2012. Effects of Habitat and Human Activities on species richness and assemblages of Staphylinidae (Coleoptera) in the Baltic Sea Coast », Psyche : A Journal of Entomology. Vol 2012. Article ID 879715. [Lien vers l'article](#)

KOVOOR J. et MUNOS-CUEVAS A. 2000. Diversité des Arachnides dans les îles d'Hyères (Porquerolles et Port-Cros, Var, France). Modification au cours du XXe siècle. Zoosystema 22 (1) : 33-69. [Lien vers l'article](#)

LECLERCQ V. 2019. Enjeux de conservation des abeilles sauvages (Apoidea : Anthophila) sur un réseau de réserves naturelles. Analyses statistiques. Mémoire de Master B.E.E. [Lien vers l'article](#)

MAHE Gilles. 2009. Les abeilles du genre Colletes (Hymenoptera, Colletidae) en Presqu'île guérandaise (Loire-Atlantique, France). Osmia n°3 : 7-11. [Lien vers l'article](#)

MALLARD F. 2016. Programme les sentinelles du climat. Tome I : Développement d'indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine. C. Nature, 2016. hal-01778463v2. [Lien vers l'article](#)

MOFFETT et al. (1998). Impact of trampling on sandy beach macrofauna. *Journal of Coastal Conservation* 4: 87-90. [Lien vers l'article](#)

Société Linnéenne de Bordeaux. 2014-2015. Données entomologiques sur la Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin (La Test-de-Buch, Gironde). Plan de gestion (2022-2031) de la RNN du Banc d'Arguin

SOLDATI F. 1995. Les Tenebrionidae de l'Hérault : inventaire et écologie (Coleoptera). *Bulletin de la Société entomologique de France*. 100. Pages : 261-275. [Lien vers l'article](#)

LECLERCQ V. 2019. Enjeux de conservation des abeilles sauvages (Apoidea : Anthophila) sur un réseau de réserves naturelles. Analyse statistique. Mémoire de Master. Université de Paris-Saclay. [Lien vers l'article](#)

Bibliographie sur les invertébrés marins

ANDRE M. et al. 2011. Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9. Pages 489-493. [Lien vers l'article](#)

ARCHAMBAULT P. et al. 2017. Les hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent – Enjeux sociaux, économiques et environnementaux. *Notre Golfe*, Rimouski, Qc, Canada, 324p. [Lien vers l'article](#)

AMAR R. 2010. Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes marins : exemple de la Manche-mer du nord. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, (8). [Lien vers l'article](#)

Bacles, C. F. E., Lowe, A. J., Ennos, R. A. 2006. Effective seed dispersal across a fragmented landscape. *Science* 311:628. [Lien vers l'article](#)

BASSIM S. et al. 2014. Ontogeny of bivalve immunity : accessing the potential of next-generation sequencing techniques. *Reviews in Aquaculture* 6. pages : 1-21. [Lien vers l'article](#)

BATTLE M. et al. 2000. Global carbon sinks and their variability inferred from atmospheric O₂ and δ¹³C. *Science*, 287 : 2467-2470. [Lien vers l'article](#)

BLANCHARD M. 2004. Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France. *Marine Ecology Progress series*. Vol. 280 : 249-260. [Lien vers l'article](#)

BLANCHARD M. 2012. Pressions physiques et impacts associés. Pertes et dommages physiques. Impacts cumulatifs des pertes et dommages physiques. IFREMER, Brest. [Lien vers l'article](#)

Brooks, T. M., S. L. Pimm, and J. O. Oyugi. 1999. Time lag between deforestation and bird extinctions in tropical forest fragments. *Conservation Biology* 13:1140–1150. [Lien vers l'article](#)

CHARIFI M. 2018. Etude de l'impact de la pollution sonore chez un invertébré marin, l'huître *Magallana gigas* : approches écophysiologique, écotoxicologique et éthologique au laboratoire et sur le terrain. *Écologie, Environnement*. Université de Bordeaux, 2018. Français. NNT : 2018BORD0154. Tel-01905383. [Lien vers l'article](#)

Charifi M, Sow M, Ciret P, Benomar S, Massabuau J-C (2017) The sense of hearing in the Pacific oyster, *Magallana gigas*. *PLoS ONE* 12(10): e0185353. [Lien vers l'article](#)

CHARLES L. 2007. Premier signalement de *Musculista senhousia* (Benson un Cantor, 1842) (Bivalvia, Mytilidae) sur la côte atlantique française ; nouvelle espèce invasive dans le bassin d'Arcachon. *Bulletin de la Société Linnéenne de Bordeaux*, 142. Pages : 45-52. [Lien vers l'article](#)

CNRS. 2021. Impacts acoustiques des projets éoliens en mer sur la faune marine. Compartiment des mammifères marins, des poissons et des invertébrés. Rapport et synthèse de l'expertise scientifique collective. [Lien vers l'article](#)

CURY P. et al. 2008. Une mer sans poissons. Ed. Calmann-Lévy. 257p. [Lien vers l'article](#)

DULVY N.K. et al. 2003. Extinction vulnerability in marine populations. Fish and fisheries, 4, pages 25-64. [Lien vers l'article](#)

GARCIA-MEUNIER P. et al. 2000. Anthropisation et introductions d'espèces exogènes : mise en place de l'analyse génétique d'une population invasive de bigorneaux perceurs *Ocenebrellus inornatus* (Recluz, 1851) dans le bassin de Marennes-Oléron. Ifremer. [Lien vers l'article](#)

GILBERT D. et al. 2005. A seventy-two year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary : The northwest Atlantic connection. Limnology and Oceanography. Vol. 50. Pages : 1654-1666. [Lien vers l'article](#)

HARLEY C.D.G et al. 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. Ecology Letters 9 : 228-241. [Lien vers l'article](#)

HIDDINK S. et al. 2006. Cumulative impacts of seabed trawl disturbance on benthic biomass, production, and species richness in different habitats. Can J Fish Aquat Sci. 63. Pages : 721-36. [Lien vers l'article](#)

HILY C. et FERNINON F. 2012. Caractéristiques et état écologique. Mers celtiques. État biologique : Caractéristiques biologiques – biocénoses. Habitats particuliers du médiolittoral. Ifremer. [Lien vers l'article](#)

JACQUET S. 2021. Que de bruit dans l'océan. Subaqua (Marseille), 2021, 296, pp.12-13. Hal-03770099. [Lien vers l'article](#)

KILLEN S.S. et al. 2013. Environmental stressors alter relationships between physiology and behaviour. Trends in Ecology and Evolution 28 : 651-658. DOI : 10.1016/j.tree.2013.05.005. [Lien vers l'article](#)

LAVOIE et al. 2015. The Gulf of St Lawrence biogeochemical model : a tool to study the evolution of hypoxic conditions and other habitat changes. ICES CM 2015/R : 14. [Lien vers l'article](#)

LORANCE P. et al. 2011. Contribution thématique DCSMM évaluation de l'état initial « pression et impact » - pression « abrasion » dans la sous-région marine golfe de Gascogne. [Lien vers l'article](#)

MIRON G. 1994. Effects of mercury on the ventilation behaviour of the polychaete *Nereis virens* (Sars). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 184. pages : 67-81. [Lien vers l'article](#)

PENG C. et al. 2016. Effects of anthropogenic sound on digging behavior, metabolism, Ca²⁺/Mg²⁺ ATPase activity, and metabolism related gene expression of the bivalve *Sinonovacula constricta*. Scientific Reports 6. N° 24266. [Lien vers l'article](#)

Riba, M., et al. 2009. Darwin's wind hypothesis: does it work for plant dispersal in fragmented habitats? New Phytologist 183: 667- 677. [Lien vers l'article](#)

RICE J. et al. 2010. Marine strategy Framework directive – Task Group 6 Report Seafloor integrity. ICES/JRC (Joint Research Council), Ref. EUR 24334 EN – 2010, 81p. [Lien vers l'article](#)

RYBARCZYK H. et al. 1995. L'eutrophisation en Baie de Somme : mortalités des peuplements benthiques par anoxie. Eceanologica Acta. Vol. 19 N°2. Pages : 131-140. [Lien vers l'article](#)

SAFINA C. 1998. Scorched-Earth Fishing. Issues in Science and technology. Vol. 14, N° 3. pages : 33-36. [Lien vers l'article](#)

SAURIAU P-G. Et RINCE J-P. 1989. Organisation trophique de la malcofaune benthique non cultivée du bassin ostréicole de Marennes-Oléron. Oceanologica acta. Paris 12.2. pp : 193-204. [Lien vers l'article](#)

SOLAN M et al. 2016. Anthropogenic sources of underwater sound can modify how sediment-dwelling invertebrates mediate ecosystem properties. Scientific Reports 6. N° 20540. [Lien vers l'article](#)

SOLE M. et al. 2013. Does exposure to noise from human activities compromise sensory information from cephalopod statocysts ? Deep Sea Research Part II : Topical Studies in Oceanography, 95. Pages : 160-181. [Lien vers l'article](#)

SOLE M. Et al. 2017. Offshore exposure experiments on cuttlefish indicate received sound pressure and particle motion levels associated with acoustic trauma. Scientific Reports, 7. Art. 45899. [Lien vers l'article](#)

TILLIN H. M. et al. 2006. Chronic bottom trawling alters the functional composition of benthic invertebrate communities on a sea-basin scale. Marine Ecology Progress Series. Vol : 318 : 31-45. [Lien vers l'article](#)

Thompson, J. D. et Ronce, O., 2010. Fragmentation des habitats et dynamique de la biodiversité. Regard R6 du 18/11/10. 5p. [Lien vers l'article](#)

VAZZANA M. et al. 2016. Are mussels able to distinguish underwater sounds ? Assessment of the reactions of *Mytilus galloprovincialis* after exposure to labgenerated acoustic signals. Comparative Biochemistry and Physiology Part A : Molecular & Integrative Physiology. Vol 201. Pages : 61-70. [Lien vers l'article](#)

Bibliographie Ichtyofaune

AMARA R. 2011. L'homme et la biodiversité marine : les liaisons dangereuses. Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie N°23. Pp : 6-21. [Lien vers l'article](#)

ARUKWE A. 2001. Cellular and molecular responses to endocrine-modulators and the impact on fish reproduction. Marine Pollution Bulletin. Vol. 42. Issue 8. pp 643-655. [Lien vers l'article](#)

ASPLUND T.R. et COOK C.M. 2009. Effets of motor boats on submerged aquatic macrophytes. Lake and Reservoir Management. Vol.13. Issue 1. pp 1-12. [Lien vers l'article](#)

BECK M.W. et al. 2003. The rôle of nearshore ecosystems as fish and shellfish nurseries. Bioscience. [Lien vers l'article](#)

BELL S.S. et al. 2001. Faunal response to fragmentation in seagrass habitats : implications for seagrass conservation. Biological Conservation. Vol. 100. pp 115-123. [Lien vers l'article](#)

BRAWN V.M. 1961. Sound Production by the cod (*Gadus callarias* L.). Behaviour, 18 (4), pp : 239-255. [Lien vers l'article](#)

CODARIN A. et al. 2009. Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy). Marine Pollution Bulletin 58, pp : 1880-1887. [Lien vers l'article](#)

COOKE S.J. et al. 2003. Cardiovascular responses of largemouth bass to exhaustive exercise and brief air exposure over a range of water temperatures. Transactions of the American Fisheries Society 132,6. pp 1154-1165. [Lien vers l'article](#)

COLSON D.J. et al. 1998. Sound production during feeding in Hippocampus seahorses (Syngnathidae). Environmental Biology of Fishes 51, pp 221-229. [Lien vers l'article](#)

- COURRAT A. et al. 2009. Anthropogenic disturbance on nursery function of estuarine areas for marine species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81(2). pp 179-190. [Lien vers l'article](#)
- COUVRAY et al. 2011. Pollution, pêche et modifications d'habitats : quelles conséquences sur les ressources marines littorales ? *Mar. Life – Vol. 17*. pp : 47-54. [Lien vers l'article](#)
- FAO, 2022. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. [Lien vers l'article](#)
- FRANCO A. et al. 2008. Life strategies of fishes in European estuaries : the functional guild approach. *Marine Ecology Progress Series* 354. pp : 219-228. [Lien vers l'article](#)
- FRANZELLITTI S. et al. 2019. Microplastic exposure and effects in aquatic organisms : A physiological perspective. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 68. ISSN 1382-6689. [Lien vers l'article](#)
- FRECHET A. et al. 2007. Mise à jour concernant les mortalités par pêche non comptabilisées. Pêches et Océans Canada. Document de recherche 2006/086. [Lien vers l'article](#)
- GALGANI F. et al. 2020. Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques. Techniques de l'ingénieur. Génie industriel/ Emballages. hal-03048415v2. [Lien vers l'article](#)
- GRAHAM A.L. et COOKE S.J. 2008. The effects of noise disturbance from various recreational boating activities common to inland waters on the cardiac physiology of a freshwater fish, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquatic Conserv : Mar. Freshw. Ecosyst.* 18. pp : 1315-1324. [Lien vers l'article](#)
- GUIDETTI P. et al. 2002. Coastal fish indicate human-induced changes in the Mediterranean littoral. *Marine Environmental Research* 53. pp 77-94. [Lien vers l'article](#)
- GUIDETTI P. et al. 2003. Changes in Mediterranean rocky-reef fish assemblages exposed to sewage pollution. *Marine Ecology Progress Series*. Vol 253. pp 269-278. [Lien vers l'article](#)
- JACOB H. 2019. Effets des microplastiques sur les jeunes stades de vie des poissons marins. Thèse de doctorat de l'Université PSL. [Lien vers l'article](#)
- KNOERY J. 2012. Mers celtiques. Pressions chimiques et impacts associés. Contamination par des substances dangereuses. Impacts des substances chimiques sur l'écosystème. IFREMER. [Lien vers l'article](#)
- KNOERY J. et al. 2012. Méditerranée occidentale. Pressions chimiques et impacts associés. Contamination par des substances dangereuses. Impacts des substances chimiques sur l'écosystème. IFREMER. [Lien vers l'article](#)
- LE PAPE O., et al. 2003. Quality of coastal and estuarine essential fish habitats : estimations based on the size of juvenile common sole (*Solea solea*). *Estuarine, coastal and shelf science*, 58 (4). pp : 793-803. [Lien vers l'article](#)
- MILLER J.M. et al. 1984. Patterns, mechanisms and approaches to the study of migrations of estuarine-dependent fish larvae and juveniles. *Mechanisms of migration on fishes*. Boston, MA, Springer US : 209-225. [Lien vers l'article](#)
- MILLER D. et al. 2002. Determination of lethal dissolved oxygen levels for selected marine and estuarine fishes, crustaceans, and a bivalve. *Marine Biology* 140. pp 287-296. [Lien vers l'article](#)
- MORIZUR Y. et al. 1996. Les rejets dans la pêche artisanale de Manche occidentale. Ifremer. [Lien vers l'article](#)
- MUELLER G. 1980. Effects of recreational river traffic on nest defense by longear sunfish. *Transactions of the American Fisheries Society* 109. pp 248-251. [Lien vers l'article](#)

- PAULY D et al. 1998. Fishing down marine food webs. Science 279 : 860-863. [Lien vers l'article](#)
- PETERSON M.S. 2003. A conceptual view of environment-habitat-production linkages in tidal river estuaries. Reviews in Fisheries Sciences 11 (4). pp : 291-313. [Lien vers l'article](#)
- POPPER A.N. et al. 2003. Anthropogenic sound : effects on the behaviour and physiology of fishes. Marine Technology Society Journal 37. 4. pp 35-40. [Lien vers l'article](#)
- PRIEDE I.G. 1985. Metabolic scope in fishes. In Fish Energetics : New Perspectives. Dordrecht : Springer Netherlands. Pp 33-64. [Lien vers l'article](#)
- ROCHE H. 2011. Perturbateurs endocriniens et écosystèmes. Médecine et Longévité. Vol. 3, Issue 2, pp 56-60. [Lien vers l'article](#)
- SCHOLIK A.R. et YAN H.Y. 2001. Effects of boat engine noise on the auditory sensitivity of the fathead minnow, Pimephales promelas. Environmental Biology of fishes 63. pp 203-209. [Lien vers l'article](#)
- Vabø R. et al. 2002. The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring. Fisheries Research 58. pp 59-77. [Lien vers l'article](#)
- van der OOST R. et al. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment : a review. Environmentam Toxicology and Pharmacology 13. pp 57-149. [Lien vers l'article](#)
- VERMAAT J.E. et DE BRUYNE R.J. 1993. Factors limiting the distribution of submerged waterplants in the lowland River Vecht (The Netherlands). Freshwater Biology. Vol. 30, Issue 1. pp 147-157. [Lien vers l'article](#)
- WANG W. et al. 2019. The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human : A review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol 173. pp 110-117. [Lien vers l'article](#)
- WYSOCKI L.E. et al. 2006. Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. Biological Conservation 128. pp 501-508. [Lien vers l'article](#)
- YORK D. 1994. Recreational-boating disturbances of natural communities and wildlife : an annotated bibliography. Vol. 22. US Department of the Interior, National Biological Survey. [Lien vers l'article](#)
- ZIEMAN J. 1976. The ecological effects of physical damage from motor boats on turtle grass beds in Southern Florida. Aquatic Botany. Vol. 2. pp 127-139. [Lien vers l'article](#)

Autres liens

- AUSSEUR-DOLLEANS. 1993. Aménager vos sentiers en milieu dunaire. Ministère de l'Environnement. [Lien vers l'article](#)
- INVENTAIRE NATIONAL DU PATRIMOINE NATUREL. [Lien vers le site](#)
- PARC NATIONAL DE PORT CROS. [Lien vers le site](#)
- PARC NATIONAL DES CALANQUES. [Lien vers le site](#)
[Lien vers un article](#)
- PARC NATUREL MARIN DE LA MER D'IROISE. [Lien vers le site](#)
- PARC NATUREL MARIN DU GOLF DU LION. [Lien vers le site](#)
- RÉSERVE NATURELLE DE PETITE TERRE. Guadeloupe. [Lien vers le site](#)

RÉSERVE NATURELLE DES BOUCHES DE BONIFACIO. [Lien vers le site](#)
[Lien vers un article](#)

TRIPLET P., 2016. Petit guide du bon comportement dans la nature. [Lien vers le guide](#)

TRIPLET P., 2020. Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature. Sixième édition. 1216P. [Lien vers l'article](#)

10. Table des figures

Figure 1 – Organigramme présentant les 3 axes de travail principaux de la SEPANSO, ainsi que les 4 missions sur la RNN du Banc d'Arguin.

Figure 2 – Localisation géographique de la RNN du Banc d'Arguin (SEPANSO)

Figure 3 – Plan opérationnel pour la réalisation du protocole sur le terrain

Figure 4 – Index permettant de mesurer le pourcentage de « wasting disease » sur les feuilles de *Zostera*.

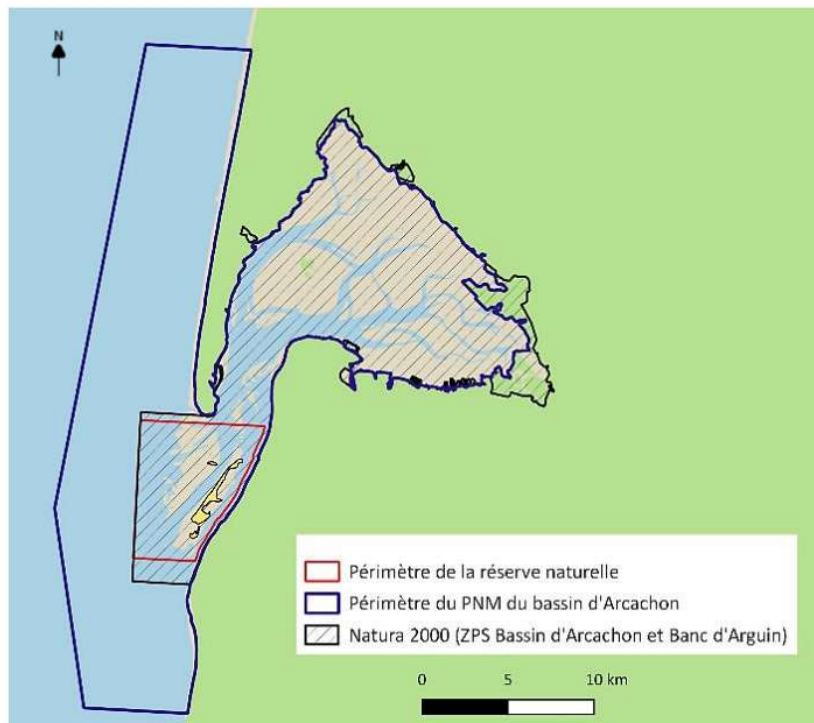
Figure 5 – Nuage de point représentant la relation entre le nombre d'infractions journalier et le pic de fréquentation journalier réalisé sur Rstudio

Figure 6 – Arbre décisionnel de type conditionnel réalisé sur Rstudio

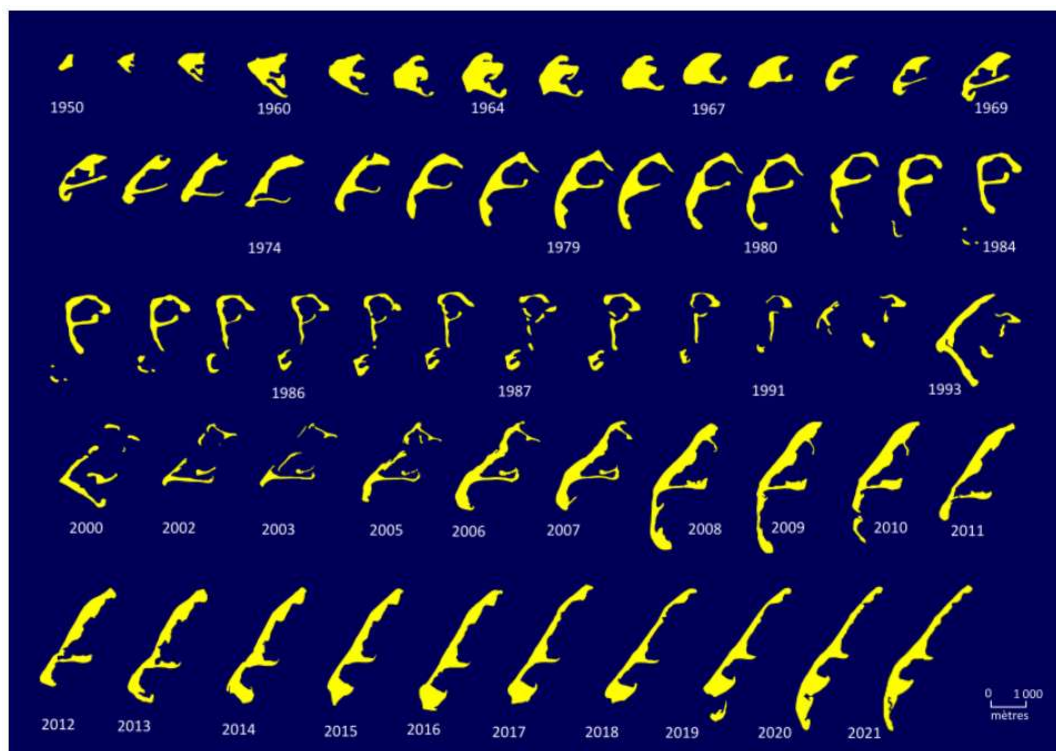
Toutes les photos prises dans ce dossier sont d'Aurélia Puerta.

