



UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER



# DIPLOME UNIVERSITAIRE

Restauration écologique des petits fonds marins côtiers

Université de Montpellier

2024

L'indicateur « oiseaux marins » dans l'évaluation d'une action de restauration écologique marine.



*Mouette tridactyle par Armel Deniau*

AUTEUR Coline HERVOCHE Master 2 Gestion de l'environnement parcours IEGB

TUTEUR Julie DETER (MCA UM et cheffe projets R&D Andromède océanologie. Spé : écologie marine)

DU [SCIENCES.EDU.UMONTPELLIER.FR/FILES/2022/09/DU-RESTAURATION-ECOLOGIQUE-2022-1.PDF](https://sciences.edu.umontpellier.fr/files/2022/09/du-restauration-ecologique-2022-1.pdf)



## **Remerciements**

Je tiens à exprimer mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont soutenue et accompagnée tout au long de ce rapport bibliographique.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement les professeurs et intervenants professionnels qui m'ont dispensé les cours de restauration écologique marine. Leur enseignement a été précieux et a jeté les bases de mes connaissances et de ma compréhension dans ce domaine.

Je tiens à remercier particulièrement Julie Deter, ma tutrice de mémoire de DU, pour son encadrement et ses précieux conseils.

Je suis également reconnaissante envers les chercheurs, post-doctorants et doctorants qui ont généreusement consacré du temps pour répondre à mes questions et réfléchir avec moi. Leurs conseils avisés et leurs discussions enrichissantes ont été essentiels dans l'avancement de mon travail : Clément Aubert, Antoine Chabrolle, Nicolas Courbin, Maelis Kervellec, Valentin Lauret, Maud Queroue, Sebastien Roques.

Un remerciement spécial à Valérie Borell, qui m'a encouragée à suivre ce Diplôme Universitaire (DU).

Je n'oublie pas mes colocataires, dont l'aide a été très importante. Merci d'avoir assuré nos tâches quotidiennes durant toute la période de rédaction, permettant ainsi de me consacrer pleinement à mon travail : Axel, Jules et Solène.

Enfin, je remercie Milan pour sa relecture attentive qui a permis d'améliorer la clarté et la rigueur de ce rapport.

## Résumé

L'Union Européenne instaure, par le règlement pour la *Nature Restoration Law*, l'obligation pour les États membres d'améliorer ou de rétablir le « bon état » des écosystèmes marins sur au moins 30 % de leur surface d'ici 2030, 60 % d'ici 2040 et 90 % d'ici 2050. Le « bon état » écologique marin, en cours de définition par la Directive-Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin », est notamment évalué pour la composante « oiseaux marins ». Ce rapport bibliographique expose les avantages et les limites de l'indicateur « oiseau marin » dans le cadre de l'évaluation de la restauration écologique marine.

L'utilisation des oiseaux marins en tant qu'indicateurs dans l'évaluation des travaux de restauration écologique est à la fois prometteuse et complexe. Les oiseaux marins, occupant une position clé au sommet de la chaîne trophique, reflètent les pressions anthropiques et les changements environnementaux à différentes échelles spatiales. Les avantages de cette approche sont le faible coût financier et les contraintes techniques réduites comparativement aux protocoles nécessitant de la plongée sous-marine. L'indicateur est en cours d'élaboration en France (DCSMM) et est déjà en place dans certaines régions marines telles que la mer du Nord et la Californie.

Cependant, la précision de l'évaluation via les oiseaux marins dépend de l'effort de collecte de données et de la prise en compte de la multitude de facteurs globaux et locaux (biotiques, abiotiques et anthropiques) influant sur les paramètres écologiques et démographiques des oiseaux marins. Les liens, souvent indirects, sont parfois observés avec des années de décalage, ce qui ne facilite pas la mise en évidence d'un effet de la restauration et la mise en œuvre d'une action de gestion rapide (Sherley et al., 2018).

En raison de ces limites, des études avancent que les oiseaux marins peuvent d'avantage servir de sentinelles qualitatives des processus écologiques marins plutôt que d'indicateurs quantitatifs robustes (Piatt et al., 2007).

# Sommaire

Introduction .....	2
<b>1 Les avantages de l'indicateur « oiseaux marins » dans l'évaluation de l'état écologique marin : .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Les oiseaux marins : des sentinelles des écosystèmes marins .....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Un taxon connu des spécialistes et des usagers des espaces maritimes.....	3
1.1.2 Les oiseaux marins : top prédateurs et bio accumulateurs .....	3
1.1.3 Les oiseaux marins : de bons indicateurs pour une meilleure gestion des ressources de pêche .....	4
<b>1.2 Composante « oiseaux marins » dans l'évaluation du "bon état écologique marin" : un protocole standardisé de la DCSMM. ....</b>	<b>5</b>
Conclusion partielle.....	7
<b>2 Les limites de l'indicateur « oiseaux marins ».....</b>	<b>7</b>
2.1 État actuel et perspectives pour de la DCSMM .....	7
2.2 Difficulté de calculer un effet isolé sur les paramètres écologiques et démographiques des oiseaux marins... 9	
2.2.1 Les facteurs abiotiques .....	9
2.2.2 Les facteurs biotiques.....	10
2.2.3 Des facteurs de pression anthropiques impactant la biologie des espèces d'oiseaux marins .....	11
2.2.4 La question de l'échelle spatiale et de temps du suivi des oiseaux marins .....	13
2.3 L'oiseau marin n'est pas systématique dans l'évaluation d'une restauration écologique marine .....	14
2.3.1 Exemple de l'EBQI .....	14
2.3.2 Peu d'exemple à l'échelle mondiale .....	16
<b>3. Perspectives méthodologiques.....</b>	<b>17</b>
3.1 L'étude du réseau trophique pour évaluer le succès de restauration écologique d'un site.....	18
Conclusion générale.....	19
Références.....	21
Annexes : .....	26

## **Table des tableaux :**

<i>Tableau 1 : Espèces cibles pour la Méditerranée d'après DCSMM 2018, Rapport d'évaluation. ....</i>	6
<i>Tableau 2 : Etat et perspective des méthodologies de l'indicateur d'après DCSMM 2018.....</i>	8
<i>Tableau 3 : Réponses des oiseaux marins aux changements environnementaux d'après Cairn 1987.....</i>	10
<i>Tableau 4 : Typologies des pressions selon leurs effets sur les oiseaux marins d'après Authier et al. 2017. ...</i>	11
<i>Tableau 5 : Liste indicative des pressions et impacts affectant les oiseaux marins d'après DCSMM, 2018 .....</i>	12
<i>Tableau 6 : Méthodologie de calcul de l'indicateur « oiseaux marins » pour l'EBQI .....</i>	15

## Introduction

La perte globale des habitats est l'une des causes majeures de l'érosion de la biodiversité (Cardinale et al., 2012 ; Convention sur la diversité biologique, 2010). Les causes de dégradation significatives des habitats marins et des populations d'espèces sont à la fois locales et globales, telle que la pollution, l'urbanisation du littoral, la surexploitation des ressources et les changements climatiques. La restauration écologique émerge comme une réponse stratégique pour enrayer le déclin de la biodiversité et préserver les services écosystémiques (SE) (Rey Benayas et al., 2009).

Cette notion appliquée au domaine marin peut être définie comme « une action sur l'habitat marin, la faune ou la flore permettant d'améliorer l'état ou bien le fonctionnement écologique, dans une zone littorale où la qualité de l'eau est bonne et où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées ». (Plan d'action pour le milieu marin : PAMM). On parlera de « réhabilitation » lorsque la restauration concerne uniquement certaines fonctions, un service spécifique, l'habitat de certaines espèces ou le renforcement des populations. Le terme « restauration passive » sera utilisé pour décrire la situation où l'on met fin aux pressions qui affectent la biodiversité marine et laisse l'habitat se régénérer naturellement, sans intervention de génie écologique.