11. Annexes

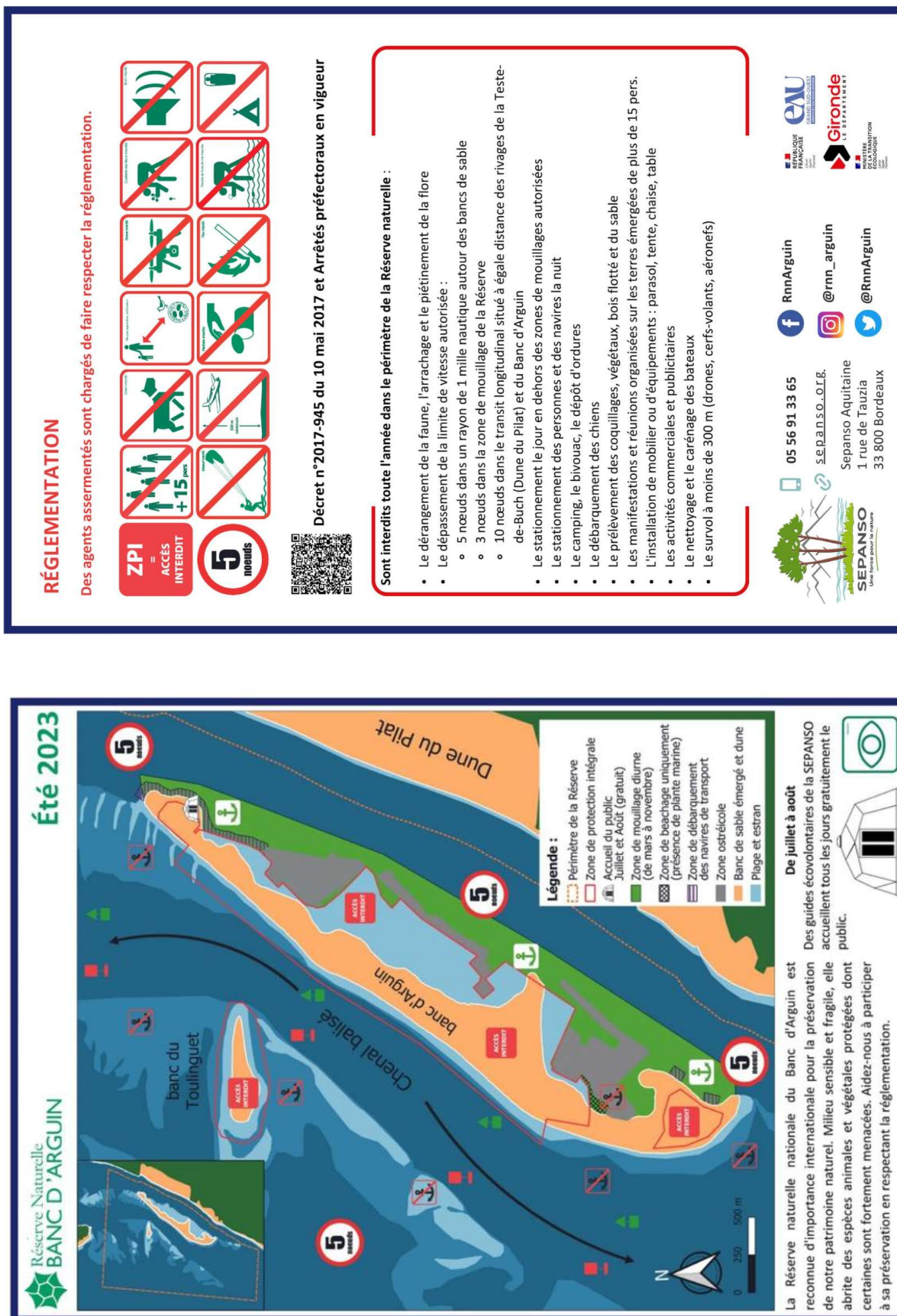
Annexe 1 – Cartes des zonages du PNM du Bassin d’Arcachon et des sites Natura 2000



Annexe 2 – Cartes de l'évolution du Banc d'Arguin entre 1950 et 2021 (SEPANSO)



Annexe 3 – Carte des zonages et réglementation de la RNN du Banc d'Arguin – 2023.
Brochure cartonnée diffusée sur le Bassin d'Arcachon. Recto et verso



Annexe 4 – Composition du Comité consultatif de gestion

Comité consultatif de gestion, présidé par le Préfet de département, se compose de 28 membres, appartenant à 5 collèges différents :

• administration et établissements publics de l'État ;
• élus locaux représentant les collectivités territoriales ;
• organismes ou représentants d'usagers (plaisance, ostréiculture, pêche, transport maritime de passagers) ;
• associations de protection de la nature ;
• personnes morales ou physiques qualifiées (gestionnaires d'espaces naturels protégés, scientifiques généralistes ou spécialisé).

Annexe 5 – tableau listant l'ensemble des arrêtés et décrets relatifs à la RNN du Banc D'Arguin

4 août 1972	Arrêté ministériel (Annexe A) portant création de la réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin
9 janvier 1986	Décret ministériel 86-53 de création de la Réserve (Annexe B), portant sur les installations ostréicoles dont seules celles figurant sur le plan de localisation annexé au décret sont autorisées, les limitant en nombre et en surface (5ha)
17 juillet 1995	Arrêté préfectoral portant création de la première Zone de Protection Intégrale (ZPI) de la Réserve
10 mai 2017	Décret ministériel 2017-945 (Annexe C) portant modification et extension de la Réserve qui prévoit l'obligation préfectorale de délimiter une zone de protection renforcée, une ou plusieurs zones de protection intégrale, une ou plusieurs zones de mouillage diurne ainsi que l'obligation de fixer les modalités d'accostage des sociétés de transport maritime de passagers. L'ostréiculture et la pêche peuvent être autorisées
4 août 2017	Arrêté préfectoral portant création de deux ZPI
6 avril 2018	Arrêté préfectoral autorisant et réglementant la pêche maritime jusqu'au 31 décembre 2020
7 juin 2018	Arrêté préfectoral portant création d'une Zone de Protection Renforcée (ZPR) et de 3 zones d'implantation ostréicoles (ZIO)
12 juin 2018	Arrêté préfectoral délimitant et réglementant une zone autorisée au mouillage et au stationnement diurnes des navires Arrêté réglementant les conditions d'accostage des navires de sociétés de transport maritime de passagers (deux points d'accostage autorisés).
13 juin 2019	Arrêté préfectoral de création de trois ZPI
3 juin 2022	Arrêté préfectoral portant modification de zones de protection intégrale au sein de la réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin
12 avril 2022	Arrêté ministériel sur les Zones de Protection Fortes (ZPF), pris en application de l'article L. 110-4 du code de l'environnement et définissant la notion de protection forte et les modalités de la mise en œuvre de cette protection forte

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Décret n° 2022-527 du 12 avril 2022 pris en application de l'article L. 110-4 du code de l'environnement et définissant la notion de protection forte et les modalités de la mise en œuvre de cette protection forte

NOR : TREL2134740D

Publics concernés : particuliers, associations, collectivités et professionnels.

Objet : définition et modalités de mise en œuvre de la protection forte au sens de la stratégie nationale des aires protégées.

Entrée en vigueur : le texte entre en vigueur le lendemain de sa publication.

Notice : l'article L. 110-4 du code de l'environnement inscrit dans la loi le principe d'une stratégie nationale des aires protégées qui vise à couvrir 30 % du territoire national par un réseau d'aires protégées et 10 % de ce même territoire sous protection forte. Le présent décret détermine les conditions de la reconnaissance des zones de protection forte pour les espaces terrestres et marins. Cette reconnaissance est automatique pour un certain nombre d'outils. Dans les autres cas, la reconnaissance intervient après un examen au cas par cas au regard de critères, à travers une procédure régionalisée et sur décision des ministres compétents. La liste des zones reconnues sous protection forte sera mise à jour régulièrement afin de suivre l'atteinte des cibles de la stratégie nationale des aires protégées.

Références : le présent décret peut être consulté sur le site Légifrance (<https://www.legifrance.gouv.fr>).

Le Premier ministre,

Sur le rapport de la ministre de la transition écologique,

Vu le code de l'environnement ;

Vu le code de l'urbanisme ;

Vu le code forestier ;

Vu le décret n° 2004-112 du 6 février 2004 relatif à l'organisation de l'action de l'Etat en mer ;

Vu le décret n° 2005-1514 du 6 décembre 2005 modifié relatif à l'organisation outre-mer de l'action de l'Etat en mer ;

Vu l'avis du Conseil national de la protection de la nature en date du 27 janvier 2022 ;

Vu l'avis du Comité national de la biodiversité en date du 3 février 2022 ;

Vu l'avis du Conseil national de la mer et des littoraux en date du 7 février 2022 ;

Vu l'avis du Conseil national de l'évaluation des normes en date du 7 février 2022 ;

Vu les observations formulées lors de la consultation du public réalisée du 14 janvier 2022 au 5 février 2022 inclus en application de l'article L. 123-19-1 du code de l'environnement,

Décète :

Art. 1^{er}. – Est reconnue comme zone de protection forte une zone géographique dans laquelle les pressions engendrées par les activités humaines susceptibles de compromettre la conservation des enjeux écologiques sont absentes, évitées, supprimées ou fortement limitées, et ce de manière pérenne, grâce à la mise en œuvre d'une protection foncière ou d'une réglementation adaptée, associée à un contrôle effectif des activités concernées.

Les zones reconnues comme protection forte sont celles mentionnées aux articles 2 et 3. Elles doivent répondre aux conditions fixées par le présent décret.

Art. 2. – I. – Sont reconnus comme des zones de protection forte les espaces terrestres compris dans :

- les cœurs de parcs nationaux prévus à l'article L. 331-1 du code de l'environnement ;
- les réserves naturelles prévues à l'article L. 332-1 du même code ;
- les arrêtés de protection pris en application des articles L. 411-1 et L. 411-2 du même code ;
- les réserves biologiques prévues à l'article L. 212-2-1 du code forestier.

II. – Peuvent être reconnus comme zones de protection forte sur la base d'une analyse au cas par cas établie selon les modalités définies aux articles 4 et 5 les espaces terrestres présentant des enjeux écologiques d'importance, compris dans :

- des sites bénéficiant d'une obligation réelle environnementale prévus par l'article L. 132-3 du code de l'environnement ;
- des zones humides d'intérêt environnemental particulier définies par le a du 4° du II de l'article L. 211-3 du même code ;
- des cours d'eau définis au 1° du I de l'article L. 214-17 du même code ;
- des sites relevant du domaine du conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres au sens de l'article L. 322-9 du même code ;
- des périmètres de protection des réserves naturelles prévus par l'article L. 332-16 du même code ;
- des sites classés prévus par l'article L. 341-1 du même code ;
- des sites prévus par l'article L. 414-11 du même code sur lesquels un conservatoire d'espaces naturels détient une maîtrise foncière ou d'usage ;
- des réserves nationales de chasse et de faune sauvage prévues par l'article L. 422-27 du même code ;
- des espaces naturels sensibles prévus par l'article L. 113-8 du code de l'urbanisme ;
- la bande littorale prévue à l'article L. 121-16 du même code ;
- des espaces remarquables du littoral prévus par l'article L. 121-23 du même code ;
- des forêts de protection prévues par l'article L. 141-1 et suivants du code forestier, notamment celles désignées pour des raisons écologiques ;
- des sites du domaine foncier de l'Etat.

Art. 3. – I. – Sont reconnus comme des zones de protection forte les espaces maritimes compris dans les aires protégées listées ci-après, créées postérieurement à la date d'entrée en vigueur du présent décret :

- les cœurs de parcs nationaux prévus à l'article L. 331-1 du code de l'environnement ;
- les zones de protection renforcée et les zones de protection intégrale créées par les actes de classement en réserve naturelle pris en application des articles L. 332-1 à L. 332-27 du même code ;
- les zones couvertes par un arrêté de protection pris en application des articles L. 411-1 et L. 411-2 du même code.

II. – Les espaces maritimes, compris dans les aires protégées listées au I, créées antérieurement à la date d'entrée en vigueur du présent décret remplissent sous 24 mois les critères de l'article 4 et sont reconnus comme zones de protection forte au plus tard à cette échéance.

III. – D'autres espaces maritimes présentant des enjeux écologiques d'importance, prioritairement situés à l'intérieur d'aires marines protégées figurant à l'article L. 334-1 du code de l'environnement peuvent être reconnus comme zones de protection forte, sur la base d'une analyse au cas par cas établie selon les modalités définies aux articles 4 et 6.

Art. 4. – Les analyses au cas par cas prévues au II de l'article 2 et au III de l'article 3 permettent de s'assurer que les espaces concernés répondent aux trois critères suivants :

1. Soit ne font pas l'objet d'activités humaines pouvant engendrer des pressions sur les enjeux écologiques notamment de conservation d'espèces ou d'habitats naturels, soit disposent de mesures de gestion ou d'une réglementation spécifique des activités ou encore d'une protection foncière visant à éviter, diminuer significativement ou à supprimer, de manière pérenne, les principales pressions sur les enjeux écologiques justifiant la protection forte, sur une zone ayant une cohérence écologique par rapport à ces enjeux ;
2. Disposent d'objectifs de protection, en priorité à travers un document de gestion ;
3. Bénéficient d'un dispositif opérationnel de contrôle des réglementations ou des mesures de gestion.

L'analyse évalue le caractère pérenne de ces critères et les pressions à venir qui sont connues, notamment en conséquence des projets ou aménagements prévus.

Art. 5. – I. – Les propositions de reconnaissance de zones de protection forte pour les espaces terrestres sont formulées par les préfets de région, sur demande :

- du propriétaire des biens inclus dans les zones concernées ou du gestionnaire des zones concernées ;
- du service ou de l'établissement utilisateur, pour les immeubles qui appartiennent à l'Etat.

Le préfet de région soumet ses propositions à l'avis des conseils scientifiques régionaux du patrimoine naturel, de la région et des communes concernées. L'avis de la région ou de la commune est réputé favorable si aucune réponse n'est apportée dans un délai de trois mois suivant la réception de la demande.

II. – Les compétences confiées au I :

- au préfet de région, sont exercées par le représentant de l'Etat en Guyane, en Martinique, à Mayotte, à Saint-Martin et à Saint-Pierre-et-Miquelon, par l'administrateur supérieur des Terres australes et antarctiques françaises pour les Terres australes et antarctiques françaises et par le ministre des outre-mer pour Clipperton ;
- aux conseils scientifiques régionaux du patrimoine naturels, sont exercées par le Conseil scientifique de la protection de la nature à Mayotte, les conseils de gestion et conseils scientifiques des aires protégées des Terres australes et antarctiques françaises pour les Terres australes et antarctiques françaises, le Conseil

scientifique territorial du patrimoine naturel à Saint-Martin et Saint-Pierre-et-Miquelon et le Conseil national de la protection de la nature à Clipperton.

Art. 6. – I. – En métropole, les propositions de reconnaissance de zones de protection forte pour les espaces maritimes sont formulées par les préfets maritimes après recommandations des conseils maritimes de façades sur la base de leurs attributions prévues par l'article L. 219-6-1 du code de l'environnement. Elles s'appuient sur le processus d'identification de ces zones en mer prévu dans les documents stratégiques de façades maritimes, notamment leur évaluation environnementale.

II. – En outre-mer, les propositions de reconnaissance de zones maritimes de protection fortes sont formulées par les délégués du Gouvernement pour l'action de l'Etat en mer après recommandations des conseils maritimes de bassins ultra-marins prévus par l'article R. 219-1-15 du code de l'environnement. Elles s'appuient sur les processus d'identification de ces zones en mer prévus dans les documents stratégiques de bassins ultra-marins, notamment leur évaluation environnementale. Pour Clipperton, la procédure, dont notamment le processus d'identification, est confiée au haut-commissaire de la République en Polynésie française.

III. – Pour les Terres australes et antarctiques françaises, les propositions de reconnaissance de zones maritimes de protection fortes sont formulées par l'administrateur supérieur des Terres australes et antarctiques françaises, après avis, le cas échéant, des comités consultatifs et des conseils scientifiques des réserves naturelles nationales dans lesquelles sont compris les espaces concernées, et après accord du délégué du Gouvernement pour l'action de l'Etat en mer.

Art. 7. – La liste des espaces terrestres et maritimes reconnus comme zone de protection forte après l'analyse au cas par cas est établie par décision du ministre en charge de la protection de la nature, conjointement avec le ministre chargé de la mer pour les espaces maritimes.

Les zones de protection forte reconnues au titre du présent décret sont publiées avec des indications cartographiques sur le site de l'inventaire national du patrimoine naturel (INPN).

Un point de situation sur l'évolution des zones de protection fortes est réalisé annuellement auprès du conseil national de protection de la nature.

Art. 8. – La reconnaissance comme zone de protection forte peut être retirée aux espaces reconnus après analyse au cas par cas, par le ministre en charge de la protection de la nature, conjointement avec le ministre chargé de la mer pour les espaces maritimes, notamment sur proposition des autorités chargées des propositions de reconnaissance visées aux articles 5 et 6, ou sur demande du propriétaire ou du service ou de l'établissement utilisateur des terrains concernés, lorsqu'il est constaté que les critères prévus à l'article 4 ne sont plus respectés.

Art. 9. – Le présent décret est applicable dans les Terres australes et antarctiques françaises sauf en ce qui concerne :

1° Les réserves nationales de chasse et de faune sauvage prévues par l'article L. 422-27 du code de l'environnement ;

2° Les sites prévus par les articles L. 132-3 et L. 341-1 du même code ;

3° Les espaces remarquables du littoral prévus par l'article L. 121-23 du code de l'urbanisme ;

4° La bande littorale prévue à l'article L. 121-16 du même code ;

5° Sous réserve des dispositions prévues par l'article L. 179-1 du code forestier pour les îles Bassas da India, Europa, Glorieuses, Juan da Nova et Tromelin, les réserves biologiques prévues à l'article L. 212-2-1 du code forestier et les forêts de protection prévues par l'article L. 141-1 et suivants du code forestier.

Art. 10. – La ministre de la transition écologique, le ministre des outre-mer, la ministre de la mer et la secrétaire d'Etat auprès de la ministre de la transition écologique, chargée de la biodiversité, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 12 avril 2022.

JEAN CASTEX

Par le Premier ministre :

La ministre de la transition écologique,

BARBARA POMPILI

La ministre de la mer,

ANNICK GIRARDIN

Le ministre des outre-mer,

SÉBASTIEN LECORNU

*La secrétaire d'Etat
auprès de la ministre de la transition écologique,
chargée de la biodiversité,
BÉRANGÈRE ABBA*

Annexe 7 – Détails des différents habitats et sous-habitats

Habitats subtidaux et pélagiques

Ces habitats se retrouvent en dessous du niveau de basse mer et sont donc en permanence immergés. Parmi ces habitats, les habitats pélagiques, la vase sableuse infralittorale, les sédiments hétérogènes infralittoraux, le sable fin infralittoral, le sable vaseux infralittoral, les herbiers infralittoraux sont d'intérêt communautaire au titre de la Directive Habitat Faune Flore (DHFF).

Habitats intertidaux

Ces habitats se situent sur la zone d'estran et subissent donc les marées. Parmi ces habitats, les moulières intertidales sur sédiment, les herbiers de phanérogames marines sur sédiments intertidaux, l'estran de sable vaseux dominé par des polychètes ou des bivalves, l'estran de sable fin dominé par des amphipodes ou des polychètes, l'estran de sable mobile stérile ou dominé par des amphipodes, et la laisse de mer sont d'intérêt communautaire au titre de la DHFF.

Habitats dunaires/supralittoraux

Ces habitats se situent au dessus du niveau de la marée la plus haute et sont donc en permanence émergés. Parmi ces habitats, la biocénose de sable supralittoraux, les plages sableuses au dessus de la laisse de mer sans végétation, les communautés annuelles des plages sableuses médio-européennes, les dunes embryonnaires atlantique, les dunes blanches atlantiques et les dunes grises fixées gasconnes, sont d'intérêt communautaire au titre de la DHFF. Les dunes grises sont même d'intérêt communautaire « prioritaire ».