Pour répondre à ces défis, l'Union Européenne instaure par le règlement pour la Restauration de la Nature (ou « Nature Restoration Law ») l'obligation pour les États membres d'améliorer ou de rétablir le « bon état » des écosystèmes marins ("habitats types") pour, au moins 30% de leur surface d'ici 2030, 60% d'ici 2040 et 90% d'ici 2050.

Le « bon état » écologique marin en cours de définition par la directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 appelée Directive-Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) via onze descripteurs qualitatifs communs à tous les États membres de l'Union européenne.

Le bon état du descripteur D1-Biodiversité se traduit par « La diversité biologique est conservée. La qualité des habitats et leur nombre ainsi que la distribution et l'abondance des espèces sont adaptés aux conditions physiographiques, géographiques et climatiques existantes ». Pour D1, l'évaluation du bon état écologique est notamment réalisée pour la composante « oiseaux marins ».

L'utilisation d'indicateurs écologiques est très importante pour évaluer l'efficacité des actions de restauration écologique. Parmi ces indicateurs, l'évaluation de la biodiversité marine à travers les populations d'oiseaux marins se présente comme un outil prometteur. En effet, les oiseaux marins sont à la fois des indicateurs sensibles aux conditions environnementales marines et des indicateurs clés des écosystèmes marins reliant les habitats côtiers et pélagiques. Cependant, malgré ses avantages,

l'utilisation de l'indicateur "oiseau marin" dans l'évaluation de la restauration écologique marine comporte également des limites.

Dans ce mémoire, nous explorerons donc la pertinence de l'indicateur "oiseau marin" dans le cadre de l'évaluation de la restauration écologique marine. A travers ce rapport bibliographique, nous présenterons les avantages, puis les limites de l'utilisation des oiseaux marins pour évaluer une restauration écologique.

## **1 Les avantages de l'indicateur « oiseaux marins » dans l'évaluation de l'état écologique marin :**

### **1.1 Les oiseaux marins : des sentinelles des écosystèmes marins**

#### **1.1.1 Un taxon connu des spécialistes et des usagers des espaces maritimes.**

Dans un premier temps, les oiseaux marins sont l'un des groupes d'oiseaux les plus menacés (Croxall et al., 2012 ; BirdLife International, 2018). Les principales menaces identifiées pour la survie adulte des oiseaux marins en mer proviennent des prises accidentelles par les pêcheries (bycatch), des changements climatiques (conditions météorologiques extrêmes), des marées noires, du développement des énergies offshore (parc éolien) (Croxall et al. 2012 ; Furness et al. 2013 ; Dias et al. 2019 ; Clairbaux et al. 2021) et dans une moindre mesure, la diminution de la ressource alimentaire, qui réduit la condition corporelle des individus (Dias et al. 2019 ; Le Bot et al. 2019). Ainsi, les populations d'oiseaux marins sont couramment surveillées pour leur conservation et leur gestion (Drury, 1973-74; Harris et Murray, 1981; Gaston et al., 1988). Ils sont considérés comme de bons indicateurs de la santé des écosystèmes marins (Piatt et Sydeman, 2007 ; Parsons et al., 2008).

Les oiseaux marins sont des espèces particulièrement remarquables et bien étudiées, facilement observables depuis la terre ou depuis un bateau, contrairement à la plupart des autres organismes marins qui évoluent sous la surface de l'eau. Leur habitat de reproduction terrestre permet une surveillance efficace avec des ressources financières limitées, car les colonies sont accessibles pour des études et des suivis. Leur répartition mondiale inclut même les zones les plus reculées où la surveillance des écosystèmes marins est souvent difficile ou absente (Weimerskirch, 2020).

#### **1.1.2 Les oiseaux marins : top prédateurs et bio accumulateurs**

En tant que prédateurs en tête de chaîne alimentaire, les oiseaux marins sont susceptibles de refléter les changements écologiques à travers les niveaux trophiques. De nombreuses études ont démontré que certains paramètres des populations d'oiseaux marins sont influencés par les variations des



dynamiques océaniques, comme en témoignent les recherches de Piatt et al. (2007), Parsons et al. (2008), et Harding et al. (2006).