Annexe 8 – Listes non exhaustives d'espèces représentatives de certains groupes taxonomiques cités ci-dessus

FLORE MARINE	
Grande Zostère, <i>Zostera marina</i>	
Statut	Danger en Aquitaine
Protection	Aquitaine: Arrêté du 8 mars 2002 Internationale : Convention OSPAR (Annexe V), Convention de Berne (Annexe I)
Rareté	En régression dans la RNN. Le bassin d'Arcachon présente le plus grand herbier de zostères d'Europe
Habitat	Zone subtidale/ habitat d'herbiers à forte valeur écologique (N2000 : habitat 1110 - Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine)
Zostère naine, <i>Zostera noltii</i>	
Statut	Vulnérable en Aquitaine (depuis 2018, fragmentation habitat)
Protection	Convention OSPAR (Annexe V)
Rareté	Rare par le passé, en expansion aujourd'hui. Le bassin d'Arcachon présente le plus grand herbier de zostères d'Europe
Habitat	Zone intertidale/ habitat d'herbiers à forte valeur écologique/ Estrans abrités, vase sableuse, émergé temporairement (N2000 : habitat 1140 - Replats boueux ou sableux exondés à marée basse)
FLORE TERRESTRE	
Euphorbe peplis, <i>Euphorbia peplis</i>	
Statut	Danger critique Aquitaine
Protection	France et Aquitaine
Rareté	absente entre 2010 et 2020
Habitat	Haut de plage

	(N2000 : habitat 1210 - Végétation annuelle des laisses de mer)
Criste marine ou Fenouil marin, <i>Crithmum maritimum</i>	
Statut	Préoccupation mineure Europe, France et Aquitaine
Protection	France et Aquitaine
Rareté	1-10 pieds occasionnels. observée pour la 1 ^{ière} fois en 2019
Habitat	Haut de plage (N2000 : habitat 1210 - Végétation annuelle des laisses de mer)
Pourpier de mer, <i>Honckenya peploides</i>	
Statut	Vulnérable Aquitaine
Protection	France et Aquitaine
Rareté	1-10 pieds sur plusieurs années consécutives récentes ou 10-50 pieds sur une seule année
Habitat	Haut de plage (N2000 : habitat 2110 - Dunes mobiles embryonnaires)
Silène de Thore, <i>Silene uniflora</i> subsp. <i>Thorei</i>	
Statut	Préoccupation mineure France et Aquitaine
Protection	France
Rareté	1-10 pieds sur plusieurs années consécutives récentes ou 10-50 pieds sur une seule année
Habitat	Dune embryonnaire et Dune Blanche (N2000 : habitat 2120 - Dunes mobiles du cordon littoral à <i>Ammophila arenaria</i>)
Panicaut maritime, <i>Eryngium maritimum</i>	
Statut	Préoccupation mineure Europe, France et Aquitaine
Protection	Aquitaine
Rareté	présence abondante et régulière
Habitat	Dune embryonnaire et Dune Blanche (N2000 : habitat 2120 - Dunes mobiles du cordon littoral à <i>Ammophila arenaria</i>)
Linaire à feuilles de thym, <i>Linaria thymifolia</i>	
Statut	Préoccupation mineure France et Aquitaine
Protection	France
Rareté	1-10 pieds sur plusieurs années consécutives récentes ou 10-50 pieds sur une seule année. Observé en 2020 après 7 ans d'absence, Endémique sud ouest
Habitat	Dune blanche (N2000 : habitat 2120 - Dunes mobiles du cordon littoral à <i>Ammophila arenaria</i>)
Armoise de Lloyd, <i>Artemisia campestris</i> subsp. <i>maritima</i>	
Statut	Préoccupation mineure France et Aquitaine
Protection	Aquitaine
Rareté	50-200 pieds localisés et réguliers. Endémique littoral atlantique
Habitat	Dune blanche et Dune grise (N2000 : habitat 2120 - Dunes mobiles du cordon littoral à <i>Ammophila arenaria</i>) (N2000 : habitat 2130 - Dunes côtières fixées à végétation herbacée)

AVIFAUNE		Abondance : pic annuel
Sterne caugek, <i>Thalasseus sandvicensis</i>		
Statut	Quasi menacée en France	4970
Protection	France / Directive Oiseaux / CITES	
Périodes clés	Nidification ↓ / Migration ↓ / Hivernage ↓	
Goéland brun, <i>Larus fuscus</i>		
Statut	Préoccupation mineure	1 789
Protection	France / Directive Oiseaux / AEWA	

Périodes clés	Nidification ↑ / Hivernage ↑	
Goéland argenté, <i>Larus argentatus</i>		
Statut	Quasi menacé	442
Protection	France / Directive Oiseaux / AEWA	
Périodes clés	Nidification ↑ / Migration ↓ / Hivernage ↓	
Goéland leucophée, <i>Larus michahellis</i>		
Statut	Préoccupation mineure	953
Protection	France / CITES	
Périodes clés	Nidification ↑ / Migration ↓ / Hivernage ↓	
Goéland marin, <i>Larus marinus</i>		
Statut	Préoccupation mineure	24
Protection	France / Directive Oiseaux / AEWA	
Périodes clés	Nidification ↑ / Hivernage →	
Goéland d'Audouin, <i>Ichthyaelus audouinii</i>		
Statut	En danger d'extinction	2
Protection	France / Directive Oiseaux / CITES	
Périodes clés	Nidification ↑	
Goéland argenté, <i>Larus argentatus</i>		
Statut	Quasi menacé en Europe et en France	442
Protection	France / Directive Oiseaux / AEWA	
Périodes clés	Nidification ↑ / Migration ↓ / Hivernage ↓	
Huîtrier-pie, <i>Haematopus ostralegus</i>		
Statut	Préoccupation mineure / Quasi menacé à l'échelle mondiale	387
Protection	AEWA	
Périodes clés	Nidification ↓ / Hivernage →	
Gravelot à collier interrompu, <i>Charadrius alexandrinus</i>		
Statut	Vulnérable en France	34
Protection	France / Directive Oiseaux / CITES	
Périodes clés	Nidification → / Migration ↓ / Hivernage ↓	
Bergeronnette grise, <i>Motacilla alba</i>		
Statut	Préoccupation mineure	7
Protection	France / CITES	
Périodes clés	Nidification ↑ / Migration NE / Hivernage NE	

INVERTÉBRÉS TERRESTRES					
Nom scientifique	Régime alimentaire	Abondance	Habitat	Statut / rareté	Statut/ protection
Araignées					
Argiope lobata (Pallas, 1772)	Prédateur	+	Dune grise	Rare Gironde	LC (Préoccupation mineure)
Coléoptères					
Cillenus lateralis (Samouelle, 1819)	Prédateur	+++	Estran	Rare Gironde	Non renseigné
Leiodes furva (Erichson, 1845-48)	Mycétophage	+	Plage	Rare Gironde	Non renseigné
Calicnemis obesa (Erichson, 1841)	Xylophage	++	Plage	Rare Gironde	Non renseigné

Bledius subniger (Schneider, 1898)	Phytophage	+++	Estran	Nouveau Aquitaine	Non renseigné
Trachyscelis aphodioides (Latreille, 1809)	Saprophage	+++	Plage	Rare Gironde*	Non renseigné
Hémiptères					
Menaccarus arenicola (Scholz, 1847)	Phytophage	+++	Dune grise	Rare Gironde	Non renseigné
Hyménoptères					
Colletes halophilus (Verhoeff, 1944)	Nectarivore	+	Dunes	Rare Gironde	Quasi menacé Europe et Monde
Lépidoptères					
Nyctegretis lineana (Scopoli, 1786)	Phyto-/Nectarivore	+	Dunes	Rare Gironde	Non renseigné

Annexe 9 – Arrêté « portant extension et modification de la RNN » du 11 mai 2017.

11 mai 2017	JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE	Texte 20 sur 434
Décrets, arrêtés, circulaires TEXTES GÉNÉRAUX MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, EN CHARGE DES RELATIONS INTERNATIONALES SUR LE CLIMAT Décret n° 2017-945 du 10 mai 2017 portant extension et modification de la réserve naturelle nationale du banc d'Arguin (Gironde) NOR : DEVL1615110D <i>Publics concernés</i> : particuliers, collectivités, associations et professionnels. <i>Objet</i> : extension d'une réserve naturelle nationale. <i>Entrée en vigueur</i> : le texte entre en vigueur le lendemain de sa publication. <i>Notice</i> : la réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin est située dans le département de la Gironde. Elle englobe, actuellement sur une surface de 2 600 hectares, l'ensemble des bancs de sable qui se forment à l'embouchure du bassin d'Arcachon ainsi que l'espace marin inclus dans un périmètre d'un mille nautique autour de ces bancs. L'extension de la réserve naturelle nationale, d'une superficie totale de 4 360 hectares environ, se justifie notamment pour la stabilisation de ses limites, pour en faciliter sa lisibilité pour les usagers et réglementer toutes les activités de loisirs et ostréicoles. <i>Références</i> : le présent décret peut être consulté sur le site <i>Légifrance</i> (www.legifrance.gouv.fr). Le Premier ministre, Sur le rapport de la ministre de l'environnement, de l'énergie et de la mer, chargée des relations internationales sur le climat, Vu le code de l'environnement, notamment les articles L. 332-1 à L. 332-10, L. 332-13 à L. 332-27, L. 362-1, L. 362-2, L. 414-1 à L. 414-7, R. 332-1 à R. 332-29, R. 332-68 à R. 332-81 et R. 414-1 à R. 414-23 ; Vu l'arrêté du 8 décembre 2009 portant désignation du site Natura 2000 du bassin d'Arcachon et Banc d'Arguin (zone de protection spéciale) ; Vu les lettres en date du 23 juillet 2014 par lesquelles le préfet a sollicité l'avis des communes de Lège-Cap-Ferret, de la communauté d'agglomération du Bassin d'Arcachon Nord, du syndicat mixte de la Grande Dune du Pilat, du Conseil général de Gironde et du Conseil régional d'Aquitaine ; Vu l'arrêté du préfet de la Gironde en date du 9 juillet 2014 prescrivant l'ouverture d'une enquête publique relative au projet d'extension et de modification de la réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin ; Vu le dossier de l'enquête publique, notamment le rapport et les conclusions du commissaire-enquêteur en date du 7 octobre 2014 ; Vu l'avis du conseil municipal de La Teste de Buch en date du 16 septembre 2014 ; Vu l'avis du préfet maritime en date du 27 octobre 2014 ; Vu l'avis de la commission départementale de la nature, des paysages et des sites de la Gironde siégeant en formation de protection de la nature, en date du 16 décembre 2014 ; Vu l'avis de la commission départementale des espaces, sites et itinéraires en date du 13 mars 2015 ; Vu le rapport et l'avis du préfet de la Gironde en date du 5 mai 2015 ; Vu les avis du Conseil national de protection de la nature en date du 16 juin 2011 et du 9 février 2016 ; Vu les avis et accords des ministres intéressés, Décrète : TITRE I^{er} DÉLIMITATION DE LA RÉSERVE ET DISPOSITIONS GÉNÉRALES Art. 1^{er}. – I. – Est classé en réserve naturelle nationale, sous la dénomination « réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin » (Gironde), l'espace du domaine public maritime inscrit à l'intérieur du périmètre délimité de la		

fff

Art. 8. – Il est interdit :

1° D'introduire dans la réserve tous végétaux, quel que soit leur stade de développement, sauf autorisation délivrée par le préfet après avis du conseil scientifique de la réserve ;

2° De porter atteinte de quelque manière que ce soit aux végétaux, vivants ou morts, ou de les emporter hors de la réserve, sauf autorisation délivrée à des fins scientifiques par le préfet ou lors de la mise en œuvre des actions de lutte contre les espèces allochtones, après avis du conseil scientifique de la réserve.

Art. 9. – Il est interdit :

1° d'abandonner, de déposer ou de jeter, de déverser ou de rejeter tout produit de nature à nuire à la qualité de l'eau, de l'air, du sol, du sous-sol du site ou à l'intégrité de la faune et de la flore ;

2° d'abandonner, de déposer, de jeter, de déverser ou de rejeter en dehors des lieux spécialement prévus à cet effet des ordures, déchets, détritus ou matériaux de quelque nature que ce soit ;

3° de troubler la tranquillité des lieux par toute perturbation sonore ou pyrotechnique, à l'exception des activités autorisées par le présent décret et dans la stricte mesure nécessaire à leur exercice, ainsi que celles liées aux activités scientifiques soumises à autorisation et aux activités de secours ou de police ;

4° de procéder à des travaux de carénage, de nettoyage ou de peinture de tout type d'embarcation ou de navire, à usage professionnel ou non ;

5° d'allumer du feu sauf à titre exceptionnel pour les incinérations réalisées à but sanitaire, ou à des fins de gestion de la réserve, après autorisation délivrée par le préfet ;

6° d'installer du mobilier ou des équipements de quelque nature que ce soit, sauf autorisation délivrée par le préfet pour permettre :

- la réalisation par le gestionnaire des opérations à sa charge en application du plan de gestion de la réserve ;
- l'exercice de la pêche et de l'activité ostréicole, dans les conditions définies au présent décret ;
- la signalisation de la réserve naturelle et l'affichage de sa réglementation ;
- la signalisation maritime d'aide à la navigation ;
- la réalisation de travaux conformément aux dispositions de l'article 13 du présent décret ;
- l'exercice d'activités scientifiques soumises à autorisation.

Dans ces cas, le mobilier et les équipements sont installés de façon temporaire, conformément à la durée de l'autorisation.

Art. 10. – Le préfet maritime, le préfet de région ou le préfet de département peuvent, selon les cas relevant de leur compétence, prendre toutes mesures compatibles avec le plan de gestion en vue d'assurer la conservation d'espèces animales ou végétales, ou la régulation d'espèces animales ou végétales surabondantes, après avis du conseil scientifique de la réserve.

TITRE V

RÈGLES RELATIVES À LA CHASSE ET À LA PÊCHE

Art. 11. – L'exercice de la chasse est interdit sur tout le territoire de la réserve.

Art. 12. – 1. – En dehors des zones de protection intégrale, l'exercice de la pêche, y compris sous-marine ou à pied, peut être autorisé par arrêté préfectoral après avis du conseil scientifique de la réserve.

II. – Au sein des zones de protection intégrale, l'exercice de la pêche, y compris sous-marine ou à pied, est interdit, sauf autorisation délivrée par le préfet à des fins scientifiques après avis du conseil scientifique de la réserve.

TITRE VI

RÈGLES RELATIVES AUX TRAVAUX

Art. 13. – 1. – Les travaux publics ou privés modifiant l'état ou l'aspect de la réserve sont interdits.

II. – Toutefois, certains travaux modifiant l'état ou l'aspect de la réserve peuvent bénéficier de l'autorisation spéciale prévue par l'article L. 332-9 du code de l'environnement dans les conditions prévues aux articles R. 332-23 à R. 332-25 de ce code.

III. – Les travaux publics ou privés modifiant l'état ou l'aspect de la réserve peuvent également être réalisés, après déclaration au préfet, dans les conditions prévues à l'article R. 332-26 du code de l'environnement et dans le respect des règles de procédure, lorsqu'ils sont prévus dans le plan de gestion de la réserve et ont notamment pour objet les travaux de balisage, d'entretien courant des passes, de renforcement des navires échoués ou de nettoyage des concessions.

TITRE VII

RÈGLES RELATIVES AUX ACTIVITÉS INDUSTRIELLES, COMMERCIALES ET ARTISANALES

Art. 14. – Les activités industrielles, commerciales et artisanales sont interdites à l'exception de celles réalisées par le gestionnaire et de celles autorisées par les articles 12, 15, 16 et au IV de l'article 19.

manière suivante (coordonnées géographiques référencées selon le système géodésique WGS84 et exprimées en degré minutes secondes) :

LIMITES DU PÉRIMÈTRE	NATURE DE LA LIMITE	COORDONNÉES	
		Point A : latitude : 44°35'39" N - longitude : 00°17'57" W Point B : latitude : 44°32'45" N - longitude : 00°17'57" W	Point C : latitude : 44°35'39" N - longitude : 00°17'57" W
Quart	Une ligne reliant par deux points		
Nord	Une parallèle	Latitude : 44°35'39" N	
Sud	Une parallèle	Latitude : 44°32'45" N	
Est	Une ligne	ligne située à 300 m du trait de côte de la commune de La Teste de Buch et parallèle à celui-ci.	

La superficie totale de la réserve est de 4 360 hectares environ.

II. – Le périmètre de la réserve mentionné au I est reporté sur le plan de situation au 1/25 000 annexé au présent décret. Ce plan de consultation peut être consulté à la Direction Départementale des Territoires et de la Mer de la Gironde.

Art. 2. – Le préfet organise la gestion de la réserve naturelle conformément aux articles R. 332-15 à R. 332-22 du code de l'environnement.

Art. 3. – Les règles édictées par le présent décret sont applicables sur l'ensemble des espaces classés dans le périmètre de la réserve en vertu de l'article 1^{er}, à moins qu'il en soit disposé autrement.

Art. 4. – Jusqu'à l'approbation du plan de gestion de la réserve par le préfet, celui-ci peut prendre toute mesure qui s'avère nécessaire à la protection des intérêts que le classement a pour objet d'assurer, après avis du conseil consultatif et du conseil scientifique de la réserve.

TITRE II

ZONE DE PROTECTION RENFORCÉE DE LA RÉSERVE NATURELLE

Art. 5. – Le préfet définit une ou plusieurs zones de protection renforcée à l'intérieur du périmètre défini à l'article 1^{er}. Les zones de protection renforcée englobent l'ensemble des terres émergées à marée haute de coefficient 45 et autour d'elles, une zone d'un rayon d'un mille nautique dans les limites du périmètre définies à l'article 1^{er}. Les limites des zones de protection renforcée peuvent être modifiées par le préfet chaque année en fonction de l'évolution ou du déplacement des bancs de sable.

TITRE III

ZONE DE PROTECTION INTÉGRALE DE LA RÉSERVE NATURELLE

Art. 6. – Le préfet définit une ou plusieurs zones de protection intégrale qui peuvent être modifiées par arrêté préfectoral chaque année. La superficie de ces zones de protection intégrale ne peut pas représenter moins de 100 hectares. Elles sont signalées à terre et en mer par un balisage spécifique.

Au sein des zones de protection intégrale toute activité est interdite, à l'exception :

- des opérations réalisées par le gestionnaire dans le cadre de la mise en œuvre du plan de gestion de la réserve ;
- des activités de police et de secours ;
- des travaux et des activités scientifiques soumis à autorisation préfectorale.

TITRE IV

RÈGLES RELATIVES À LA PROTECTION DU PATRIMOINE NATUREL

Art. 7. – 1. – Il est interdit, sauf autorisation délivrée par le préfet après avis du conseil scientifique de la réserve :

1° D'introduire à l'intérieur de la réserve des animaux d'espèces non domestiques, quel que soit leur état de développement ;

2° De porter atteinte de quelque manière que ce soit aux animaux d'espèces non domestiques, quel que soit le stade de leur développement, ainsi qu'à leurs sites de reproduction ou de les emporter hors de la réserve naturelle ;

3° De troubler ou de déranger les animaux non domestiques, ainsi que leurs œufs, larves, couvées, portées ou nids par quelque moyen que ce soit ;

L'interdiction mentionnée aux 1^{er}, 2^o et 3^o ne s'applique pas aux huîtres *Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) et *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) liées à la pratique de l'ostréiculture, selon les conditions prévues aux articles 15 et 16, ni aux espèces sauvages dont la capture est autorisée par l'article 12.

II. – Il est interdit de faire débarquer, circuler ou stationner dans l'eau, sur l'estran ou sur les terres émergées de la réserve, des animaux domestiques, notamment des chiens ou des chats, même tenus en laisse. Cette interdiction ne s'applique pas aux animaux de secours qui participent à des missions de police ou de sauvetage.

TITRE VIII

RÈGLES RELATIVES AUX ACTIVITÉS OSTREICOLES

Art. 15. – En dehors des zones de protection intégrale, l'activité ostréicole peut être autorisée au sein de trois zones d'implantations ostréicoles d'un seul tenant chacune au maximum, définies par arrêté du préfet de la Gironde. C'est arrêté est pris sur proposition du comité régional de la conchyliculture et après avis du conseil scientifique de la réserve. La superficie totale des concessions ostréicoles au sein de ces zones ne peut excéder 45 hectares cumulés maximum, y compris les passages entre les concessions. La délimitation de ces zones est réalisée après que la délimitation des zones de protection intégrale est arrêtée.

Art. 16. – L'autorisation d'exploitation des cultures marines est délivrée pour une durée de cinq ans renouvelable conformément à la réglementation en vigueur.

TITRE IX

RÈGLES RELATIVES À LA CIRCULATION, AUX ACTIVITÉS SPORTIVES ET DE LOISIRS ET AUX AUTRES USAGES

Art. 17. – Le stationnement ou la circulation des personnes de quelque manière que ce soit, y compris à pied sur l'estran et les terres émergées, sont interdits du coucher au lever du soleil.

Cette interdiction ne s'applique pas aux personnes placées sous l'autorité du gestionnaire de la réserve y compris les personnels de la réserve ou agissant au titre de missions de police ou de secours dans la stricte mesure nécessaire à ces missions.

Art. 18. – Le stationnement ou la circulation des personnes de quelque manière que ce soit, y compris à pied sont interdits à l'intérieur des zones de protection intégrale, à l'exception des personnes placées sous l'autorité du gestionnaire de la réserve y compris les personnels de la réserve ou agissant au titre de missions de police ou de secours dans la stricte mesure nécessaire à ces missions.

Art. 19. – I. – Le mouillage et le stationnement des navires et de tout engin nautique ou engin de plage sont, sur la totalité du territoire de la réserve, interdits du coucher au lever du soleil.

II. – Dans les zones de protection renforcée, du lever au coucher du soleil, le stationnement des navires ou de tout engin nautique ou engin de plage est interdit en dehors des zones de mouillage des navires ou de tout engin nautique ou engin de plage délimitées et réglementées préalablement par le préfet maritime après avis du comité consultatif. Ces dispositions ne s'appliquent pas aux stationnements de courte durée liés aux manœuvres d'accostage des terres émergées qui ont pour objet le débarquement ou l'embarquement de personnes et aux navires professionnels lorsqu'ils sont utilisés dans le cadre de l'exercice des activités visées aux articles 12, 13, 15, 16 ainsi qu'au IV du présent article.

III. – Dans les zones de protection renforcée, la vitesse des navires ou de tout engin nautique ou engin de plage est limitée à cinq nœuds. Elle est limitée à trois nœuds dans les zones où stationnent les navires.

Cette limitation ne s'applique pas au chenal bousé d'entrée dans le bassin d'Arcachon.

Par dérogation aux dispositions du présent alinéa, le préfet maritime de l'Atlantique peut fixer une limitation de vitesse supérieure à cinq nœuds pour les navires effectuant un simple transit dans la passe sud d'entrée dans le bassin d'Arcachon.

IV. – Dans les zones de protection renforcée, les conditions d'accostage et de mouillage des navires des sociétés de transport maritime qui embarquent des passagers à destination de la réserve naturelle sont fixées par arrêté du préfet maritime.

V. – Dans les zones de protection intégrale, la circulation, le mouillage et le stationnement des navires ou de tout engin nautique ou engin de plage sont interdits.

VI. – Les dispositions du présent article ne s'appliquent pas aux navires et engins nautiques utilisés dans le cadre des opérations réalisées par le gestionnaire en application du plan de gestion de la réserve, des activités de secours, de police ou des travaux, y compris scientifiques, soumis à autorisation.

Art. 20. – L'organisation de manifestations et de réunions sportives, festives, commémoratives, culturelles, culturelles, de restauration, de dégustation ou de loisirs, sont interdites sur l'ensemble du territoire de la réserve à l'exception des zones immergées en permanence où elles sont soumises à autorisation du préfet.

Ces dispositions ne sont pas applicables aux opérations d'accueil organisées conformément au plan de gestion de la réserve.

Art. 21. – La réalisation de reportages photographiques, radiophoniques, de télévision ou cinématographiques peut être autorisée par le préfet.

Art. 22. – L'utilisation à des fins publicitaires de toute expression évoquant directement ou indirectement la réserve est soumise à autorisation du préfet.

Art. 23. – Le campement sous une tente ou dans tout abri ainsi que le bivouac sont interdits. Ces interdictions ne s'appliquent pas aux personnes en charge de la surveillance et de la gestion de la réserve ainsi qu'aux personnes autorisées par le préfet à effectuer des recherches scientifiques. Ces personnes sont placées sous l'autorité du gestionnaire de la réserve.

Art. 24. – I. – II est interdit de survoler la réserve, notamment dans les zones de protection intégrale, à une altitude inférieure à 300 mètres, y compris pour les aéronefs ou tout engin télépiloté, libre, captif, tracté, ou à

11 mai 2017

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Texte 20 sur 434

sustentation hydropropulsée notamment de type drone, aéromodèle, cerfs-volants, aile aéro-motrice, parachute, fusée ou aérostat.

II. – Cette interdiction n'est pas applicable aux aéronefs d'État en nécessité de service ni aux démonstrateurs et prototypes mis en œuvre par l'État, aux fusées de détente, ainsi qu'aux aéronefs utilisés dans le cadre d'opérations de police, de douane, de recherches scientifiques soumises à autorisation, de sauvetage, de lutte antipollution ou de gestion de la réserve.

Art. 25. – Le décret n° 86-53 du 9 janvier 1986 portant création de la réserve naturelle du Banc d'Arguin est abrogé.

Art. 26. – La ministre de l'environnement, de l'énergie et de la mer, chargée des relations internationales sur le climat, le secrétaire d'État chargé des transports, de la mer et de la pêche et la secrétaire d'État chargée de la biodiversité sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait le 10 mai 2017.

BERNARD CAZENÈVE

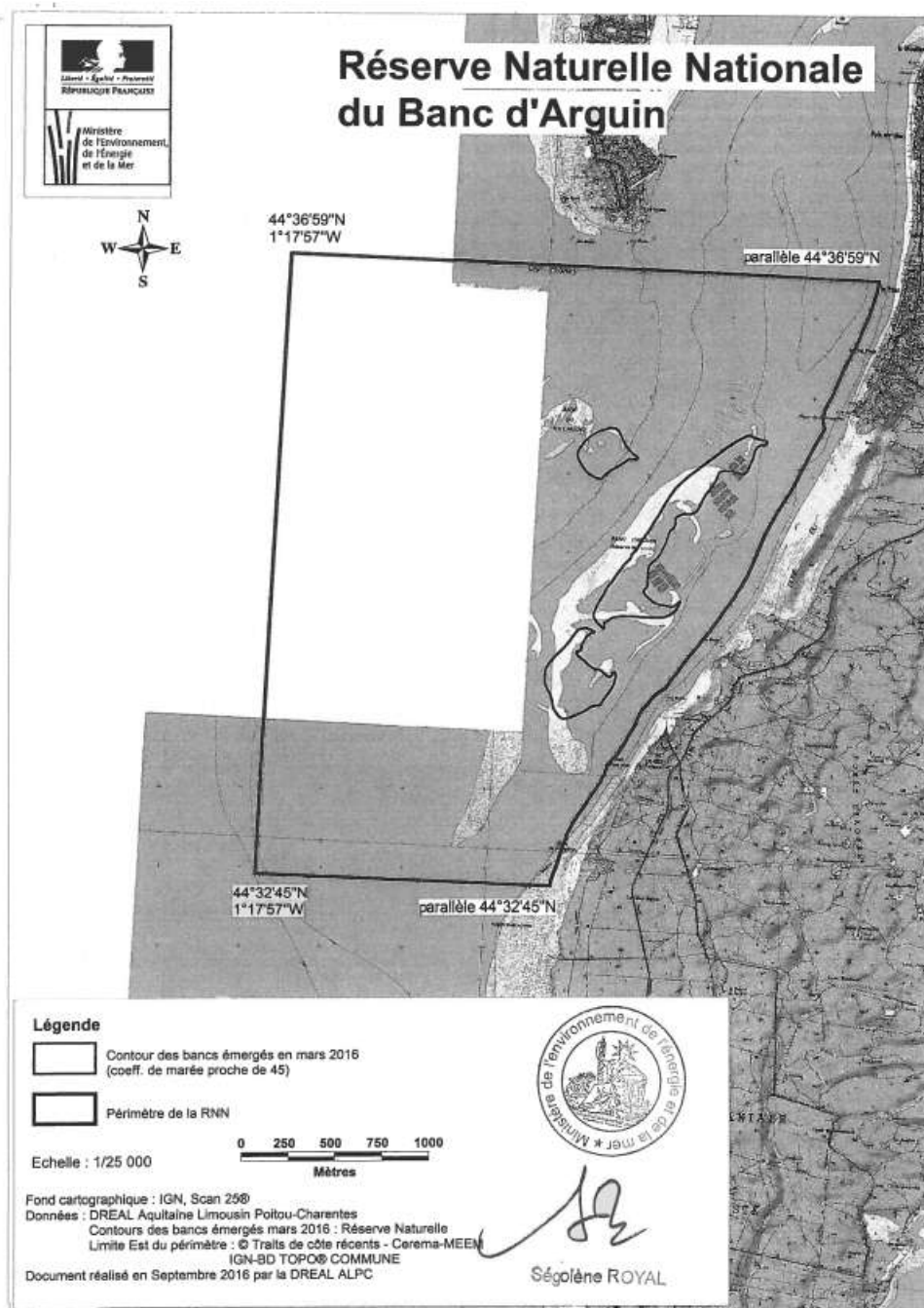
Par le Premier ministre :

*La ministre de l'environnement,
de l'énergie et de la mer,
chargée des relations internationales
sur le climat,*

SÉGOLÈNE ROYAL

*Le secrétaire d'État
chargé des transports,
de la mer et de la pêche,*
ALAIN VIDALIES

*La secrétaire d'État
chargée de la biodiversité,*
BARBARA POMPII



Annexe 10 - Synthèse bibliographique sur les interactions entre activités humaines autorisées et le patrimoine naturel de la RNN du Banc d'Arguin – Travail que j'ai réalisé pendant mon stage

(Ce présent travail a été réduit en police 10 car le texte est très volumineux)

Je présente ici les **interactions** qui existent **avec les espèces à fort enjeu de conservation**. Ces interactions peuvent aussi bien être positives que négatives, même si ces dernières sont bien souvent plus nombreuses. Le choix de partir des « espèces », plutôt que des « activités », pour parler des interactions, permet de montrer les « effets » et les « impacts » de manière holistique des usages et leur cumul sur les espèces. En effet, rappelons que la finalité de la RNN est la protection du patrimoine naturel, bien commun. De plus, cette approche se veut non incriminante. C'est pourquoi ce travail vise à caractériser les types de dérangements (et donc les usages et pratiques) plutôt que les activités en tant que tel. Le cumul de ces

usages est également à prendre en considération. En effet, selon *Tamisier (1980)*, en période d'hivernage, bien que certains usages pris séparément aient peu d'effets et d'impacts, leur cumul peut quant à lui provoquer une baisse de capacité d'accueil des milieux.

Je rappelle, que la liste des espèces et taxons présentée ci-dessous est non exhaustive et présente volontairement certaines espèces à fort enjeu de conservation.

La flore marine

Grande Zostère, *Zostera marina* (Danger)
et **Zostère naine**, *Zostera noltii* (Vulnérable)

Colonisant principalement les zones intertidale et subtidale, les zostères forment des herbiers ou prairies sous-marines, abritant et nourrissant un grand nombre d'espèces appartenant à des groupes taxonomiques différents. Bien que le Bassin d'Arcachon possède un des plus importants herbiers en Europe (pour la Z. naine), les surfaces colonisées par les zostères naine et marine y sont en régression depuis le début des années 2000. Ces plantes sont particulièrement vulnérables aux facteurs de stress tels que la diminution de l'intensité lumineuse (liée à turbidité de l'eau), les températures extrêmes, la présence de contaminants dans l'eau, etc. Par ailleurs, les zostères ont besoin de sites abrités des courants et d'une bathymétrie particulière et stable pour se développer. Le printemps et l'été sont les saisons clés pour la croissance de ces plantes marines : phase d'expansion.

→ Usages concernés :

Les herbiers, se situant sur les estrans jusqu'à 3-4 mètres de profondeur dans le Bassin d'Arcachon, sont donc souvent en interaction avec les activités humaines qui sont nombreuses à ces étages bathymétriques.

La présence des navires dans les herbiers peut être à l'origine de l'arrachage des plantes et le découpage des feuilles de zostères. Ces interactions peuvent être provoquées par contact avec l'ancre au moment du mouillage et de son relevage. La chaîne qui relie l'ancre au navire produit également un phénomène de frottement, dit de ragage, qui peut arracher les plants. Par ailleurs, la présence continue de navires au-dessus d'un herbier peut générer un ombrage significatif et diminuer l'activité photosynthétique des zostères, et donc sa croissance. De plus, en fonction de la hauteur d'eau, la navigation des navires à moteur sur les zones colonisées par des herbiers peut également provoquer avec la rotation des hélices un découpage des feuilles, racines et rhizomes.

La fréquentation humaine des herbiers est à l'origine du piétinement et de l'arrachage des zostères, notamment dans les zones sablo-vaseuses qui portent peu.

Certaines pratiques de pêche utilisant des arts trainants comme la drague à coquillages peuvent également avoir des conséquences sur le milieu : l'herbier peut subir des arrachages mécaniques. Si la fréquence de passage de ces engins de pêche à un endroit donné est trop importante, l'herbier risque de ne pas pouvoir être assez résilient pour se régénérer et de disparaître.

L'ostréiculture, avec l'installation sur les estrans des structures métalliques pour l'élevage des huîtres, provoque des modifications locales de l'hydrodynamisme qui peuvent être bénéfiques et/ou préjudiciable pour les herbiers. Par ailleurs, l'ombre portée par les tables avec des poches d'huîtres réduit l'activité photosynthétique des zostères et limite ainsi leur croissance. De plus, les pseudo-fèces produites par les huîtres sédimentent sous et à proximité des concessions (biodéposition), modifiant les substrats dans leur granulométrie et leur composition. Les habitats naturels de substrat meuble que colonisent les zostères sont aussi perturbés par la présence et le développement de récifs d'huîtres creuses dites « sauvages ». Enfin, le travail régulier des professionnels sur leurs parcs induits les mêmes effets que la navigation, le mouillage et la fréquentation.

Les effluents urbains, industriels, portuaires, agricoles, mais aussi les rejets des navires présents directement dans le périmètre de la Réserve, et en amont, peuvent être à l'origine de la présence de contaminants dans l'eau qui en fonction de leurs concentrations et des effets « cocktail » peuvent affecter les zostères à différents niveaux.

L'impact du dérèglement climatique, et plus précisément de ses variations, est également à prendre en compte. En effet, les zostères sont particulièrement sensibles à la température, et notamment les

événements climatiques extrêmes. Les vagues de chaleurs sont ainsi une des principales causes identifiées de leur déclin dans des zones tempérées (*Giesen et al., 1990*), telle que le Bassin d'Arcachon. Dans une étude réalisée sur la Z. marine, dans la baie de Chesapeake aux États-Unis, et reprenant 31 années de données, *Lefcheck et al. (2017)* expliquent que la surface d'herbier a diminué de 29 % avec comme cause principale une interaction entre l'augmentation de la turbidité et le réchauffement des températures.

→ **Menaces et impacts :**

➤ **Stress**

Les zostères naines et marines subissent quotidiennement des pressions d'origine naturelle ou anthropique. Un exemple de pression naturelle est la dessiccation à laquelle la Zostère naine doit résister sur une période plus ou moins longue à basse mer. Le cumul de ces pressions, quelques soient leurs origines, provoque chez ces plantes un stress. L'intensité de ce stress peut considérablement influencer la résilience d'un herbier à une perturbation physique, chimique ou biologique (ex : maladie ; virus). Ce stress influencerait notamment le niveau d'infection des plantes à la maladie « wasting disease », d'après *Den Hartog C. (1987)*. Le pathogène à l'origine de cette maladie (*Labyrinthula zosterae*), se développe à l'intérieur des feuilles de *Zostera marina* (sous forme de petites taches noires – nécroses) et va petit à petit les dégrader. Cette maladie ne suffit pas à expliquer à elle seule le potentiel déclin des herbiers. Toutefois, elle constitue un « bon indicateur du stress induit par les conditions environnementales » (*Auby et al., 2009 ; Hily et al., 2002*).

➤ **Arrachage des herbiers**

Le mouillage des navires dans les herbiers, notamment de *Zostera marina*, est particulièrement documentée. D'après *Peuziat (2005)*, les arrachages de zostères peuvent être courants si aucune précaution n'est prise. Le système d'ancrage mais également le ragage des chaînes constituent un véritable problème d'arrachage pour ces espèces, qui en fonction de l'ampleur du phénomène (notamment la fréquentation d'un site) peut avoir des conséquences non négligeables. Cet impact a également été étudié chez des espèces similaires, telle que la Posidonie océanique en Méditerranée. En effet, les impacts de l'ancrage des navires ont été qualifiés d'importants sur ces herbiers marins (*Montefalcone et al., 2008 ; Millazzo et al., 2004*).

D'après *Peuziat (2005)*, l'arrachage des feuilles, rhizomes et racines peut avoir un impact notable sur la survie de l'herbier. Les saisons sont également déterminantes. En effet, les impacts ne sont pas les mêmes en fonction de l'été et l'hiver. En été, les zostères sont dans une phase d'expansion qui leur permet de se régénérer plus rapidement que le reste de l'année. En hiver, les herbiers continuent de pousser mais beaucoup plus lentement. Ils sont donc moins résilients.

Par ailleurs, l'arrachage des feuilles, rhizomes et racines dépend du type d'ancre : certaines ancres vont arracher les pieds, d'autres ne vont que sectionner les feuilles et laisser la possibilité à la plante de repousser. L'étude de *Peuziat (2005)* démontre que si l'ancrage est préjudiciable pour les herbiers, il l'est moins que les dispositifs de mouillage classiques (corps mort, chaîne, bouée) installés pour canaliser le mouillage (phénomène de ragage autour d'un point fixe).

L'utilisation dans les zostères d'engins de pêche dits « trainants » comme les dragues à coquillages provoque également l'arrachage des plants qui peut être irréversibles pour les herbiers. D'après *Montefalcone et al. (2008)*, les herbiers de *Posidonie océanique*, et les herbiers de phanérogames marines en général, ont une croissance assez lente. Ainsi, tout herbier endommagé ou toute zone d'herbier entièrement arraché a très peu de chance de se reconstituer sur le court terme.

Dans un rapport portant sur les herbiers de zostères, *Angst et al. (2016)* expliquent que le piétinement peut avoir un « effet négatif sur le recouvrement, la densité des pieds et la biomasse des rhizomes », en provoquant un écrasement sur les herbiers. Cela concerne principalement la Zostère naine, puisque celle-ci occupe la zone intertidale et subtidale. Le beachage des navires peut avoir les mêmes effets. L'auteur de ce rapport cite une étude, réalisée dans la ria Formosa, au sud du Portugal, d'*Alexandre et al. (2005)*, dans laquelle l'impact de la pêche à pieds (de palourdes) sur les herbiers est étudié, en mettant en place un piétinement expérimental, et en comparant les effets avec un site témoin exempt. Il apparaît clairement que le piétinement induit par cette pratique a un effet négatif, en empêchant les herbiers de retrouver leur densité. C'est le fait de sortir les rhizomes et les racines du sédiment qui met en péril la plante, en l'empêchant de recoloniser l'espace. La fréquence des piétinements est également un facteur à prendre en compte dans la capacité de recouvrement de la Zostère naine, selon *Cabaço, et al, (2005)*. De plus, ce piétinement peut aussi provoquer un enfouissement des plantes, ce qui provoquerait leur asphyxie.

De plus, l'arrachage des zostères localement ou à plus large échelle peut aussi impacter le maintien du sédiment. En effet, la présence d'un herbier permet de stabiliser le sédiment et permet de réduire les phénomènes d'érosion. Quand un herbier disparaît ou se clairsème, les courants sont moins freinés par les tiges et feuilles. La nature du substrat et la topographie peuvent alors complètement changer et empêcher de

manière définitive aux herbiers de recoloniser la zone perdue. L'augmentation de hydrodynamique réduit également les chances de recolonisation. Un cycle infernal peut alors s'enclencher et impacter les zostères de proche en proche sur de grande surface (Cognat et al. 2018).

➤ **Augmentation de la turbidité et concurrence pour la lumière**

La turbidité correspond à la clarté de l'eau. D'après *Peuziat (2005)*, les zostères marines ont besoin de recevoir au minimum 11 % de la lumière de surface afin que leur activité photosynthétique soit suffisante pour se développer. Les matières en suspension présentent dans la colonne d'eau freinent la pénétration des rayons lumineux. Cette turbidité peut être d'origine multiple et évoluer dans le temps, surtout pour celles d'origine anthropique comme les travaux maritimes. Une modification des courants peut également affecter la turbidité, notamment dans le cadre de l'évolution géomorphologique des bancs de sables de la Réserve. La mise en place de concessions ostréicoles à proximité des herbiers peut également augmenter la concentration dans l'eau des pseudofèces d'huîtres (Kervella, 2010) et impacter l'activité photosynthétique des herbiers. L'eutrophisation des eaux côtières est aussi à prendre en compte, l'augmentation de la concentration en phytoplancton dans l'eau étant un frein à la pénétration de la lumière.

Par ailleurs, l'eutrophisation de l'eau a pour conséquence de développer les algues épiphytes sur les feuilles de zostères et ainsi contribuer à réduire leur accès à la lumière. De plus, spécifiquement pour les zostères naines qui photosynthétise lorsqu'elles sont découvertes à marée basse, l'eutrophisation du milieu peut conduire à l'échouage d'importantes quantités d'algues vertes sur les herbiers. Cette biomasse masque la lumière mais a également pour effet de rendre le milieu anoxique.

Enfin, la présence de structure générant un ombrage sur les herbiers rentre directement en concurrence pour l'accès à la lumière des zostères naines ou marines. Les structures ostréicoles fixes mais également les navires en stationnement sont concernés.

➤ **Modification d'habitat**

Les herbiers ont besoin de sédiments meubles de type sableux à vaseux. La granulométrie d'un site étant directement liée à son hydrodynamisme, il est possible d'affirmer que sans prendre en compte la bathymétrie les zostères peuvent s'implanter n'importe où sur un substrat meuble en zone abritée. Leur système racinaire et leurs rhizomes permettent alors de stabiliser le substrat. Selon *Mateo et al. (1997)*, la rhizosphère des herbiers modifie même les propriétés physiques du substrat (en le stabilisant) et chimiques (en l'oxygénant). Les zostères sont ainsi qualifiées d'espèces « ingénieurs de l'écosystème » (*Jones et al., 1994 ; 1997*). Quand un herbier est en place, de part son feuillage, il participe à stabiliser le sédiment et, selon *Hily (2006)*, à freiner l'hydrodynamisme. La réduction de l'hydrodynamisme par les herbiers et la collision physique des feuilles avec les particules, permet un dépôt des sédiments et le piégeage des particules (*Gacia et Duarte, 2001 ; Hendriks et al., 2008*) et réduit ainsi leur remise en suspension. (*Ward et al., 1984 ; Gacia et Duarte, 2001 ; Bos et al., 2007 ; Winddows et al., 2008*).

La modification de l'hydrodynamisme sur un secteur donné, en lien notamment avec une activité humaine, peut donc avoir des conséquences négatives sur les herbiers si la courantologie augmente et inversement si elle se réduit. La mise en place de structures anthropiques, comme des tables ostréicoles, à proximité des herbiers peut ainsi freiner les courants sur une zone et les augmenter sur une autre. Par ailleurs, les zostères peuvent entrer en concurrence avec d'autres espèces ingénieurs sur le Bassin d'Arcachon : l'huître creuse. Celle-ci est cultivée par les ostréiculteurs et se reproduit dans le milieu. Ses larves au stade pédivéligère se fixent alors sur un substrat qui lui convient. Des récifs d'huîtres peuvent ainsi se former au bout de quelques années et rentrer en concurrence avec les zostères pour coloniser les zones propices au développement des herbiers.

➤ **Pollution physico-chimique et organique**

Les herbiers subissent des pollutions d'origines diverses. Elles peuvent être chimiques, physiques ou organiques. Celles-ci contribuent à stresser les zostères et se cumulent avec l'ensemble des autres facteurs. Selon la « Directive Cadre sur l'eau » (2000/60/CE), les herbiers sont de bons indicateurs de l'état du milieu, notamment concernant la présence de contaminants et d'intrants liés aux rejets des eaux usées, des eaux pluviales (avec pollutions d'origines urbaines, agricole, forestières, industrielles) et des activités maritimes. Par ailleurs, les zostères colonisant généralement les milieux sédimentaires abrités, le renouvellement des eaux et donc la dissipation des contaminants qu'elles contiennent est plus lent. Les polluants un temps de résidence dans l'eau plus long et également plus le temps de sédimenter et de contaminer durablement le substrat.

Auby (2023), dans sa synthèse sur le cuivre présent dans les eaux du Bassin d'Arcachon, explique que les concentrations de cuivre dissous ne semblent pas dépasser les seuils pouvant être dommageables pour la

croissance des zostères (Lewis et Devereux, 2009). Mais c'est sans prendre en compte le facteur additif des polluants présents dans la lagune, comme par exemple le combo « pesticide et cuivre », dont les effets négatifs ont été démontrés par *Gamain et al. (2018)*. De plus, les herbiers sont d'autant plus sensibles à ces polluants, quand ils sont déjà exposés à du stress (fortes températures, faible éclaircissement). En effet, la présence de contaminants dans le milieu (ex : métaux lourds, biocides, hydrocarbures, etc.) enclenche chez les zostères des mécanismes métaboliques de détoxification. La combinaison de facteurs entraîne alors une baisse de production végétale, impactant principalement le processus de photosynthèse.

Par ailleurs, quand un milieu se sature en nitrate (azote), cela peut aller jusqu'à provoquer une asphyxie des herbiers par prolifération d'espèces nitrophiles. Selon *Peuziat (2005)*, les rejets des bateaux au mouillage peuvent générer ce type de pollution organique, et ainsi occasionner des déséquilibres.

Rien que pour la *Zostera marina*, une diversité spécifique de près de 300 espèces est comptabilisée (*Hily, 2006*). Au delà de la destruction directe ou indirecte de ces herbiers, toute modification d'origine anthropique dans cet habitat viendrait donc perturber un large cortège faunistique et floristique, dans différentes phases de leur cycle biologique. Sur la façade Atlantique la Crevette d'herbier (*Hippolyte inermis*), par exemple, vit principalement dans les herbiers de zostera. L'Hippocampe à nez court (*Hippocampus hippocampus*) et l'Hippocampe à nez long (*Hippocampus guttularus*) sont également des espèces associées aux herbiers de zostères sur sédiment. Cet habitat répond aux besoins vitaux de plusieurs autres espèces : il constitue un site privilégié pour la ponte de la Seiche (*Sepia officinalis*), ou encore une zone de nourricerie pour les juvéniles de griset (*Spondyllosoma cantharus*) ou encore de crevettes roses (*Palaemon spp.*).

Les impacts de tout ce qui a été présentés ci-dessus sont variés et les causes sont souvent multiples et cumulées. Toutefois, les zostères étant considérées comme « espèces ingénieuses », leur disparition peut être considéré comme une perte d'habitat fonctionnel notamment pour la reproduction, de nourricerie, d'alimentation (y compris pour les oiseaux) et le repos. Au-delà de la fonctionnalité, la perte de cet habitat implique une baisse de la biodiversité associée, à la fois faunistique et floristique. Pour *Hily et Bouteille (1999)* ces herbiers abritent effectivement une forte diversité de faune et de flore associées. Enfin, les zostères participent à la fixation du carbone. Leur disparition provoque donc une réduction de la fixation du carbone dans les écosystèmes marins. Selon *Fourqurean et al. (2012)* et *Pendleton et al. (2012)*, les écosystèmes côtiers végétalisés, tels que les herbiers, stockeraient jusqu'à 12 fois plus rapidement le carbone, que les forêts terrestres. Ces herbiers constituent le deuxième plus grand fixateur de carbone, de part leur superficie totale, après les mangroves. D'après *Raposa et Bradley (2009)*, les *Zostera marina* est d'autant plus un puits de carbone, grâce au dépôt de sédiments où le carbone est stocké et à la stabilisation du substrat que garantissent les herbiers. De leur côtés, *McGowan et al. (2016)* ont conclu, dans leur étude réalisée dans la baie de Clayoquot, en Colombie Britannique, dans l'Ouest canadien, que les herbiers de la zone intertidale sont plus fixateur de carbone que dans la zone subtidale.