Par exemple, les choix alimentaires des oiseaux marins reflètent la disponibilité des proies dans leurs zones de recherche. En effet, la disponibilité en proie est sensible aux changements environnementaux, ce qui peut altérer l'abondance relative des proies et peut se remarquer dans les choix alimentaires des oiseaux (Croxall et al., 1988 ; Montevecchi, 1993 ; Barrett et Krasnov, 1996 ; Nourris et al., 2007). La phénologie de la reproduction, les taux de croissance des poussins et le succès de reproduction ont été également identifiés comme des indicateurs de la disponibilité des proies en mer. De manière significative, les dynamiques des populations d'oiseaux marins peuvent être corrélées à des paramètres environnementaux et aux changements climatiques, comme par exemple leur réaction aux événements ENSO (Schreiber et Schreiber, 1984). D'autres paramètres de recherche tels que l'effort de recherche, le succès de recherche et la localisation spatiale de recherche ont aussi été démontrés comme variant en fonction des conditions environnementales (Jakubas et al., 2020).

Par ailleurs, les oiseaux sont utilisés comme indicateurs pour surveiller la présence et les effets écologiques de polluants tels que le pétrole et le mercure dans l'environnement marin (Furness et Camphuysen, 1997).

Les connexions entre la dynamique des écosystèmes marins et ces différentes variables des oiseaux marins ont été déterminées sur une large gamme d'échelles spatiales (locales à mondiales) et temporelles (quotidiennes à décennales) (Ainley et al. 1996), démontrant ainsi que les oiseaux marins peuvent potentiellement servir d'indicateurs écologiques immédiats ou à long terme dans des zones côtières bien définies ou à travers des bassins océaniques entiers (Veit et al. 1997). C'est pourquoi certaines espèces ont été utilisées comme indicateur de gestion des pêches en mer du Nord et en Californie.

### **1.1.3 Les oiseaux marins : de bons indicateurs pour une meilleure gestion des ressources de pêche**

L'impact négatif des pêcheries industrielles de lançon sur un écosystème marin en mer du Nord, a été démontré en utilisant les mouettes tridactyles (*Rissa tridactyla*) comme échantillonneurs de lançon (*Ammodytes marinus*), et le succès de reproduction des mouettes tridactyles comme indice des stocks de poissons et de l'état de l'écosystème (Wanless et al. 2007). Ce travail a permis d'identifier un déclin de la disponibilité, de la taille et de la valeur calorifique des lançons, entraînant un quasi-effondrement de l'écosystème marin régional basé sur le lançon. À l'échelle des oiseaux marins, ce déclin a entraîné une nette réduction du succès de reproduction des mouettes tridactyles (Wanless et al. 2007). Les

résultats de cet "indice des mouettes tridactyles" ont été utilisés par les autorités britanniques pour imposer des quotas de pêche dans l'est de la mer du Nord. D'autres études ont ensuite comparé les zones fermées et ouvertes à la pêche au lançon, confirmant que le succès de reproduction des mouettes tridactyles (comme indice de la santé de l'écosystème) était significativement plus élevé dans les zones fermées à la pêche, suggérant une restauration locale de l'écosystème (Frederiksen et al., 2008).

La diminution de la proportion des sardines du Pacifique dans le golfe de Californie, dans le régime alimentaire de trois espèces d'oiseaux marins (Pélicans bruns de Californie, Mouettes de Heermann et Sternes élégantes) combinée à l'état de l'anomalie de la phase chaude du Pacifique (El Niño), donne une prévision fiable de la diminution des prises de poissons (CPUEs) et signale la nécessité de réduire les efforts de pêche lors de la saison suivante (Valarde et al, 2013).