En bref => le stress provoque la maladie « wasting disease »

- => disparition de zones d'habitat et de niches écologiques d'espèces
- => perte d'une biodiversité spécifique et fonctionnelle
- => perte de la relation prédateurs/proies
- => réduction voire perte d'un puits de carbone
- => dérangement de la faune

La Flore terrestre

La perturbation par les activités humaines de la flore terrestre dunaire peut s'observer à différentes échelles : celle des individus, des populations et des communautés. Les effets peuvent être très différents d'un habitat à un autre, entre la dune embryonnaire, la dune semi-fixée et la dune fixée.

→ Usages concernés :

La fréquentation humaine apparaît comme étant la principale activité pouvant porter préjudice à la végétation terrestre sur les bancs de sable de la Réserve. Celle-ci est caractérisée par un ensemble de communautés végétales, allant de la plage jusqu'à la dune grise. Le piétinement est la caractérisation première de cette fréquentation. Les conséquences du piétinement restent cependant très complexes à évaluer, d'après *Lemauiel. (2000)*. En effet, cela dépend d'un certain nombre de facteurs naturels abiotiques, édaphiques, des espèces concernées, de la fréquence, de l'intensité, du type de piétinement (mécanique, piéton...), etc.

L'utilisation d'engins mécaniques et/ou motorisés sur la Réserve étant soumis à autorisation (article R332-23 du code de l'environnement), il est peu probable qu'ils puissent entrer en interaction avec la flore dunaire (impacts similaires au piétinement).

→ **Menaces et impacts :**

Les usages cités précédemment, à l'origine d'un phénomène de piétinement, peuvent avoir des effets plus ou moins visibles à court termes et plus ou moins préjudiciables sur les différentes communautés végétales présentes. La dégradation de cette végétation peut ensuite avoir des effets en cascade, notamment sur les animaux tributaires de ces plantes psammophiles et halophiles, si particulière. Leurs effets et impacts s'observent alors sur plusieurs critères tous mesurables sur le terrain notamment dans le cadre d'études phytosociologiques : la présence, la fréquence, la densité et le pourcentage de couverture végétale.

➤ **Dégradation et perte d'habitats dunaires**

La présence de visiteurs pédestres sur certains des bancs de sable végétalisés compris dans le périmètre de la Réserve peut générer un piétinement qui conduit à une dégradation des habitats dunaires. Cette dégradation se caractérise par la perte, la modification et/ou des discontinuités au sein des communautés végétales. Selon les observations de *Cherpitel et Filipe (2018)* faites sur l'Espace naturel sensible de Sables-d'Or en Côtes-d'Armor, et de *Lemauiel et al. (2003)*, quand les perturbations sont « modérées », les dunes semi-fixées et fixées se maintiennent. Cependant, le passage répété aux mêmes endroits des piétons peut être à l'origine de la création de chemin, dont la présence peut aussi affecter les conditions abiotiques nécessaires à la flore dunaire. Cela peut en effet empêcher certaines plantes de se maintenir sur ces passages. De plus, ces chemins créent des dépressions dans le sable, qui peuvent également modifier localement la direction et la force du vent et donc la dune environnante.

Une étude d'impact « des visiteurs sur la végétation dunaire » de l'île-barrière de Richibucto Nord, dans un parc national au Canada, a permis de tester la tolérance au piétinement d'une plante proche de l'Oyat : l'Ammophile à ligule (*Ammophila breviligulata*). Au bout de seulement 30 passages au même endroit, la plante a perdu 30 à 40 % de sa densité (*Provencher et Tremblay, 2002*). D'après *Cartereau (2014)*, sur les plages de Méditerranée, l'Euphorbe peplis (*Euphorbia peplis* – présent également sur la Réserve et considéré comme en danger critique en Nouvelle Aquitaine) souffre à un niveau non négligeable de la forte fréquentation estivale. Dans le cas de cette espèce, la seule alternative pour sa survie est la mise en défend.

Cette réduction de la densité végétale peut avoir différents impacts sur les communautés végétales. Un certain niveau de piétinement peut entraîner une diminution de la couverture végétale, jusqu'à laisser apparaître le sable à nu, d'après *Santoro et al. (2012)* et *Lemauiel et Rozé (2003)*. Selon ces derniers, il existe une différence dans les effets sur les communautés végétales en fonction de leur résistance et leur résilience au piétinement. La dune semi-fixée, par exemple, a une faible résistance mais une plus grande résilience par rapport aux autres dunes. La dune fixée quant à elle, est la plus résistante mais moins résiliente (sur le long terme, le piétinement lui est particulièrement néfaste). D'après *Lemauiel et al. (2003)*, une fois que le sable est à nu, il est très difficile pour la végétation de se réimplanter et les actions de restauration du milieu sont alors plus difficiles. L'apparition de ces zones à nu, crée donc une discontinuité dans les habitats dunaires qui impacte la dynamique naturelle de ces milieux.

De plus, les effets du piétinement sont directement visibles sur la richesse spécifique des dunes végétalisées. D'après une étude réalisée pendant deux ans sur une zone côtière protégée du centre de l'Italie, les communautés végétales qui sont soumises au piétinement présentent une diversité spécifique moindre (*Santoro et al., 2012*). Par ailleurs, Selon *Lemauiel (2003)*, en plus de dépendre de l'intensité, la réponse de la végétation au piétinement dépend de la saison. Dans son étude menée sur les dunes de Quiberon en Bretagne, il montre que l'ensemble de la végétation sur la dune semi-fixée, passé un certain seuil de passages, est moins impactée par ce piétinement en septembre qu'au printemps ou en plein été.

Sur la Réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin, la mise en défend des zones dunaires végétalisées semble particulièrement adaptée pour préserver ces habitats et la diversité floristique associée.

➤ **Rudéralisation et espèces invasives**

D'après le Plan de gestion de l'*Espace Naturel Sensible des dunes de Bon Abris 2015-2019* (*Bernard et Le Bihan, 2015*), le piétinement peut être responsable de la régression d'espèces sensibles, ce qui peut dans certain cas, être doublement problématique. En effet, d'une part la surface de colonisation d'une espèce peut se voir réduite, d'autre part, cela peut laisser la possibilité aux espèces dite opportunistes de pouvoir occuper la niche écologique anthropiquement libérée. Une fois remplacée, l'espèce sensible aura du mal à occuper à nouveau l'espace. Ce phénomène dit de rudéralisation est une forme de concurrence spatiale.

Sur la Réserve, le Sénéçon du cap (*Senecio inaequidens*) et l'Immortelle grise (*Gamochaeta coarctata*) sont les deux principales espèces de flore terrestre considérées comme exotiques envahissantes et pouvant concurrencer la flore locale. Ces plantes ont été introduites en France métropolitaine par l'Homme de manière volontaire ou non. Selon le travail de Muller (2000), le Sénéçon du cap, originaire d'Afrique du sud, présente une dynamique invasive très forte. Selon la DREAL des Hauts-de-France, même si cette plante se développe rarement en foyer très dense, une fois implantée, elle colonise les milieux pionniers de la dune, milieu suffisamment sensible pour en être impacté. Elle occupe alors la niche écologique de la flore indigène, souvent moins concurrentielle (Bernard et Le Bihan 2015).

Des inventaires floristiques sont régulièrement effectués sur la Réserve pour de suivre l'évolution des plantes dont celles invasives afin d'anticiper la mise en œuvre d'éventuelles opérations de gestion adaptées.

➤ Répercussion sur les autres espèces

La structuration et la diversité des communautés floristiques terrestres présentes sur la Réserve bénéficient à un ensemble d'espèces parfois à fort enjeu de conservation et/ou très spécialisées (Etienne Iorio et al., 2022), telles que les champignons, les invertébrés terrestres et les oiseaux. La modification des dunes végétalisées en termes de composition, densité et surface a donc des répercussions sur l'ensemble de l'écosystème.

Concernant les invertébrés terrestres, la flore dunaire constitue à la fois un abris, une zone de ressources trophiques, ainsi qu'une zone de reproduction et de ponte. La perte d'habitats dunaires a donc pour impact la disparition de niches écologiques essentielles pour ces espèces. A titre d'exemple, même si la dune embryonnaire abrite moins d'espèces d'invertébrés terrestres que la dune fixée, les invertébrés présents y sont plus spécialisés que les espèces présentes dans la dune fixée (Etienne Iorio et al., 2022). Ils sont ainsi tributaires d'un habitat fragile, peu résistant au piétinement. Les conséquences sur les plantes peuvent donc directement se répercuter sur ces invertébrés.

Par ailleurs, selon l'étude portant sur l'Ammophile à ligule, précédemment citée, le piétinement a des effets négatifs rapidement observable sur cette plante. Or celle-ci, tout comme l'Oyat, est essentielle dans le cycle biologique des oiseaux, notamment pendant la période de nidification (Provencher et Tremblay, 2002).. En effet, les laro-limicoles nichant au sol, tels que les cinq espèces de Goéland présentes sur le Banc d'Arguin, utilisent ce type de plantes pour confectionner et camoufler leur nid. Les jeunes poussins en ont également besoin pour se protéger du soleil et des fortes chaleurs.

➤ Interactions positives

L'étude réalisée par Lemauiel (2003) a montré que certaines plantes de la dune ont une bonne résilience et supporte le piétinement. Des perturbations seraient mêmes parfois nécessaires pour maintenir la dune semi-fixée. Dans ce cadre, une protection trop stricte pourrait alors favoriser la fermeture du milieu. En fonction de la saison, le piétinement « modéré » pourrait ainsi avoir un impact positif en limitant les espèces dominantes, en laissant les plantes moins compétitives se développer et en garantissant la pérennité de la mosaïque des habitats.

Sur la Réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin, le stade qui suit celui de la dune grise est toutefois inexistant. Avec la dynamique géomorphologique naturelles des bancs de sable, il n'y a en effet quasiment pas de probabilité qu'une strate arborée puisse s'implanter.

Le piétinement peut avoir un autre effet bénéfique sur la flore. En effet, dans leur étude, Lemauiel et al. (2003) expliquent qu'un an après un piétinement, la dune semi-fixée a pu tirer profit de cette perturbation. Le compactage du sol lié au piétinement a stabilisé le sol et maintenu à une certaine profondeur une humidité utile à la végétation. Encore une fois, c'est l'intensité de la perturbation qu'il semble important de contrôler pour les effets ne deviennent pas préjudiciables.

L'avifaune

De manière générale, les oiseaux sont sensibles au « dérangement », qui peut avoir des « effets » directement observables, mais aussi des « impacts » à plus long terme sur les individus et la dynamique de population d'une espèce.

Sur la Réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin, pour certaines espèces d'oiseaux il existe d'importants enjeux de conservation. Des mesures de gestion adaptées sont donc d'ores et déjà mise en œuvre pour préserver leur quiétude et leurs habitats. Toutefois, il est primordial d'identifier et de caractériser les

dérangements ou interactions qui pourraient nuire ou bénéficier à l'avifaune. Il est également important de prendre en compte la saisonnalité et les phases du cycle biologique de chaque groupe d'espèces.

Pour ce faire, il est nécessaire de caractériser d'une part les sources de dérangements (et donc les usages) et d'autre part les conséquences (effets et impacts).

Sur le banc d'Arguin comme ailleurs, les effets et impacts s'identifient sur plusieurs phases du cycle biologique des oiseaux (*Tamisier et al., 2003*), à savoir pendant :

- la période de nidification (couvaision, élevage et nourrissage des jeunes),
- la période migratoire (halte migratoire, de repos et d'alimentation),
- la période d'hivernage (repos et alimentation des oiseaux en hiver).

Et de manière plus générale sur :

- leur éthologie,
- leur physiologie,
- leur capacité à exploiter les ressources trophiques.

Les effets observables sur l'avifaune sont différents selon les sources de dérangement, les espèces (et même selon les individus d'une même espèce), les sites, la période de l'année (période de nidification, d'hivernage, en migration) et selon les activités humaines et les usages. Ces effets, en général directement observables sur le terrain, peuvent se mesurer au niveau de la physiologie des individus et de leur distribution spatiale.

Les impacts s'observent à plus long terme, avec des conséquences aussi sur leur éthologie (comportements sociaux), leur réorganisation spatiale, et la dynamique de population (longévité, succès de reproduction, survie des jeunes).

→ **Usages concernés :**

Un des principaux usages pouvant porter préjudice aux oiseaux est la fréquentation humaine. Le *simple déplacement de personnes à pied* sur les bancs de sable peut suffire à occasionner un dérangement, provoquant en général un envol des oiseaux. Cette réaction est typique et facilement observable lors d'un dérangement des oiseaux. Lors de ces envols, deux détails sont à noter : la distance à laquelle va réagir l'oiseau avant de s'envoler et la distance d'envol à laquelle celui-ci va voler pour s'éloigner de la cause du dérangement. Selon *Smit et Visser (1993)*, marcher à moins de 250 m d'Huïtier-pies provoque leur envol dans 57 % des cas. Ces distances sont bien sûr à relativiser puisque chaque site est différent et influencera forcément le comportement des oiseaux. Les conséquences liées à ces envols seront évoquées ci-après. La démarche bipédique des êtres humains serait la principale cause de ce dérangement et aurait un effet sur beaucoup d'espèces. De plus, pour *Smit et Visser (1993)*, le dérangement par des piétons en groupe semble bien plus important que par une personne seule. Le piétinement des habitats a également des répercussions qui seront détaillées plus loin.

La navigation des navires et engins nautiques à proximité des oiseaux en repos ou en alimentation peut également provoquer des réactions similaires, mais généralement avec des distances d'envol moindre.

La présence d'engins volants et aéronefs à une altitude de plus de 300m ou à l'extérieur du périmètre de la Réserve n'a généralement pas d'effet visible sur les oiseaux. Toutefois, certains avions et hélicoptères militaires de charge ou les canadiens, notamment ceux générant des sons graves, semblent perturber les oiseaux et provoquer des envols (*B. Dumeau, comm. pers.*).

L'activité ostréicole peut générer des modifications des habitats et des cortèges faunistiques associés. L'évolution des milieux concernés peut être problématique pour certaines espèces qui ne trouveraient plus les ressources alimentaires nécessaires à leur survie. Toutefois, ces modifications peuvent également être bénéfiques à d'autres oiseaux. Par ailleurs, utilisation de *machines à moteurs thermiques* dans le cadre de travaux ostréicoles (pour faire fonctionner les grues ou pour les activités de balisage des parcs) semble engendrer des nuisances sonores et provoquer des déplacements d'oiseaux.

→ **Menaces et impacts :**

ALIMENTATION

Le dérangement des oiseaux dans leur phase d'alimentation a des conséquences directes et indirectes sur plusieurs phases de leur cycle biologique :

➤ **Interruption/limitation de l'alimentation**

Pour l'avifaune présente dans la Réserve, les estrans sont les principaux habitats utilisés pour la recherche alimentaire des laro-limicoles comme l'Huitrier-pie ou le Gravelot à collier interrompu. Un promeneur seul ou un navire qui s'approcherait trop près des oiseaux en alimentation voire le passage d'un aéronef aux abords de la Réserve, peut provoquer un envol. Cette fuite a deux conséquences : une interruption dans l'alimentation et une dépense énergétique supplémentaire due à l'effort physique lié à l'envol. Par ailleurs, ce dérangement, s'il persiste, peut contraindre les oiseaux à se replier sur d'autres sites de nourrissage potentiellement moins intéressants (*Tamisier et al., 2003*).

Selon *Goss-Custard et al. (2006)*, la tolérance au dérangement chez l'Huitrier-pie, en Baie de Somme, varie en fonction de plusieurs paramètres. Quand les ressources alimentaires sont élevées et les températures clémentes, comme au printemps ou en été, l'avifaune semble moins tolérante au dérangement. A l'inverse, en hiver, période durant laquelle les ressources alimentaires sont potentiellement moindres et les températures froides, la tolérance des oiseaux augmentent, notamment pendant les vagues de froid. En effet, les oiseaux privilégient alors d'économiser leur énergie plutôt que de l'investir systématiquement dans la fuite. Ces différences identifiées entre les saisons, sont également mises en exergue par *Tamisier et al. (2003)*. De plus, selon *Goss-Custard et al. (2006)*, l'augmentation des dépenses énergétique liée à envol des oiseaux augmente le risque de mortalité, particulièrement pendant les phases de migration et d'hivernage. Les conséquences du dérangement sur les phases de prise alimentaire varient donc en fonction des périodes de l'année.

Une alimentation perturbée après la fin de la période de reproduction et sur les haltes migratoires **affecte le taux d'adiposité** des oiseaux et peut **menacer les chances de survie et la réussite lors de la migration**, notamment pour les vols au long court. En effet, selon *Zucca, (2021)*, les oiseaux qui se préparent à migrer entrent dans une **phase d'hyperphagie**, où l'essentiel de leur temps est consacré à la prise alimentaire, laissant très peu de temps au repos. Selon lui, ce phénomène est d'autant plus marqué **chez les limicoles**, tributaires des marées pour s'alimenter. De plus, la prise d'adiposité est doublement dépendante du **temps consacré à cette phase d'hyperphagie**. En effet, d'après *Zucca (2021)*, selon les espèces (et d'autant plus, plus chez les oiseaux de grande taille), il faut un certain temps pour que l'intestin prenne en taille, en poids et en volume, étape préliminaire nécessaire au stockage des graisses.

➤ **Baisse du temps alloué à l'alimentation**

Le temps d'alimentation se retrouve également réduit par les dérangements. En effet, à chaque fuite, les oiseaux perdent un temps à se nourrir, qui varie en fonction des espèces (temps d'envol et de retour à l'alimentation). Le temps passé à se nourrir et le temps où une espèce est contrainte d'arrêter son activité d'alimentation ont été étudiés et traduits en quantité de nourriture non ingérée. Avec les dépenses énergétiques suite à l'envol ou aux dérangements successifs, il est possible de quantifier la diminution des ressources énergétiques que représente un dérangement sur un lieu donné (*Le Corre, 2008*).

➤ **Modification du comportement et du régime alimentaire**

De plus, certaines espèces viennent à compenser les dérangements subis de jour par une activité de recherche alimentaire de nuit. Toutefois, les oiseaux qui se nourrissent pendant la marée basse, notamment les limicoles, ont parfois plus de mal à compenser (*Triplet, 2009*).

Par ailleurs, certains oiseaux peuvent profiter de manière opportuniste des restes de nourriture laissés par les êtres humains ou les rejets de pêche. Dans les deux cas, la présence de ces déchets influence leur éthologie alimentaire. En ce qui concerne les restes alimentaires, ils n'entrent pas dans la composition naturelle de leur régime alimentaire et peuvent même nuire à la santé des oiseaux.

Enfin, l'activité humaine, notamment avec l'introduction de contaminant chimiques dans le milieu, la modification des habitats et les prélèvements liés à la pêche peut également influencer la disponibilité en proie et ainsi avoir des impacts sur la survie des oiseaux et des populations.

➤ **Désertion de sites**

Un phénomène éthologique particulier accompagne le dérangement de l'avifaune, notamment au moment de l'alimentation : la redistribution spatiale. En effet, un dérangement peut pousser les oiseaux à fuir un « site dérangé » pour se rabattre sur des « sites alternatifs » quand ils existent, souvent moins propices à l'alimentation (ex : avec une densité de proies moindre). Un « site dérangé » peut être temporairement, partiellement voire totalement abandonné en fonction du dérangement. Le plus souvent, les dérangements répétés sur un site occasionnent son abandon (*Tamisier et al., 2003 ; Triplet et al., 2003*). Étant pourtant un premier choix pour certaines espèces, le ou les sites concernés se retrouvent alors sous-exploités au vu des ressources trophiques qu'il héberge.

➤ **Augmentation des comportements de regroupements**

Les oiseaux qui fuient la source de dérangement et qui se rabattent ensuite sur des « sites alternatifs » peuvent faire face à un phénomène de massification (*Fox et Madsen, 1997*). La densité des oiseaux y augmente et donc la compétition inter et intraspécifique pour accéder à une ressource déjà moindre comparée au « site dérangé ». La conséquence principale est donc un déficit énergétique pour les individus. Selon *Tamisier et al (2003)*, les dérangements occasionnent quasi systématiquement une redistribution spatiale des individus qui augmente les comportements de regroupement de 10 à 50 fois (en comparaison avec un site n'ayant pas subi de dérangement).

En bref :

- => augmentation des dépenses et du déficit énergétiques
- => Baisse du taux d'adiposité pré-migratoire ou pré-hivernal
- => Réussite de la migration compromise
- => réduction du temps d'alimentation total (pour les adultes et les poussins)
- => redistribution spatiale non avantageuse
- => modifie l'éthologie et le régime alimentaire

NIDIFICATION

➤ **Piétinement des nids et abandon des œufs**

Sur la Réserve naturelle nationale du Banc d'Arguin, les oiseaux nichent à même le sol, parfois dans une simple cuvette sur le sable. Par ailleurs, le mimétisme de leurs œufs avec le sable les rend presque invisibles pour les prédateurs comme pour les êtres humains. Des zones de protection intégrale (ZPI) sont alors définies régulièrement pour protéger les secteurs de nidification. Cependant, tous les oiseaux ne nichent pas dans ces zones où toute activité humaine est interdite. Ceux qui se retrouvent à l'extérieur s'exposent à un risque non négligeable de piétinement de leur nid. D'après *Primi (2022)*, lors du premier confinement lié à la crise du Covid-19 (en 2020), un taux de réussite qualifié de mauvais en termes d'éclosion a été observé sur la Réserve pour l'Huitrier-pie et le Gravelot à collier interrompu. Les oiseaux ayant commencé à nicher avant le déconfinement, plusieurs couples se sont installés en l'absence de l'Homme dans les zones autorisées au public. Une fois le confinement terminé, les oiseaux nicheurs hors ZPI ont été dérangés. Certains nids ont été malencontreusement piétinés. Dans une moindre mesure, ce phénomène s'observe chaque année hors confinement sur la Réserve pour les nids installés dans les zones ouvertes au public. Des observations similaires ont été réalisées sur le littoral, notamment par l'équipe du Parc naturel marin du Bassin d'Arcachon. Des dérangements répétés et rapprochés spatialement peuvent également inciter des couples à totalement abandonner un secteur potentiel de ponte (*de Ross et Ashaafsma, 1981*), voire un nid même avec les œufs, et faire échouer une nichée.

➤ **Dispersion et perte des poussins liées au stress**

La fréquentation humaine ou l'émission de bruit peut occasionner un stress chez les oiseaux, et particulièrement chez les poussins, ce qui augmenterait leur dispersion spatiale (*Le Corre, 2009*). Loin de leur nid d'origine, les poussins égarés s'exposent à de nombreux dangers, notamment celui de ne plus être nourris par leurs parents, d'être prédatés, l'hypo et hyperthermie (en cas de mauvais temps ou de fortes chaleurs), etc.

➤ **Augmentation de la prédation**

Lors d'un dérangement au cours duquel les adultes s'éloignent de leurs œufs ou poussins (dérangements humains, nuisances sonores, etc.), ces derniers sont d'avantage sujet à la prédation, notamment par des goélands ou rapaces. A la différence des Huitriers pies qui sont relativement agressifs, le Gravelot à collier interrompu a tendance à s'éloigner de son nid ou de sa progéniture à la moindre menace en essayant d'attirer le prédateur à lui. Les œufs et/ou les poussins sont ainsi à la merci des prédateurs (*Hall, 1960, Williamson, 1943*). De plus, les poussins qui s'éloigneraient d'eux-mêmes de leur parents se retrouvent parfois en terrain découvert (sans végétation), plus visibles des prédateurs (*Le Corre, 2009*). Paradoxalement, lors de l'incubation des œufs, les couples de Gravelot à collier interrompu qui ont installé leurs nids dans les milieux avec une végétation trop dense ont une moins bonne visibilité pour surveiller l'approche des prédateurs éventuels (*Gomez-Serrano et Lopez-Lopez, 2014*), d'où l'importance de soustraire des zones de haut de plage de la présence de l'Homme.