Ainsi, ces deux exemples semblent prometteurs en tant qu'indicateurs de changements environnementaux liés à l'arrêt des pressions, comme cela pourrait être envisagé lors d'une restauration passive.

## **1.2 Composante « oiseaux marins » dans l'évaluation du "bon état écologique marin" : un protocole standardisé de la DCSMM.**

Les oiseaux marins sont une composante de l'évaluation du « bon état » écologique de la DCSMM. Cette composante englobe à la fois des espèces principalement marines et d'autres espèces plus côtières, notamment celles associées à l'estran comme les limicoles côtiers. Elle est subdivisée en cinq groupes d'espèces : oiseaux herbivores, échassiers, oiseaux marins de surface, oiseaux plongeurs pélagiques et oiseaux plongeurs benthiques (Annexe 1). Les cinq groupes d'espèces ont été répartis selon leur mode d'alimentation, indépendamment du gradient côtier-pélagique ou de la taxonomie.

La DCSMM propose également des critères scientifiques et pratiques pour choisir les espèces indicatrices des habitats, en tenant compte de leur pertinence écologique (représentativité de l'écosystème, abondance et répartition), de leur sensibilité aux pressions anthropiques et de leur faisabilité de surveillance (faisabilité technique, coût etc).

Il convient de noter que l'ensemble d'espèces à évaluer peut-être spécifique à la région ou à la sous-région, bien que certaines espèces puissent être présentes dans plusieurs d'entre elles. Par exemple, le tableau suivant (tableau 1) présente les enjeux par espèce et par secteurs pour la Méditerranée.

**TABLEAU 1 : ESPECES CIBLES POUR LA MEDITERRANEE D'APRES DCSMM 2018, RAPPORT D'EVALUATION.**

Secteur	Enjeux particulier		
	Colonies d'oiseaux marins	Oiseaux en mer	Oiseaux d'estran
27- Corse est	Faible : Goéland leucophée		
	Fort : Goéland d'Audouin Fort ? : Puffin scopoli Faible : Cormoran huppé Faible : Goéland leucophée	Fort : Secteurs d'alimentation des puffins de Scopoli	
28- Corse du nord- ouest			
	Majeur : Cormoran huppé Majeur : Océanite tempête Majeur : Puffin scopoli Moyen : Goéland leucophée Faible : Sterne pierregarin	Majeur : Secteurs d'alimentation des puffins de Scopoli	
29- Corse sud - Bouches de Bonifacio			
	Majeur : Balbuzard Majeur : Goéland d'Audouin Fort : Cormoran huppé Faible : Goéland leucophée	Fort : Secteurs d'alimentation des puffins de Scopoli	
30- Corse occidentale			
	Majeur : Goéland leucophée Majeur : Goéland railleur Majeur : Sterne hansel Majeur : Sterne naine Fort : Mouette mélanocéphale Fort : Sterne caugek Fort : Sterne pierregarin	Majeur : Densité toutes espèces Majeur : Secteurs d'alimentation des puffins Yelkouan et de Scopoli	Majeur : Gravelot à collier interrompu Majeur : Avocette élégante Majeur : Echasse blanche
32- Plateau du Golfe du Lion			
33- Talus du Golfe du Lion (centre et nord-est)		Fort : Secteurs d'alimentation des puffins de Scopoli	
34- Talus du Golfe du Lion (centre et nord-est)		Fort : Secteurs d'alimentation des puffins de Scopoli	
	Majeur : Goéland leucophée Majeur : Goéland railleur Majeur : Mouette mélanocéphale Majeur : Puffin scopoli Majeur : puffin Yelkouan Fort : Sterne hansel Fort : Sterne naine Moyen : Grand cormoran Moyen : Sterne pierregarin Fort ? : Océanite tempête Faible : Cormoran huppé	Majeur : Secteurs d'alimentation des puffins Yelkouan et de Scopoli	
35- Zone provence			
50- Plaine abyssale		Majeur : Mouette pygmée - concentration hivernale	

Pour définir le bon état écologique des oiseaux marins, la DCSMM propose 5 descripteurs :

- Le taux de mortalité dû aux captures accidentelles (D1C1).
- L'abondance des populations (D1C2).
- Les caractéristiques démographiques (D1C3).
- L'aire de répartition (D1C4).
- L'habitat fonctionnel (D1C5).