➤ **Chocs thermiques sur les œufs et poussins**

Comme expliqué précédemment, les poussins en dispersion s'exposent aux aléas des conditions climatiques, provoquant notamment de l'hypo et hyperthermie. Il en est de même pour les œufs qui ne seraient pas couvés par leurs parents pendant une longue période. Des dérangements, et d'autant plus quand ils sont répétés peuvent donc être très préjudiciables, rendre stérile les œufs et/ou occasionner la mort des poussins.

➤ Baisse des soins parentaux

Selon *Verhulst et al.*, (2001), en Europe, les Huîtrier-pies ont tendance à diminuer leur temps d'incubation et/ou les soins qu'ils prodiguent à leurs petits quand ils sont dérangés, réduisant ainsi le succès reproducteur des individus. Quand les parents sont dérangés pendant leurs phases de prospection alimentaire, la perte de temps générée se répercute ensuite sur le temps (à la baisse) qu'ils pourront passer au nid pour l'incubation. Par ailleurs, plus les dérangements sont fréquents pendant que les parents s'alimentent, moins les poussins sont nourris régulièrement. Cela a alors un impact sur leur croissance dont dépend leur taux de survie. Ces dérangements à l'échelle d'une population peuvent donc avoir des conséquences démographiques évidentes.

➤ Baisse du taux de reproduction

Si des individus adultes matures ne peuvent se nourrir suffisamment, leurs réserves énergétiques ne seront pas suffisantes pour investir et dans la survie et dans la reproduction. Dès l'automne donc, les dérangements des oiseaux en halte migratoire et hivernants peuvent avoir un impact sur la reproduction prochaine. Et quand bien même ces individus parviendraient à se reproduire, cela peut affecter la quantité d'énergie dédiée à la fabrication des œufs, réduire le taux d'éclosion et de de survie des poussins (*Murchison, 2015*).

En période de nidification, les parents cherchent de la nourriture sans relâche pour se nourrir mais surtout pour **alimenter leur couvée**. Cette période est donc cruciale pour la survie des poussins, qui ont particulièrement besoin d'apports de protéines conséquents pour leur croissance rapide.

En bref :

- => affecte les réserves adipeuses
- => baisse le nombre de reproducteurs
- => baisse la quantité d'énergie placée dans la fabrication de l'œuf
- => empêche les parents de nourrir leurs poussins
- => réduit le taux de survie des poussins
- => augmente le taux de mortalité des couvées
- => augmente le taux d'échec de reproduction
- => empêche l'occupation/colonisation de (nouveaux) sites de nidification (hors ZPI)

REPOS

➤ Interruption des temps de repos et d'alimentation

Chaque oiseau a besoin d'habitats particuliers répondant à ses exigences physiologiques, essentiellement en termes de repos et d'alimentation. Lors de ces phases, un certain niveau de quiétude est alors indispensable pour leur survie. Le stress et les dérangements peuvent augmenter considérablement les dépenses énergétiques, et avoir également des effets indirects sur leur reproduction (*Tamisier et Dehorter, 1999 ; Murchison, 2015*). La réduction du temps de repos, voire du temps consacré à la prise alimentaire, est également démontrée (*Leroux 2019 citant Fritz 2003*). Par ailleurs, l'hiver est une période particulièrement critique pour les oiseaux pendant laquelle les conditions de vie sont rudes et les ressources trophiques sont moins abondantes (*Goss Custard, 2006*). Les dérangements sont d'autant plus nuisibles pour eux.

Concernant les limicoles, qui sont nombreux à utiliser la Réserve, leur rythme est calqué sur celui de la marée. Comme le décrit *Leroux (2019)*, ils passent leur temps à se nourrir à marée basse, profitant du découverturement des zones intertidales pour fouiller le sédiment. A marée haute, ils profitent des zones émergées de banc de sables, comme reposoirs. Ce temps d'attente, répondant à des besoins physiologiques et éthologiques, est alors dédié au repos, au toilettage du plumage et à la sociabilisation. *Annezo et Hamon (1989)* expliquent que le stationnement des limicoles dépend aussi de l'existence de reposoirs adaptés et protégés. Ils constituent en fait des zones de repli et/ou de refuge à pleine mer. L'idéal étant quand ces zones de repli jouxtent (ou sont proches) des zones de nourrissage (estran), réduisant ainsi la distance, le temps de déplacement et donc les dépenses énergétiques pour les atteindre.

PHYSIOLOGIE

➤ Augmentation du rythme cardiaque et stress

Selon *Jarvis (2005)*, l'augmentation du rythme cardiaque est le premier effet observable, d'un point de vue physiologique, chez les oiseaux soumis à un dérangement. Chez l'Huîtrier-pie par exemple, cela peut doubler son nombre de battements par minute. Plusieurs conséquences ont été étudiées comme l'**augmentation des hormone du stress, le corticostérone** (*Romero et Remage-Healey, 2000, Pauli et al., 2017*). *Holberton, Helmuth, et al. (1996)* expliquent que le stress fait augmenter la température des poussins de Manchots empereurs. Dans ce cas, et avec les conditions climatiques extrêmes (froid), **une dépense**

énergétique journalière supplémentaire de +10% a été observée. Bien que les conditions ne sont pas comparables avec la France métropolitaine, il est admis que la survie des oiseaux peut être affectée.

En bref :

- => augmentation des dépenses énergétiques
- => diminution de la survie des individus
- => moins bonne dynamique de population

Les mammifères marins

Au cours de son histoire, le Banc d'Arguin était inclus dans la zone fonctionnelle (alimentation, repos, jeux) d'un groupe de six individus de Grand dauphin (*Tursiops truncatus* - écotype côtier) qui faisaient l'objet d'un suivi scientifique régulier. Tous les individus sont morts entre 1998 et 2001. Au moins deux individus sont morts de vieillesse et deux de manière accidentelle. Les deux derniers n'ont pas été retrouvés. Depuis, les seuls mammifères marins qui fréquentent le périmètre de la Réserve sont des groupes d'individus qui passent au large et parfois s'aventurent dans les passes nord ou sud. Il s'agit essentiellement de grands dauphins, de dauphins communs et de marsouins communs (essentiellement en hiver). Quelques pinnipèdes sont régulièrement également aperçus dans la Réserve, notamment des jeunes phoques gris en hiver.

→ Usages concernés :

Les mammifères marins ainsi que toutes les espèces animales vivantes sous la surface de l'eau, sont en interaction avec un large panel d'usages.

Un des principaux usages pouvant porter préjudice aux mammifères marins est la fréquentation humaine, et notamment motonautique, avec pour principale pression la pollution sonore. Ainsi, plus il y a d'embarcations à moteur thermique, plus les pressions seront importantes. Le suivi de la fréquentation de la Réserve par les gardes permet de noter une augmentation du nombre d'embarcations comptabilisées au même moment sur le site depuis plusieurs décennies. A ce phénomène s'ajoute également l'utilisation de nouveaux types d'embarcations, comme les Véhicules nautiques à moteur (jetskis). Par ailleurs, d'autres activités humaines concourent à l'augmentation de cette ambiance sonore comme le survol d'aéronef à moteur, la réalisation de travaux maritimes (dragage/réensablement), les activités militaires (manœuvres, tirs, utilisation de sonars, etc.). Les conséquences de telles nuisances peuvent être très graves. Selon *Southall et al. (2007)*, trois catégories de sources sonores se dessinent :

- les impulsions simples de forte intensité. Exemple : explosions sous-marines, ou l'utilisation de sonar, qui sont de courtes durées et localisées ;
- les impulsions répétées de forte intensité, comme le battage de pieux répété ;
- les sons diffus, dont l'intensité est en général moins forte, mais dont la durée d'émission est plus longue, comme le passage de navires.

De plus, un dérangement direct peut avoir lieu quand un individu ou un groupe de mammifère marin est observé. Leurs observations étant assez rares pour le grand public, un effet attractif et de masse peut amener des comportements inappropriés de la part des observateurs, ce qui peut occasionner du stress pour les animaux avec diverses conséquences à la clé. Toutefois, les activités de whale watching ne sont pas autorisées dans le périmètre de la Réserve, ce qui limite ce type de pression.

Enfin un risque de collision peut subvenir dans la Réserve au vu de la fréquentation nautique.

Certaines techniques de pêche pratiquées dans la Réserve peuvent avoir des interactions négatives avec les mammifères marins, notamment en termes de pollution sonore, de captures accidentelles et de concurrence pour la ressource.

Les pollutions chimiques, avec l'écoulement de polluants (pesticides, rejets...) dans le Bassin d'Arcachon, par ruissellement ou via les cours d'eau alimentant la zone.

→ Menaces et impacts :

Kostecki et al. (2012) ont effectué un travail assez complet afin d'identifier les menaces qui pèsent sur les mammifères marins dans la Manche et la Mer du Nord. Cette équipe a classé les pressions et menaces en 3 catégories qui nous permettent une lecture graduelle. Seules celles en lien avec la RNN du Banc d'Arguin ont été conservées, et complétées par d'autres références bibliographiques.

Les nuisances sonores sont abordées dans chacune de ces catégories, mais seront détaillées dans un paragraphe dédié.

➤ **Mortalités additionnelles directes :**

Dans cette catégorie sont inclus les mécanismes (et donc les usages) qui entraînent des mortalités additionnelles directes, c'est-à-dire des pressions et menaces qui vont se cumuler et qui peuvent à terme entraîner la mortalité des individus. Dans ce cas-là, la mortalité est due à une corrélation de facteurs.

Captures accidentelles

Certaines activités de pêches professionnelles ou récréatives peuvent être responsables de prises accidentelles dans leurs engins de pêche, et notamment les filets. En 2020, par exemple, l'Observatoire PELAGIS du CNRS, explique qu'entre janvier et mars, 1067 petits cétacés ont été retrouvés échoués morts sur la façade atlantique et en Manche. Chez le dauphin commun, la capture dans les engins de pêches serait même la principale cause de mortalité. Par ailleurs, les mammifères marins peuvent être pris dans les filets en cours d'utilisation, mais également dans les filets dits « fantômes » (filets abandonnés/perdus qui continuent de capturer des animaux). La plupart du temps, les individus capturés dans les engins de pêche meurent asphyxiés.

Les interactions avec certains engins de pêche ont ainsi conduit l'UE à interdire l'utilisation des filets dérivants en Méditerranée qui occasionnaient de très fortes mortalités chez les dauphins bleu et blanc (Barcelo et al., 2013). Des dispositifs répulsifs acoustiques, appelés « pingers », ont également été développés et déployés pour éviter les captures accidentelles de cétacés, tels que les marsouins et les dauphins. Ces dispositifs émettent à intervalles réguliers des impulsions sonores assez puissantes, que les cétacés captent grâce à leur système d'écholocalisation. Ces pingers servent alors de répulsifs sonores. Il existe donc différents modèles en fonction de l'espèce cible (chacune communiquant sur des fréquences qui lui sont propres). D'après l'Ifremer (2012), ces pingers pourraient eux aussi constituer une menace tertiaire, poussant les individus à s'éloigner de zones d'alimentation qui leur sont favorables, et les pousser à fuir vers des zones beaucoup moins favorables.

Collisions avec des embarcations

D'après Van Canneyt et al. (2015 - Pelagis), en Méditerranée, la mort de 16 à 22 % des individus échoués serait due à des collisions. De tels impacts peuvent tendre vers la disparition de certaines populations, comme c'est le cas pour la dernière population de baleine franche de l'Atlantique Nord, par exemple. Fin 2022, l'Organisation Maritime Internationale a même approuvé la désignation d'une Zone Maritime Particulièrement Vulnérable (ZMPV) en Méditerranée nord occidentale. À l'origine, selon le Parc de Port-Cros, l'objectif était de réduire la mortalité des mammifères marins par collisions, tant ils étaient importants, menaçant ainsi plusieurs espèces. Au vu des caractéristiques de la flottille opérant dans la Réserve et les espèces de mammifères marins présents, le risque de collision semble être faible.

Pollution sonore

Les bruits impulsifs puissants comme les sonars militaires (à l'origine de sons à basses et moyennes fréquences), qui sont employés à l'occasion d'exercices et d'entraînements navals, peuvent dans certains cas avoir pour conséquences de provoquer des lésions des organes et des tissus chez les mammifères marins et entraîner leur mort (Southall et al., 2007).

➤ **Mortalités additionnelles indirectes :**

Dans cette catégorie sont inclus les mécanismes (et donc les usages) qui nuisent à l'état général des individus et génèrent ainsi des mortalités additionnelles indirectes.

Présence de contaminants

Partout où l'être humain est présent, et d'autant plus au niveau d'un bassin d'activités tel que le Bassin d'Arcachon, diverses pollutions chimiques contaminent le milieu aquatique, et les espèces qui le composent. Ainsi, dans leur alimentation, et par phénomène de bioaccumulation, les mammifères marins sont exposés à de nombreux contaminants, qui peuvent perturber le système immunitaire ou agir sur leur fertilité. L'exemple du Marsouin commun, dans l'est de la sous-région marine de la Manche et de la Mer du nord, est pris par Kostecki et al. (2012), pour expliquer que l'accumulation de ces contaminants peuvent entraîner des pathologies opportunistes (parasites, pathologies respiratoires, etc.).

Modification quantitative et qualitative des ressources trophiques

Les mammifères marins et les pêcheurs sont amenés à cibler les mêmes espèces de poissons et de céphalopodes. Il existe donc un phénomène de concurrence trophique. L'épuisement des ressources trophiques dans une zone peut donc conduire les mammifères marins soit à abandonner un territoire de chasse, soit à augmenter leurs dépenses énergétiques pour consommer les mêmes quantités de proies, soit

à changer de régime alimentaire. Les conséquences sur l'état physique des individus peuvent être non négligeables avec des baisses du succès reproducteur, une plus grande exposition aux prédateurs, aux pathogènes, etc.

Une autre pression influençant l'accessibilité aux ressources trophiques est le masquage acoustique. Selon l'intensité de la pollution sonore sous-marine, ces émissions peuvent masquer certains sons, tels que ceux émis par les proies des mammifères marins, ce qui nuit alors à leur succès alimentaire. Par ailleurs, la curiosité des humains envers les mammifères marins, du fait de la rareté des observations, peut également pousser les gens à s'approcher près des mammifères marins et de manière inappropriée, voire dangereuse, occasionnant alors un dérangement. Le stress généré chez les individus observés peut les empêcher de se nourrir normalement (voire d'écourter le temps qu'ils consacrent à cette activité vitale).

Baisse du succès reproducteur

Le masquage acoustique peut également empêcher les individus de communiquer entre eux, séparer les individus d'un groupe ou et réduire la probabilité de rencontrer des partenaires en période de reproduction, nuisant ainsi au succès reproducteur.

Le stress occasionné par l'activité humaine (trafic maritime intense, pollution sonore, etc.) peut également être à l'origine de la séparation d'un jeune non sevré et sa mère, conduisant à l'errance du jeune jusqu'à sa mort, impactant le renouvellement des populations.

Problème d'orientation

Les mammifères marins s'orientent dans leur milieu en grande partie avec leur système d'écholocation et en émettant des sons pour communiquer avec d'autres individus. Toutefois, la pollution sonore liée à l'activité humaine crée des interférences. L'accumulation de sources sonores anthropiques, avec notamment le trafic maritime mondial et les travaux sous-marins, rendent parfois leurs habitats totalement hostiles. Le trafic maritime mondial (à l'origine de sons à basses fréquences) est particulièrement impactant car la nuisance sonore est quasi continue. Des individus ou des groupes d'individus peuvent alors être perturbés et désorientés, avec des risques d'échouage.

Lésions et perte d'audition

Une exposition à des bruits sous-marins de forte intensité peut avoir des effets physiologiques non létaux. D'après Richardson et al., (1995), une exposition à un niveau sonore élevé peut toutefois entraîner un déficit auditif temporaire ou permanent. Dans le cadre de travaux de construction maritimes, une exposition à des bruits générés par le battage mécanique de pieux et de palplanches peut générer des pressions sonores suffisantes pour endommager l'audition des mammifères marins (Gauthier et al., 2015 ; National Research Council, 2005). Au Canada, le National Marine Fisheries Service (NMFS) a décrété que pour être suffisamment protégés, les cétacés et les pinnipèdes ne doivent pas être exposés à des impulsions sonores sous-marines dépassant respectivement 180dB re 1 μ Pa et 190 dB re 1 μ Pa, sans quoi la perte d'audition serait permanente (Abgrall et al., 2009). Les conséquences de ses lésions sont multiples dont la baisse du succès alimentaire, reproducteur, les problèmes d'orientation et les échouages.

➤ Modification des habitats

L'activité humaine peut nuire localement ou à plus large échelle à la qualité des habitats naturels et peuvent entraîner des perturbations au sein des différentes niches écologiques nécessaires à la survie des mammifères marins, être à l'origine de redistribution géographique des animaux vers d'autres habitats, parfois moins favorables. Les phénomènes globaux tel que le dérèglement climatique peuvent notamment considérablement modifier la disponibilité alimentaire. La pollution sonore, en fonction de son intensité et de sa fréquence, peut également modifier les habitats naturels dans lesquels vivent les individus. Dans certains cas, pour de nombreux chercheurs, l'environnement peut même devenir hostile pour certaines espèces.

➤ Dérangement direct

Le dérangement direct des humains envers les mammifères marins (approches fortuites et/ou de Whale Watching organisé) peuvent stresser et pousser les individus à modifier leurs comportements naturels. Des comportements de l'ordre du harcèlement ont même été reportés dans la bibliographie scientifique (Barcelo et al. 2014 ; Mayol et al. 2014). Les modifications comportementales induisent aux individus soit d'éviter les rencontres ou au contraire interrompre leur activité afin de rencontrer les humains. Pendant ces phases d'interruption de leurs activités naturelles, les animaux ne se nourrissent alors plus et n'interagissent plus avec leurs congénères. Leur vigilance peut alors être moindre vis-à-vis de leurs prédateurs. Ils sont donc plus vulnérables.

La pollution sonore peut également entraîner des changements de comportements selon Richardson et al. (1995), entraînant évitement et déplacement des mammifères marins.

➤ **Impacts acoustiques :**

Afin d'apporter plus de précisions aux conséquences dues aux nuisances sonores, quelques points précis sur cette pollution sont détaillés ci-après :

Système sensoriel des mammifères marins

Selon le CNRS (Petit, Shuhl et al. 2021), chaque espèce de mammifère marin a un système sensoriel de détection et d'analyse des sons qui lui est propre. Cela leur permet aussi bien de communiquer entre eux, que de capter des informations sur leur environnement, leurs proies ou encore leurs prédateurs ou quelconques menaces. Leur gamme de perception est en réalité suffisamment large pour capter des sons d'origines anthropiques qui peuvent leur nuire de différentes manières et avoir de modérées à graves conséquences. Les gammes d'écoute des animaux aquatiques peuvent varier de quelques Hz à plusieurs centaines de kHz. En comparaison l'être humain capte une gamme de 20 Hz à 20000 Hz.

Effets des bruits forts

Les effets des bruits forts peuvent être classés en 3 catégories, représenté comme 3 zones d'effet, toutes concentriques autour d'un point d'émission : une zone de mortalité, une zone d'effet physiologique, et une zone d'influence comportementale (Gauthier et al., 2015 ; Bape 2004).

Seuils d'impacts

Une équipe du CNRS (2021) a décrit des seuils d'impacts, dû à la production sonore anthropique sur la faune sous-marine :

- ➔ mortalité directe (> 260 dB re. 1 μ Pa) et mortalité à court terme (> 240 dB re. 1 μ Pa) ;
- ➔ effets traumatiques sur le système auditif transitoires ou permanents (blessures physiques et dommages sur le système auditif > 220 dB re. 1 μ Pa) ;
- ➔ lésions des tissus non liés au système auditif et modifications métaboliques ;
- ➔ masquage des communications ;
- ➔ réactions comportementales (fuite...).

Les invertébrés terrestres

Tous les invertébrés terrestres vivant dans la Réserve sont halophiles et se retrouvent sur les bancs de sable émergés en permanence ou à marée basse. Ils supportent donc de vivre dans un milieu salé. Ils sont donc particulièrement adaptés à ces habitats si spécifiques allant des zones d'estran aux dunes fixées. D'après la *Société Linnéenne de Bordeaux (2015)*, la répartition des espèces n'est cependant pas homogène sur l'ensemble des habitats. Des zones d'estran à la dune grise, les espèces sont plus nombreuses et moins spécialisées. Inversement, dans la zone d'estran, peu d'espèces se retrouvent, mais celles-ci sont très spécialisées tant le milieu est particulier.

➔ **Usages concernés :**

Comme expliqué pour d'autres groupes taxonomiques, la fréquentation humaine apparaît comme étant la principale activité pouvant porter préjudice aux invertébrés terrestres. Le piétinement induit par cette fréquentation semble être l'une des pressions majeures. Les conséquences s'observent sur les différents habitats qui sont ouverts au public (estran, plage, dunes). Le niveau de densité au mètre carré est toutefois un élément clé à considérer. Certains visiteurs de la Réserve aiment également manipuler les éléments mobiles naturels, tels que les bois flottés et la laisse de mer, qui constituent des refuges pour certaines espèces. Le déplacement de ces éléments peut modifier les microhabitats qu'ils constituent et être préjudiciable pour les invertébrés qui s'y trouvent.

L'activité ostréicole, avec la présence de structures sur l'estran, modifient la courantologie et la granulométrie localement. Ces modifications seraient impactantes pour les invertébrés terrestres occupant l'estran, selon la dernière étude réalisée par la Société Linnéenne de Bordeaux.

L'usage d'engins mécaniques peut-être autorisé sur la Réserve dans le cadre de travaux. Toutefois, l'usage de telles machines est soumis à autorisation préfectorale et à l'avis du Conseil scientifique de la Réserve. Au vu de la très faible probabilité qu'ils soient utilisés sur le banc d'Arguin, les impacts extrêmement préjudiciables, voire irréversibles de l'usage de ces engins ne seront pas abordés.

➔ **Menaces et impacts :**

➤ Destruction et/ou modification des habitats

Les dunes végétalisées :

Les dunes sont des habitats très sensibles qui présentent une résilience faible au piétinement. (Rickard et al., 1994). Par ailleurs, les communautés floristiques dunaires dans toutes leurs composantes (feuilles, tiges, racines) ainsi que le biotope constituent à la fois un abri, une zone de ressources trophiques, ainsi qu'une zone de reproduction et de ponte pour les invertébrés terrestres. Leur perturbation et/ou destruction, essentiellement par piétinement, constitue donc une perte d'habitats parfois irréversible pour l'accomplissement de leur cycle biologique et donc leur survie.