Ces critères **primaires (obligatoires)** ou secondaires (optionnels), sont utilisés pour évaluer la santé des populations d'oiseaux marins. Parmi eux, la mortalité par capture accidentelle et l'abondance des populations sont des critères primaires. Ainsi, l'indicateur « oiseau marin » de la DCSMM propose des

protocoles standardisés permettant de mesurer les cinq critères, reflétant ainsi les variations environnementales et les pressions anthropiques sur les populations d'oiseaux marins. La DCSMM rassemble un grand nombre d'acteur et est un outil qui renforce les connaissances des oiseaux marins à différentes échelles. Ces données constituent à l'heure actuelle une base de connaissance importante concernant les interactions entre les oiseaux marins et l'habitat marin.

L'indicateur créé par la DCSMM semble faciliter l'accès à des données initiales concernant les oiseaux marins, propose des protocoles standardisés pour l'évaluation initiale de l'état écologique et paraît donc être un indicateur intéressant sur lequel s'appuyer pour l'évaluation d'une restauration écologique.

## **Conclusion partielle**

Les oiseaux marins sont de bons indicateurs du milieu marin, reflétant les pressions anthropiques et les changements climatiques à travers leurs paramètres écologiques. Ce sont des espèces étudiées depuis longtemps, relativement simples à recenser et occupant le sommet de la chaîne alimentaire dans leur écosystème. Ce choix présente un intérêt économique et technique évident en tant qu'indicateur écologique. De plus, les oiseaux marins sont familiers aux usagers de la mer, ce qui facilite la sensibilisation et la communication autour de ces espèces, offrant ainsi un intérêt social supplémentaire. Actuellement, il existe un indicateur avec des protocoles standardisés, qui a déjà été utilisé lors de deux campagnes de recensement menées par les gestionnaires et les chercheurs du réseau "oiseaux marins". Ces recensements semblent fournir des données intéressantes pour une évaluation initiale de l'état de l'environnement marin concernant les oiseaux marins à l'échelle sous-régionale et pour certaines espèces. Cependant, l'indicateur « oiseau marin » présente plusieurs limites qu'il convient de prendre en compte.

## **2 Les limites de l'indicateur « oiseaux marins »**

### **2.1 État actuel et perspectives pour de la DCSMM**

Malgré les avancées techniques et scientifiques, la méthodologie développée pour la DCSMM est en 2024, incomplète. Le critère secondaire « état et étendu des habitats » (D1C5) et « mortalité accidentelle » (D1C1) n'ont pas été évalué lors du deuxième cycle 2018-2024 en raison notamment du manque de données disponibles à l'échelle des eaux françaises. Un programme dédié est prévu pour le prochain cycle d'évaluation (tableau 2). Les trois autres critères ont été partiellement évalués et seulement pour certains indicateurs, groupes d'espèces ou sous-régions marines, révélant des situations défavorables dans certains cas, avec un bon état écologique non atteint. Dans l'ensemble, ces résultats partiels ne permettent pas d'évaluer complètement l'atteinte du bon état écologique pour la composante

« oiseaux marins » et ne fournissent donc pas un état initial de référence sur lequel s'appuyer dans le cadre d'une restauration écologique.