Soldati (1995) expliquent que parmi les *Tenebrionidae* (coléoptères), les espèces les plus menacées sont celles appartenant aux cortèges psammo-halophiles, inféodées aux dunes littorales et hauts de plages. Celles qui se retrouvent sur le littoral méditerranéen et/ou atlantique sont particulièrement impactées par la fréquentation humaine parfois très importante par endroit. Sur le banc d'Arguin, la Société Linnéenne de Bordeaux (2015) a identifié plusieurs représentants de cette famille, dont *Trachyscelis aphodioides*. Pour cette espèce, le banc d'Arguin pourrait être la seule station atlantique où la population est stable. L'enjeu pour la conservation de cette espèce est donc élevé.

Les bancs de sable situés à l'intérieur du périmètre de la Réserve évoluent en permanence. Cette dynamique empêche actuellement les milieux dunaires dits « ouverts » d'évoluer vers le stade forestier, milieu « fermé ». La permanence des milieux ouverts comme la dune grise bénéficie à *Argiope lobata*, Araignée peu fréquente de manière générale (Société Linnéenne de Bordeaux, 2015). Cette espèce caractéristique des milieux chauds et secs a, selon Kovoov et Munoz-Cuevas (2000), disparu en Méditerranée du fait de l'anthropisation des milieux dunaires et/ou de leur évolution vers le stade forestier.

Les hauts de plage et la laisse de mer :

Selon la Société Linnéenne de Bordeaux (2015), qui a effectué l'inventaire des invertébrés de la Réserve, entre 2013 et 2015, la conservation des hauts de plage et des lasses de mer est primordiale pour l'ensemble des espèces, qu'elles soient terrestres ou marines. A titre d'exemple, le fait que les habitats entomologiques très particuliers, comme les bois flottés et autres débris végétaux, soient laissés sur les plages, offre abris et nourriture à tout un cortège d'espèces. Leur déplacement peut modifier le degré d'humidité du sable situé en dessous et être préjudiciable pour les espèces qui y auraient trouvé refuge. Les cadavres d'animaux (tels que d'oiseaux qui peuvent s'échouer, notamment après des tempêtes) sont également sources de nourriture pour les insectes saprophages. Il paraît donc important de ne pas les retirer ou les ensabler.

Les estrans :

Le *Cillenus lateralis* et le *Bledius subniger* (espèce rare de coléoptère en France,) ont été découverts sur la Réserve au cours de l'inventaire réalisé entre 2013 et 2015. Leurs observations ont été réalisées sur certaines zones d'estrans abrités, par les entomologistes (Société Linnéenne de Bordeaux, 2015). Toutefois, ces deux espèces n'ont pas été retrouvées dans et à proximité des parcs ostréicoles. La modification du substrat dans les concessions ostréicoles expliquerait cette absence d'observation. La modification du cadastre ostréicole et la création régulière de nouvelles concessions en lien avec la dynamique géomorphologique du banc d'Arguin est donc une menace sérieuse pour ce cortège d'espèces très spécialisées et inféodées à ce milieu. Lors de cette étude, très peu d'espèces ont d'ailleurs été trouvées dans les zones d'implantation ostréicole.

Par ailleurs, lors de la réalisation de cet inventaire, le *Bledius subniger* n'a été trouvée qu'à l'intérieur des zones de protection intégrale. En dehors de ces zones, le piétinement induit par la fréquentation humaine sur des estrans similaires a vraisemblablement un effet négatif sur la population de ce coléoptère (S. Labatut et H. Thomas, comm. pers.).

➤ Augmentation de la mortalité des individus

La mortalité directe des insectes en lien avec la fréquentation humaine concerne essentiellement le piétinement. Le stationnement des personnes et des embarcations peut causer un écrasement total les invertébrés terrestres dissimulés ou parcourant les estrans, les plages et les dunes. L'impact peut être très négatif, notamment pour des populations d'espèces concentrées sur de petites zones (Defeo et al., 2008). Par ailleurs, dans leur étude du piétinement sur la macrofaune de la plage, menée en Afrique du sud, Moffett et al. (1998), expliquent que l'impact dépend de l'intensité. Des groupes taxonomiques tels que les isopodes (plusieurs espèces ont été inventoriées sur la Réserve, notamment un petit cloporte dépygmenté : *Tylos latreillei*), subissent des dégâts directs uniquement quand l'intensité des piétinements est élevée. Ils ont quantifié une perte jusqu'à 70 % selon les espèces. De plus, la non présence de *Bledius subniger* hors des

zones de protection intégrale peut également laisser penser que le piétinement pourrait avoir une conséquence directe sur sa mortalité en plus de la modification de l'habitat.

Pour certaines espèces, une baisse significative des effectifs signifie une disparition annoncée et quasiment irréversible de la population *in situ*.

➤ Baisse de la richesse spécifique

Les activités humaines sur les zones d'estran abrité auraient un impact sur peu d'espèces mais seraient potentiellement très préjudiciables tant les invertébrés qui s'y retrouvent sont spécialisées. Leur hyperspécialisation dans ce milieu les empêche d'avoir des zones de repli en dehors de l'estran. Les espèces de coléoptères spécialisées de ces milieux sableux retrouvées sur le banc d'Arguin font donc partie des espèces qui subissent le plus les pressions anthropiques, avec notamment le piétinement lié à une fréquentation intense. Une étude de Ifremer (2012), réalisée sur la côte de la mer Baltique, et qui porte sur les coléoptères, tel que le *Bledius subniger*, explique que les plages fermées au public présentent une richesse spécifique bien plus élevée que les plages ouvertes. Ces plages inaccessibles (et donc non piétinées) ont révélé quasiment deux fois plus d'espèces que les plages accessibles.

La dune embryonnaire abrite moins d'espèces d'invertébrés terrestres que la dune fixée, bien plus dense et diversifiée floristiquement parlant. Toutefois, les invertébrés présents dans la dune embryonnaire, étant bien souvent très (et plus) spécialisés que les espèces présentes dans la dune fixée (Iorio et al., 2022), sont ainsi tributaires d'un habitat fragile soumis aux aléas de submersion et peu résistant au piétinement. Des perturbations, tel que du piétinement peuvent donc facilement faire disparaître certaines espèces d'invertébrés sur un secteur donné. Selon Iorio et al. (2022), en Méditerranées, en raison de la pression anthropique sur leurs habitats très restreints et très particuliers, les espèces halophiles ont disparus d'une bonne partie des côtes françaises, à l'exception des lieux encore préservés.

Les dunes grises présentes sur la Réserve sont actuellement très localisées et leur surface sont restreintes. Bien qu'elles abritent de nombreuses espèces moins spécialisées que sur les zones d'estran et dans les dunes embryonnaires, leur faible représentativité sur la Réserve est un facteur limitant la diversité spécifique qu'elles peuvent accueillir.

Il semble donc nécessaire de pouvoir préserver une surface représentative de chaque habitat de la Réserve pour maintenir hors d'atteinte des effectifs satisfaisants pour la pérennité des populations d'espèces d'invertébrés présents. Par ailleurs, selon Acosta et al. (2013), du fait de leurs interactions entre-elles, notamment les relations proies-prédateurs, certaines espèces d'invertébrés terrestres sont dépendantes du maintien de la/les population(s) de proies qu'elles consomment. D'après l'inventaire sur les invertébrés réalisé par la Société Linéenne de Bordeaux (2015), la relation prédateur/proie fait que le *Cillenius lateralis* se retrouve systématiquement là où vit le *Bledius subniger*, sa proie. La disparition de la seconde pourrait donc entraîner à terme la disparition de la première.

➤ Perte de la relation butineur-fleur

Un autre type de relation trophique peut avoir des effets en cascade et intéresse essentiellement les hyménoptères, la relation butineur-fleur. Selon Mallard (2016), cette relation implique une coévolution entre les pollinisateurs et les plantes à fleurs. Elle explique que plus les pollinisateurs sont diversifiés, plus le succès de pollinisation des plantes est grand, et réciproquement. Sur le banc d'Arguin, une espèce d'abeille sauvage, quasi menacée à l'échelle européenne et mondiale pourrait ainsi être impactée : *Colletes halophilus*. D'après Leclercq (2019), il y a en France une lacune de connaissances sur les abeilles sauvages. De manière générale, les menaces principales qui pèsent sur les butineurs sont connues : intensification agricole, pesticides, destructions de milieux, appauvrissement de la biodiversité, abondance des ressources en pollen et nectar de la flore sauvage et cultivée, compétition avec l'abeille domestique (*Apis mellifera*), le dérèglement climatique, etc. Selon Mahé (2009), cette abeille sauvage est une espèce normalement inféodée aux vasières et prés salés à *Aster tripolium* (sa plante de prédilection). Cette espèce est très rare à l'échelle mondiale et est uniquement connue sur les côtes atlantiques européennes. Ce qui rend sa présence assez exceptionnelle sur le banc d'Arguin et rend primordiale la préservation des habitats et des plantes qu'elle exploite.

Les invertébrés marins

Les 306 espèces d'invertébrés marins recensés sur la RNN du Banc d'Arguin, concernent principalement 5 phyla, avec notamment 33 % de Mollusques, 30 % d'Annélides, 25 % de Crustacés, 6 % d'Echinodermes et 4 % de Cnidaires. L'ensemble de ces groupes semble impacté par les activités anthropiques, qui constituent souvent des facteurs de stress cumulés.

→ Usages concernés :

Pour ce groupe taxonomique, plusieurs usages qui sont également en interaction avec les invertébrés terrestres, les mammifères marins, ou encore la flore marine sont listés

La **fréquentation humaine** apparaît encore comme étant un des principaux usages pouvant porter préjudice aux invertébrés marins, notamment à travers les activités nautiques et balnéaires dont l'échouage et l'ancrage des navires, la pollution sonore et chimique, ou encore le débarquement de passagers sur la plage et les zones intertidales. Le piétinement des zones subtidales est également à prendre en considération.

L'**activité ostréicole**, avec la présence de structures sur les zones intertidale et subtidale, modifient localement la courantologie et donc la granulométrie. Les pseudo-fèces produites par les huîtres et qui sédimentent sous et autour des concessions modifient également la structure et la nature des fonds. La présence et le travail des ostréiculteurs sur leurs parcs peuvent également induire une pollution chimique et sonore. Enfin, cette activité peut être à l'origine de l'introduction d'espèces exotique envahissantes, troisième cause d'effondrement de la biodiversité marine dans le monde.

Certaines techniques de pêche autorisables dans la Réserve peuvent avoir des interactions négatives avec les invertébrés marins, notamment en termes de destruction des espèces et/ou de leurs habitats, et de pollution chimique et sonore. De plus, les pêcheurs professionnels et de loisir peuvent cibler directement des invertébrés marins tels que les bivalves fouisseurs ou les céphalopodes.

Dans le cadre de **travaux sur la Réserve** soumis à autorisation (article R332-23 du code de l'environnement), il peut être envisagé que des engins mécaniques et/ou motorisés soient utilisés, notamment dans le cadre de réhabilitation de friches ostréicoles. L'écrasement des invertébrés, le compactage des sédiments, la destruction des habitats, ainsi que des pollutions chimiques et surtout sonore sont donc à considérer

Les **pollutions terrestres**, essentiellement chimiques, qui arrivent dans le Bassin d'Arcachon par ruissellement ou via les cours d'eau et le réseau d'eau pluviale sont à prendre en compte.

→ Menaces et impacts :

➤ **Exploitation de la ressource**

Dulvy et al. (2003) dressent un état des lieux de l'extinction des espèces marines à différentes échelles (locale, régionale et mondiale). La première cause d'extinction, pour 55 % des espèces, est l'exploitation par la pêche. La dégradation des habitats arrive en deuxième position, suivi des espèces invasives, du changement climatique, des pollutions et des maladies. Rien qu'en mer du Nord, environ 150 000 tonnes d'invertébrés benthiques sont sujet à une pêche non sélective (Cury et Misery, 2008).

La composition spécifique, la diversité et la production des communautés benthiques sont impactées par la pêche aux arts traînants comme les dragues ou les chaluts (Hiddink et al., 2006 ; Tillin et al., 2006). En mer du Nord, la pêche au chalut de fond réduirait la biomasse de 56 % et la production benthique de 21 % (Hiddink et al., 2006). Les impacts de la pêche sont ainsi très significatifs sur les zones où les perturbations naturelles sont quant à elles peu nombreuses. A l'inverse, dans les zones où les perturbations naturelles sont nombreuses, les impacts anthropiques seraient moins conséquents. Par ailleurs, Lorange et al. (2011) expliquent que bien qu'aucune espèce d'invertébré benthique ne soit classée comme étant « menacée » selon le livre rouge de l'UICN, dans le Nord-Est Atlantique, certaines espèces sont toutefois observées comme endommagées après le passage des chaluts de fond. C'est le cas des oursins, qui d'après Blanchard et al. (2004) sont totalement absentes des zones les plus chalutées par exemple.

De plus, la pêche à pied peut également impacter la survie d'une population isolée. C'est le cas du Siponcle (*Sipunculus nudus*), interdit à la pêche sur l'ensemble du Bassin d'Arcachon depuis 1977 et qui a fait l'objet d'un braconnage intense, notamment par des pêcheurs espagnols et portugais qui les utilisaient comme appâts. Depuis plusieurs années ce gros vers polychète n'a plus été revu sur le banc d'Arguin.

➤ **Introduction d'espèces envahissantes**

Les invasions biologiques se seraient fortement accélérées ces dernières décennies, à l'instar du trafic maritime mondial lui aussi en augmentation. Ces introductions involontaires d'espèces exotiques peuvent trouver leurs origines avec le relargage des eaux de ballast des transporteurs maritimes. L'activité conchylicole est aussi à l'origine d'introductions volontaires d'huîtres comme l'Huître creuse (*Magallana gigas*). Ce genre d'introduction s'accompagne en général d'introductions indirectes d'autres espèces

(animales et végétales) associées, notamment lors de transfert de matériel entre bassins de production conchylicoles (Garcia-Meunier et al., 2000). Ce fut le cas dans les zones ostréicoles du Bassin de Marennes-Oléron, avec l'introduction du mollusque gastéropode *Ocenebrellus inornatus* originaire d'Asie. Or ce bigorneau perceur occasionnent de gros dommages sur les huîtres cultivées. Charles (2007) précise que l'espèce a également été observée dans le Bassin d'Arcachon et sur le Banc d'Arguin.

Ces introductions de nouvelles espèces modifient les équilibres en place et peuvent être à l'origine d'une concurrence pour l'espace et/ou trophique qui fragilise les communautés d'invertébrés naturellement présentes (Sauriau et al. 1989).

➤ Destruction et/ou modification des habitats

Dulvy et al. (2003) expliquent que la destruction des habitats est la deuxième cause d'extinction de la biodiversité marine, et ce pour 37 % des espèces. Les habitats qui les hébergent peuvent être affectés par les activités humaines directement (impacts physiques) ou indirectement avec des phénomènes de pollution, hypoxie, eutrophisation, acidification, etc. L'ensemble de ces phénomènes pris séparément ou en cumulé peuvent dégrader, fragmenter, ou détruire ces habitats et ainsi porter atteintes aux espèces qui s'y trouvent.

Dans la sous-région marine du Golfe de Gascogne, Lorange et al. (2011) évoquent comme facteur de dégradation l'abrasion anthropiques des habitats naturels. Celle-ci se caractérise en l'usure ou l'érosion des fonds marins. Les sources d'abrasion sont multiples : certains équipements de pêche (chalutage, dragage), le mouillage de navire à l'ancre ou sur corps morts et le piétinement pedestre. Il n'existe toutefois pas de cartographie des habitats, ni d'estimation de la diversité spécifique, des populations et de leurs fonctionnalités. Il est donc difficile dans ce contexte de connaître l'impact exact de l'abrasion des fonds marins sur les invertébrés benthiques. Rice et al. (2010) précisent cependant que les usages peuvent être considérés comme durables si les pressions générées sur le milieu ne portent pas atteinte à la diversité naturelle et aux processus écologiques propres à ces écosystèmes.

Ce phénomène d'abrasion peut toucher certaines espèces d'invertébrés considérées comme des « espèces ingénieures », dont la moule (*Mytilus edulis*). Celle-ci peut être exploitée à la drague dans le périmètre de la RNN et subir des dégradations liées à l'ancrage des navires. Les bancs de moules, constitués de différentes strates d'individus morts et vivants, ont des rôles multiples dont le fait de constituer un habitat pour de nombreuses espèces d'invertébrés. Par ailleurs, les moulières freinent l'érosion quand elles sont bien établies, servent de zone de nourricerie pour la Seiche commune (*Sepia officinalis*) et constituent une source de nourriture pour le Poulpe commun (*Octopus vulgaris*) et l'étoile de mer commune (*Asteria rubens*). De nombreux vertébrés en dépendent également comme la Dorade royale (*Sparus aurata*), l'Huître-pie (*Haematopus ostralegus*) ou la macreuse noire (*Melanitta nigra*). Quand les moulières sont dégradées par l'activité de l'Homme, c'est donc toutes ses fonctionnalités et le cortège d'espèces associées qui sont menacés (Hily et Kerninon 2012).

Il en est de même pour les herbiers de zostères qui constituent également des habitats incontournables pour de nombreux invertébrés. Ils se retrouvent menacés par plusieurs usages, avec notamment la destruction mécanique par arrachage, la pollution physico-chimique, l'eutrophisation, la concurrence pour la lumière, etc. et parfois avec un effet cumulatif favorisant l'apparition de nécroses sur les feuilles. Or de nombreux invertébrés marins ont besoin des herbiers pour accomplir leur cycle biologique comme par exemple certains mollusques gastéropodes dont le Cyclope néritoïde et le Nassarius reticulatus, la Crevette d'herbier (*Hippolyte inermis*), ou encore des céphalopodes comme la Seiche commune qui vient y pondre ses œufs.

Le phénomène d'abrasion sur des substrats sablo-vaseux nus, notamment provoqué par l'utilisation d'arts traînants par les pêcheurs ou le mouillage des navires, induit également une destruction des habitats occupés par les invertébrés. Les particules les plus fines sont alors remises en suspension, ce qui modifie et/ou détruit l'habitat entraînant une modification de la composition des communautés benthiques (Amar, 2010 ; Blanchard, 2012).

Par ailleurs, la dégradation des milieux peut également engendrer des discontinuités au sein même des habitats. Cette fragmentation se caractérise par la destruction de portions d'habitat. Ils se retrouvent morcelés et fragilisés, ce qui les rends moins résistants et résilients aux autres pressions. A termes, ils peuvent même totalement disparaître de certaines zones. L'étude des conséquences de la fragmentation sur la diversité et le fonctionnement des communautés, sur la viabilité des populations et sur leur capacité de réponse évolutive, a produit des résultats d'une grande variété en milieu terrestre (Thompson et Ronce, 2010). Le plus souvent les effets sont négatifs (Brooks et al 1999 ; Riba et al. 2009), mais parfois des effets positifs sont observés (Bacles et al. 2006).

➤ **Modifications des conditions de vie**

En plus de la destruction et/ou la modification des habitats, les invertébrés marins peuvent être soumis à des modifications de leurs conditions de vie. Un premier phénomène peut être cité : l'hypoxie, qui fait référence à l'épuisement de l'oxygène dissout dans l'eau. Certes, l'hypoxie peut être naturelle, mais sur l'ensemble des espaces littoraux de la planète, où l'Humain est présent, elle est souvent liée à une eutrophisation et par des apports de phosphore et de nitrate d'origine anthropique (Gilbert et al., 2005 ; Lavoie et al., 2015). Ce phénomène, bien souvent saisonnier, peut occasionner stress et mortalité chez certaines espèces. Archambault et al. (2017) expliquent que toutes les espèces marines n'ont pas la même tolérance à l'hypoxie. Tandis que les petits organismes sont plus tolérants, les animaux benthiques sessiles ou à faible déplacement, n'ont pas la capacité de trouver un nouvel habitat avec des conditions hypoxiques requises. C'est pourquoi en fonction de leur intensité, fréquence et durée, ces épisodes peuvent être mortels pour ces organismes. Rybarczyk et al. (1996) prennent l'exemple de la Baie de Somme pour parler de la mortalité massive de la faune benthique, et entre autres de la Coque (*Cerastoderma edule*), après des épisodes d'eutrophisation à l'origine d'anoxies, observés entre 1982 et 1990.

Triplet (2020) définit l'acidification des océans comme une « diminution du pH de l'eau de mer due à l'absorption de dioxyde de carbone anthropique. Elle est une menace pour les organismes utilisant de grandes quantités de calcaire pour leur exosquelette », ou leur coquille, comme certaines espèces d'invertébrés. C'est le cas pour de nombreux mollusques, crustacés, etc. (Harley et al., 2006). Sur le Banc d'Arguin, des espèces comme la Coque (*Cerastoderma edule*), l'Oursin des sables (*Echinocardium cordatum*), la Seiche (*Sepia officinalis*) et bien d'autres encore sont concernées par ce problème d'acidification. Depuis la révolution industrielle, les océans ont permis d'absorber près de 30 % de l'excès de CO₂ généré par nos activités (dont la combustion des carburants fossiles - Cury et Misery, 2008). Cela signifie que les océans s'acidifient. Bien que certains animaux aient réussi à s'adapter en un court laps de temps, ce n'est pas le cas pour toutes les espèces (Battle et al. 2000).

D'après Cury et Misery (2008), certaines espèces subissent même des conséquences indirectes de l'acidification. C'est le cas des calmars, qui du fait d'une nage rapide, nécessite un apport important en oxygène. Étant donné que la concentration en CO₂ augmente, le pH sanguin diminue et empêche ces animaux de transporter l'oxygène nécessaire à leur activité.

➤ **Pollution et bioaccumulation**

D'après le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 80 % des pollutions marines ont pour une origine géographique terrestre et sont liées aux activités anthropiques (Amar, 2010). De nombreux polluants se retrouvent ainsi dans l'océan : il peut s'agir de polluants organiques persistants (POP), de métaux, d'hydrocarbures et de pesticides. L'impact de ces polluants dans les eaux marines sont documentés mais de pas encore assez connu. Certaines études donnent cependant déjà des éléments tangibles pour anticiper les nombreuses conséquences. A ces polluants « classiquement » connus, s'ajoutent les contaminants émergents (antibiotiques, hormones...). Toute cette pollution aurait un impact sur l'ensemble des réseaux trophiques, des producteurs primaires jusqu'aux consommateurs supérieurs. De plus, les organismes concernés ont tendance à bioaccumuler ces polluants : « capacité d'un organisme vivant, animal ou végétal, à absorber et à concentrer certaines substances chimiques, parfois toxiques. Ce processus de cumul affecte le réseau trophique, dans lequel la bioaccumulation concentre les substances, difficilement excrétables, de la proie au prédateur » (Triplet, 2020).

Même s'il n'est pas démontré que ces polluants, à faible concentration, peuvent être directement létaux, il est tout de même connu qu'ils affectent le système immunitaire des organismes marins et les expose davantage à des infections, notamment par bactéries et virus (Archambault et al., 2017 ; Bassim et al., 2014). Par ailleurs, les conditions environnementales influencent également la sensibilité des organismes aux polluants. L'accumulation des POP, métaux, hydrocarbures et pesticides dans les organismes est amplifiée par l'hypoxie d'un milieu (quand il y a épuisement de l'oxygène dans les écosystèmes aquatiques). En effet, dans ce cas-là, les espèces doivent filtrer davantage d'eau et donc accumulent plus de polluants. Miron (1994) l'a constaté pour le mercure chez des vers polychètes.

➤ **Domages physiologiques & Changements comportementaux**

Pollution sonore

Tous les animaux marins sont affectés par les sons anthropiques, tels que les bruits des navires, les sonars actifs, les sons synthétiques et les équipements type « pingers », les travaux maritimes, etc. Même les invertébrés marins sont concernés. Selon Jacquet (2021), le bruit des navires aurait un impact sur l'installation et le développement de ces organismes. Il indique que 81 % des études quantitatives ont démontré des effets significatifs de ces bruits sur les invertébrés. Les tendances sont à peu près les mêmes pour les autres groupes taxonomiques. Ces études révèlent alors que la pollution sonore « compromet la

capacité auditive (pour 90,6% des espèces d'invertébrés), induit des changements physiologiques (91,2%) et provoque des actions évasives et déplace les animaux marins (83,9%) ». Par ailleurs, la pollution sonore peut avoir des effets sur l'activité locomotrice des mollusques bivalves, des changements de paramètres biochimiques sanguins, ainsi que des variations dans l'expression des gènes métaboliques (Charifi et al., 2017 et 2018 ; Peng et al., 2016 ; Solan et al., 2016 ; Vazzana et al., 2016). De plus, plusieurs études portant sur les invertébrés, tels que la Seiche (*Sepia officinalis*) ou encore le Poulpe commun (*Octopus vulgaris*), ont démontré qu'après une exposition à des sons artificiels avec des fréquences particulières, les dommages de l'organe de réception sonore pouvait être permanents (André et al., 2011 ; Solé et al., 2013, 2017).

l'ichtyofaune

L'ichtyofaune désigne l'ensemble des poissons.

→ Usages concernés :

Sans surprise, certaines menaces sont communes aux invertébrés terrestres, aux mammifères marins, ou encore à la flore marine.

Les prélèvements liés aux activités de pêche apparaissent comme étant une des principales menaces pouvant porter préjudice aux poissons. Les conséquences sur les populations sont plus ou moins conséquentes en fonction des espèces et de leurs stades de vie. De plus, certaines techniques de pêche pratiquées dans la Réserve peuvent avoir des interactions négatives avec des espèces non ciblées, peuvent provoquer des destructions d'habitats, des pollutions sonores et de la concurrence pour la ressource.

La fréquentation humaine, essentiellement à travers les activités nautiques, apparaît également comme un des usages pouvant porter préjudice aux poissons. La pollution sonore générée par la navigation des navires à moteur, le débarquement des passagers sur la plage, l'ancrage, voire la diffusion des contaminants dans l'eau peuvent avoir des effets et impacts.

L'activité ostréicole, avec la présence de structures sur la zone intertidale et subtidale, modifie la courantologie et la granulométrie localement, ce qui peut influencer le cortège d'espèces présent. Par ailleurs, les structures constituent également des supports sur lesquels la vie marine cherche à se fixer et attirent de nombreux poissons.

Les contaminations chimiques, avec l'écoulement de polluants dans le Bassin d'Arcachon, par ruissellement ou via les cours d'eau alimentant la zone, sont à prendre en compte. Il faut ajouter la pollution issue des activités en mer (hydrocarbures, peintures antifouling, etc.). A ces contaminants dissouts dans l'eau s'ajoute la pollution par les macrodéchets plastique qui est devenu un problème international. Aucune zone géographique n'y échappe et ses conséquences, même si elles ne sont pas toutes connues, sont de plus en plus documentées.

La pollution sonore, notamment générées par les usages cités précédemment, affectent également grand nombre d'espèces marines, et dont les origines sont variées : navigation, sonars, travaux, survols...

Enfin, l'introduction d'espèces invasives est la troisième cause d'effondrement de la biodiversité marine. Ce fléau peut également impacter l'ichtyofaune présente dans la Réserve.

→ Menaces et impacts :

➤ Exploitation de la ressource

Chaque année, plus de 90 millions de tonnes de poissons sont prélevés dans les mers et les océans de la planète (FAO, 2022). Pour rappel, Dulvy et al. (2003) expliquent que la première cause d'extinction, pour 55 % des espèces marines, est l'exploitation par la pêche. La dégradation des habitats arrive en deuxième position, suivi des espèces invasives, du changement climatique, des pollutions et des maladies. D'après Amara (2011), la majorité (plus des trois quarts) des stocks de poissons pêchés étaient en réalité pleinement exploités voire même surexploités.

Aux poissons ciblés par les pêcheurs, il faut ajouter les prises dites « accessoires ». En effet, Amara (2011) explique que sur les 25 000 espèces de poissons connues, très peu sont consommées. Autrement dit, les espèces non ciblées lors des opérations de pêche et qui seraient ramenées à bord des navires sont dans la plupart des cas rejetées à la mer, morts ou en train de perdre la vie. On parle alors de « rejet à la mer ». En

effet, il est nécessaire de préciser que les engins de pêche ne sont pas tous sélectifs d'où le problème des « prises accessoires ». D'après Morizur (1997), ces poissons sont rejetés pour plusieurs raisons : certains ne sont pas consommables/vendables, n'ont pas atteint leurs tailles minimales de capture, ou sont protégés (protection régionale/nationale ou quotas atteints). Rien qu'en mer du Nord, une estimation à un demi-million de tonnes de poissons rejetés a été avancée (Cury et Misery, 2008). À l'échelle mondiale, ces rejets représenteraient entre 9 et 36 millions de tonnes (FAO, 2022).

Par ailleurs, certaines prises accessoires qui ont une valeur commerciale peuvent être gardées à bord des navires pour être vendues. D'après Amara (2011), plus d'une centaine d'espèces de poissons marins potentiellement sujet aux prises accessoires et commercialisées apparaît sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN. Pour l'auteur, les espèces « vulnérables », « en danger » ou « en danger critique d'extinction » au niveau européen, devraient impérativement être remises à l'eau vivantes. Sur le périmètre de la RNN, certaines de ces espèces sont autorisées à la pêche, comme l'Émissole lisse (*Mustelus mustelus*) ou la Raie chardon (*Leucoraja fullonica*), malgré un statut « Vulnérable » en Europe.

Toutefois, les poissons pêchés puis relâchés ne survivent pas tous. Selon Fréchet et al. (2007), la survie de ces animaux dépend du type d'engin de pêche et de la durée d'immersion. L'auteur cite un travail effectué au Canada sur la pêche à la Morue et l'usage de filets maillants. La proportion de poissons morts dans ces filets augmente de 30 % avec un temps d'immersion de 12h et jusqu'à 65 % de mortalité avec un temps d'immersion de 48h. Selon Morizur (1997), qui a étudié les rejets dans la pêche artisanale de Manche occidentale, les rejets seraient négligeables avec les filets à petites mailles, tandis que les filets à grandes mailles et avec un temps d'immersion plus conséquent seraient alors bien plus préjudiciables. Le chalutage quant à lui occasionnerait d'importantes pertes, la diversité de rejet dépendant de la zone de pêche. De plus, selon l'auteur toujours, la pêche au filet touche davantage les adultes alors que le chalutage impacte plus les juvéniles.

Le fonctionnement des écosystèmes dans leur intégralité sont impactés par cette exploitation des ressources (Cury et Misery, 2008). La concurrence trophique est à mettre en avant, car certaines espèces de poissons peuvent voir l'abondance de leurs proies diminuer. Selon Amara (2011) et Pauly et al. (1998), les impacts de la pêche sur l'écologie de l'ichtyofaune sont multiples. Il est ainsi démontré une « diminution de la taille, de l'âge des poissons, de la diversité de classes d'âges et de l'âge de la maturité sexuelle ». La composition des peuplements et leur dynamique s'en retrouvent donc affectée.

➤ Introduction d'espèces exotiques envahissantes

L'introduction d'espèces exotiques à caractère invasives est également à prendre en compte dans les atteintes aux espèces dites autochtones. Amara (2011) donne l'exemple d'une méduse originaire d'Amérique du nord (*Mnemiopsis leidyi*) qui, après avoir été introduite accidentellement en mer Noire et en mer d'Azov dans les années 1980, a provoqué l'effondrement des stocks de certaines espèces de poissons. Celle-ci se nourrissait notamment des œufs de poissons. Toute activité susceptible d'être à l'origine de l'introduction de nouvelles espèces dans la Réserve doit donc faire l'objet d'une attention particulière.

➤ Destruction et/ou modification des habitats

Les habitats côtiers peu profonds, au même titre que les mangroves, les zones humides et les estuaires, ont un rôle essentiel dans les différentes phases du cycle vital de nombreuses espèces marines : zones de nurserie – frayères – voies de migration (Amara, 2011). Ces zones sont primordiales pour le développement des juvéniles et donc pour le renouvellement des populations marines (Le Pape et al., 2003 ; Peterson, 2003 ; Franco et al., 2008 ; Courrat et al., 2009). Parce qu'ils sont utilisés préférentiellement pour l'alimentation et la croissance des juvéniles (Beck et al., 2003), leur dégradation et leur destruction est la deuxième cause de déclin de la biodiversité marine. Selon Miller et al. (1984), les effets peuvent s'observer directement sur la taille des stocks halieutiques. À titre d'exemple, la destruction des habitats dans l'estuaire de la Seine a entraîné la perte de 25 % de la population totale de juvénile de sole (*Solea solea*). Ces destructions seraient dues en majorité aux activités de pêche (chaluts de fonds et dragues à mollusques – Amara, 2011).

Les herbiers de *Zostera marina*, qui constituent un habitat à part entière pour de nombreuses espèces de poissons, sont impactés par différents usages (se référer à la partie concernant la flore marine). Leur état de conservation influence alors directement l'abondance et la diversité des espèces de poissons présentes. L'Hippocampe à nez court (*Hippocampus hippocampus*) et l'Hippocampe à nez long (*Hippocampus guttularis*), symboles du Bassin d'Arcachon, sont des espèces inféodées aux herbiers. Ils constituent également un site de nurserie privilégié pour les juvéniles de Dorade grise (*Spondyliosoma cantharus*), un site de ponte pour le Rouget (*Mullus surmuletus* – Hily, 2006). Ainsi, quand les herbiers sont endommagés, fragmentés ou détruits, tout un panel d'espèces qui en dépendent dans tout ou partie de leur cycle vital, est

impacté. Si des poissons perdent leurs sites naturels de ponte, la dynamique de population peut se retrouver affectée. De plus, si certaines « espèces proies » n'ont plus de sites pour se cacher des prédateurs, ils sont sans cesse exposés.

Les habitats naturels, et notamment côtiers, sont aussi impactés par le changement climatique. Les conséquences sur le milieu marin sont multiples : élévation du niveau de la mer, modification des courants marins, acidification des océans, évolution des aires de répartition des espèces, etc. (Amar, 2010). Ainsi, fait d'autant plus notable sur les écosystèmes côtiers, l'augmentation des températures prédit une augmentation du niveau des mers, ce qui impactera obligatoirement la répartition des habitats marins. De plus, les variations de température, et surtout leur augmentation, peuvent modifier totalement les conditions écologiques requises pour certaines espèces, d'où le déplacement des espèces, pour celles qui le peuvent. En effet, selon Amar (2010), ces variations thermiques sont préjudiciables pour les espèces à très faible tolérance thermique, et qui ne sont pas mobiles. Une zone d'herbier qui seraient impacté par une augmentation des températures, toucherait à son tour le reste des communautés qui le fréquentent : phytoplancton, zooplancton, poissons, etc.

Par ailleurs, la présence de substrat dur comme les tables ostréicoles offrent un support sur lesquelles la vie peut chercher à s'implanter. Ainsi il n'est pas rare de voir des espèces de poissons y pondre leurs œufs ou venir s'y nourrir. La richesse spécifique et/ou la biomasse de poissons peuvent ainsi être supérieures dans les concessions que en dehors.

➤ **Modifications des conditions de vie**

En plus de la destruction et/ou la modification des habitats, l'ichtyofaune peut être soumise à des modifications de leurs conditions de vie. Un premier phénomène peut être cité : l'hypoxie, quand un écosystème ou des organismes vivant manquent d'oxygène par rapport à leurs besoins vitaux. Ce phénomène peut affecter la physiologie et les comportements des animaux, provoquant : croissance réduite – perte de la capacité de reproduction – mortalité – réduction de la biodiversité – perte de production secondaire. Archambault et al. (2017) expliquent que les animaux à faible capacité de déplacement sont plus sensibles à l'hypoxie. Miller et al. (2002) ajoutent que plusieurs espèces de poissons, notamment au stade larvaire, sont moins tolérants à la raréfaction de l'oxygène dissout. Les habitats marins côtiers étant particulièrement touchés par les épisodes d'hypoxie, ce sont des sites clés en matière de renouvellement des populations de poissons qui sont ainsi menacés.

Cette hypoxie peut être liée à un phénomène d'eutrophisation, assez courant dans les eaux marines côtières. Cette fertilisation excessive entraîne l'augmentation de la biomasse végétale qui conduit à la consommation de l'oxygène dissout, ce qui provoque une diminution des espèces de poissons et d'autres populations animales (Triplet, 2020). Selon Amar (2010), les eaux déversées par les grands fleuves contiennent de nombreux polluants et des nutriments qui, en trop grandes quantités, peuvent être à l'origine de phénomènes d'eutrophisation. La Réserve, située à l'embouchure du Bassin d'Arcachon est moins sujette à ce phénomène que les parties situées dans le fond de la lagune. Toutefois le développement d'algues vertes en grande quantité est noté dans certaines conches du Banc d'Arguin.

Comme expliqué dans la partie dédiée aux invertébrés marins, l'acidification des océans impacte directement tous les organismes vivant à squelette ou coquille calcaire (Amar, 2010). Ce phénomène d'acidification s'amplifie au fur et à mesure que les océans continuent d'absorber toujours plus de CO₂. Tout un panel d'habitats et de sources trophiques étant ainsi touchés par ce phénomène, ce sont beaucoup d'espèces de poissons qui sont à leur tour menacées.

➤ **Pollution et bioaccumulation**

Amara (2011) explique que selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 80 % des pollutions marines sont d'origine terrestres et anthropiques. Ces pollutions affectent tous les niveaux trophiques, depuis les producteurs primaires jusqu'aux consommateurs supérieurs, impactant ainsi le fonctionnement des écosystèmes dans leur globalité. Le cuivre, le cadmium, le plomb, le mercure, le zinc et leurs formes organiques sont des substances chimiques dont la toxicité pour l'environnement est désormais reconnue (Knoery, 2012). D'autres contaminants existent et sont à prendre en compte comme les polluants organiques persistants (POP), les hormones ainsi que les molécules pharmaceutiques.

Une étude réalisée dans le Golfe du Lion en Méditerranée, entre 2004 et 2006, et qui avait pour but d'étudier la présence de substances chimiques (PCBs, mercure...) dans la chair du Merlu ainsi que dans celles de ses proies, a permis de mettre en lumière les mécanismes de bioaccumulation dans le réseau trophique (Ifremer, 2009 ; 2012). Quand des espèces telles que les poissons sont contaminés par ces polluants, il est donc en général vérifié que l'ensemble du réseau trophique l'est aussi. Toutefois, les effets de ces polluants sur les

organismes et l'ensemble des populations sont complexes et se cumulent voire se combinent avec les autres pressions. Il est donc assez difficile dans ce contexte-là de caractériser les effets biologiques des polluants sur cette biodiversité.

Pollution chimique

La pollution chimique peut avoir des effets pathologiques et/ou létaux sur l'ensemble des organismes et aller jusqu'à modifier la biomasse ainsi que la structure des communautés (Guidetti et al., 2002). En effet, chez les poissons, ces polluants peuvent aussi bien toucher le génome, que le métabolisme, le système hormonal ou encore le système immunitaire (Arukwe, 2001 ; Van der Oost et al., 2003). Selon Guidetti et al. (2003), il est certain que la pollution chimique peut affecter les modèles de distribution spatio-temporelle des populations. Toutefois, les réponses observées chez l'ichtyofaune soumise à ces polluants ne suffisent pas à expliquer seule la baisse des populations halieutiques (Cury et Miserey, 2008).

Pollution plastique

Selon Amar (2010), la pollution par les macro-déchets est un problème qui se rencontre dans tous les océans, et qui affecte le milieu marin dans son ensemble. De nombreuses espèces marines tels que tortues, oiseaux, phoques, baleines mais aussi les poissons, présentent des lésions ou meurent du fait de la présence de ces déchets plastiques. Chaque année, ce sont 8 à 15 millions de tonnes de plastiques issues des continents qui se déversent dans les océans (Galgani et al., 2020). A cela, il faut ajouter les déchets issues des activités en mer, dont ceux liés à la pêche et à l'aquaculture. Ce sont ainsi 10 % des 260 millions de tonnes de matières plastiques produites qui se retrouvent, se fragmentent et se décomposent dans les océans chaque année (Amar, 2010). Rien qu'en mer du Nord, l'Ifremer a estimés à 150 millions de débris plastiques entre la surface de l'eau et 200 m de profondeur.

Plus les particules deviennent petites et plus elles retiennent les polluants présents dans l'eau (Jacob, 2019). En plus des risques de suffocations, mutilations, blocage de l'intestin, malnutrition et sous-nutrition (du fait d'une fausse satiété) chez les animaux par les plastiques d'une certaine taille, Franzellitti et al. (2019) expliquent que ces macro-déchets peuvent être néfastes de l'échelle de la cellule à celle de l'organisme: stress oxydatif, modifications du comportement, altérations du métabolisme, et même du microbiome intestinal.

Pollution hormonale

Selon Roche (2011), il s'observe chez les poissons des dérèglements hormonaux, des mutations sexuelles ainsi que des comportements inhabituels. Les composés chimiques appelés perturbateurs endocriniens qui se retrouvent jusque dans l'eau des mers et des océans sont directement visés. Ces composés chimiques proviennent des hormones de synthèse (contraceptifs), de la pétrochimie (filtres solaires, parabènes, biocides tel que le tributylétain...), de certains antifouling. A terme, ce sont les relations trophiques qui sont impactées et donc l'ensemble des chaînes alimentaires. Amar (2010) cite l'exemple de la Seine où les perturbateurs endocriniens agissent sur plusieurs espèces de poissons provoquant : une féminisation des individus – un déséquilibre du sex-ratio en défaveur des mâles – et à terme pouvant réduire ou faire disparaître des populations entières.

➤ **Pollution sonore**

Changements comportementaux

Les bruits issus d'activités humaines, comme les travaux ou le trafic maritime, modifient l'ensemble du paysage acoustique sous-marin et sont impactants pour l'ichtyofaune. Ils peuvent modifier leurs comportements et compromettent certains mécanismes physiologiques (Charifi, 2018). Plusieurs auteurs ont démontré le dérangement de l'ichtyofaune par les bruits générés par les navires à moteurs (Zieman, 1976 ; Vermaat and de Bruyben 1993 ; Asplund and Cook, 1997 ; Bell et al., 2001.) Les embarcations sans moteur, de type kayak, génèrent également des sons qui impactent les poissons dans leur comportement (York 1994). La plupart du temps, les individus cherchent à éviter la proximité avec les navires et embarcations. Une étude sur le Hareng de l'Atlantique de Norvège (*Clupea harengus*) à l'aide de relevés acoustiques a permis de constater des réactions et des modes de déplacements inhabituels à l'approche d'un navire (Vab et al., 2002).

Par ailleurs, il est important de rappeler que le son est essentiel pour les poissons Charifi (2018). Ils les écoutent et en produisent même. Pour cela, ils utilisent entre autres leur vessie natatoire, notamment pour attirer les partenaires, informer de leur présence et pour prévenir de l'arrivée ou de la présence d'un prédateur (Brawn, 1961 ; Codarin et al., 2009 ; Colson et al., 1998). Le masquage acoustique de ces sons par les activités humaines pose donc un réel problème vital pour ces animaux puisqu'il les empêche de capter les informations sonores de leur environnement. Certains auteurs, comme Mueller (1980), mettent en

avant le fait que le comportement de nidification chez le *Lepomis megalotis* est perturbé par l'activité nautique.

Dommmages physiologiques

Peu d'études se sont intéressées aux éventuelles réponses physiologiques des poissons aux sons d'origine anthropiques. La difficulté d'instrumentaliser les poissons explique cette lacune. Toutefois, Graham et Cooke (2008) ont réussi à étudier l'impact de la navigation de plaisance sur l'activité cardiaque d'un poisson d'eau douce : la Perche d'Amérique (*Micropterus salmoides*). Ils ont ainsi constaté que le bruit des navires à moteur provoque une augmentation de la concentration de l'hormone du stress (Wysocki et al., 2006). La réaction aux facteurs de stress est également à mettre en lien avec la fréquence d'exposition aux sons, ainsi que la proximité de ces derniers. Suite à l'exposition à un stress de type sonore, les chercheurs ont ainsi constaté une réponse cardiovasculaire chez les poissons. Cette modification du rythme cardiaque en fait un bon indicateur pour mesurer l'impact sur l'ensemble du métabolisme. Le niveau de perturbation et le temps de récupération seraient aussi plus élevés pour les embarcations à moteur que pour celles à pagaie (Cooke et al, 2003). De plus, d'après Priede (1985), si le débit cardiaque devait rester élevé sur de longues périodes, les autres processus métaboliques seraient impactés à leur tour.

Enfin, Scholik et Yan (2002) et Popper et al. (2004) ont constaté qu'un bruit élevé peut même altérer temporairement les seuils d'audition chez les poissons, et aller jusqu'à entraîner une perte d'audition temporaire.

12. Résumé

La Réserve Naturelle Nationale du Banc d'Arguin, située à l'embouchure du Bassin d'Arcachon, en Gironde, est un site exceptionnel pour de nombreux groupes taxonomiques, regroupant une diversité d'habitats terrestres et marins et proposant à la faune et la flore une multitude de niches écologiques nécessaires aux différentes phases de leur cycle biologique. La réserve est notamment connue pour ses colonies d'oiseaux. Les enjeux de conservation sont de taille pour la SEPANSO Aquitaine, conservateur du site, puisque les activités autorisées sont nombreuses. Si le gestionnaire se doit d'être vigilant quant à ces enjeux, il est un cadre législatif évoluant également sans cesse et qui rappelle la finalité d'un tel espace protégé. C'est notamment le cas avec le récent décret portant sur les Zones de Protection Forte (ZPF), qui précise que les activités humaines ne doivent pas impacter la biodiversité, et qui s'avère être le fil rouge du travail présenté dans ce rapport. En effet, mon sujet porte sur les interactions entre activités humaines autorisées et le patrimoine naturel de la Réserve. Sur fond de ZPF, mes diverses missions se résument en une synthèse bibliographiques scientifiques approfondies – la mise en place d'indicateurs biométriques – des analyses statistiques de données de gestion – et le recueil d'initiatives pouvant réduire les impacts des pressions anthropiques sur la biodiversité du Banc d'Arguin.

Mots clés : RÉSERVE NATURELLE NATIONALE – BANC D'ARGUIN – RÉGLEMENTATION – ZPF – INTERACTIONS – ACTIVITÉS HUMAINES