*TABLEAU 2 : ETAT ET PERSPECTIVE DES METHODOLOGIES DE L'INDICATEUR D'APRES DCSMM 2018*

CRITERES	INDICATEURS	STATUT	ÉTAT DE DEVELOPPEMENT
D1C1 - Mortalité par capture accidentelle	–		Non développé
D1C2 - Abondance des populations	Abondance des nicheurs – « B1 »	International OSPAR commun	Développé par OSPAR
	Abondance des limicoles – « r »	National	Développé par RNF
	Abondance des oiseaux en mer – « OM2 » (données SAMM) et « OM_Abond » (données PELGAS)	Nationaux	En cours de développement par UMS Pelagis
D1C3 - Caractéristiques démographiques	Succès reproducteur – « B3 »	International OSPAR commun	Développé par OSPAR
D1C4 - Distribution spatiale	Distribution des oiseaux en mer « OM4 » (données SAMM) et « OM_Distri » (données PELGAS)	Nationaux	En cours de développement par UMS Pelagis
D1C5 - Etendue et état des habitats propices aux espèces	–		Non développé

A titre d'exemple, l'évaluation de l'état écologique des oiseaux marins en 2018 dans la région méditerranéenne s'est appuyée sur un échantillon de 15 espèces, représentant seulement 20 % des espèces de la région marine. De plus, l'évaluation BEE de ces espèces est incomplète en raison du manque de données pour l'ensemble des critères, excepté D1C2. En effet, dans la sous-région marine (SRM) Méditerranée occidentale, les seules données disponibles sur la production juvénile concernent le cormoran huppé sur les îles de Marseille avec des effectifs de nicheurs réduits (de 5 à une vingtaine de couples), et le goéland d'Audouin, ce qui n'est pas représentatif de la situation à l'échelle de la SRM. Par conséquent, l'indicateur "oiseau marin" de la DCSMM n'est pas encore pleinement opérationnel et nécessite une évolution au cours de son troisième cycle pour affiner la méthodologie et collecter des données.

## **2.2 Difficulté de calculer un effet isolé sur les paramètres écologiques et démographiques des oiseaux marins**

### **2.2.1 Les facteurs abiotiques**

Les oiseaux marins en tant qu'indicateurs ne sont pas toujours évident à utiliser. En effet, il est nécessaire d'identifier la part de responsabilité des changements environnementaux dans leur réponse écologique et démographique aux différentes échelles spatiales et temporelles impliquées afin de d'évaluer le réel lien entre ces changements environnementaux et leur réponse. Cela implique d'isoler les effets des variables influentes sur les variables réponses, ce qui peut se révéler difficile dans un système emboîté spatialement et temporellement avec de nombreuses covariables.

En 1987, Cairns a établi un cadre théorique reliant les oiseaux marins à la disponibilité de leur proie. Cet article suggère que les paramètres écologiques et comportementaux des oiseaux marins varient en fonction des changements d'approvisionnement alimentaire et qu'ils réagissent de manière différente pour chaque paramètre écologique étudié et pour chaque espèce d'oiseau. Cela s'explique par leurs différents comportements de recherche en nourriture et leur capacité à ajuster leur budget - temps. Selon l'article, les réponses à la disponibilité en proies seraient plus apparentes chez les oiseaux monophages. Ainsi, dans un contexte de restauration écologique, l'évaluation de la recolonisation par des espèces de poissons, pourrait s'évaluer via les oiseaux marins si les espèces restaurées sont les proies des oiseaux étudiés. Par ailleurs, les résultats seraient plus nets si l'espèce étudiée était spécialisée sur un type de proies. Cependant, ces données sont plus coûteuses à obtenir que les données d'abondance collectées dans les pêcheries conventionnelles puisque cela implique d'analyser le contenu des régurgitations des adultes à leurs petits.

De plus, il est peu probable de trouver de nombreuses relations linéaires entre les paramètres de la biologie des oiseaux marins et l'approvisionnement alimentaire, comme souligné par Reid et al. (2005). Souvent les oiseaux marins ne perçoivent pas les changements subtils ou continus, mais ils peuvent fonctionner comme des indicateurs binaires et signaler les changements de bons à mauvais, et vice versa (Montevecchi, 2007). La précision des données sur l'approvisionnement alimentaire des oiseaux marins dépend en partie de la capacité de l'observateur à évaluer ou à contrôler d'autres facteurs influant. Le tableau suivant (tableau 3) présente ces facteurs qui peuvent être des événements imprévus (comme une tempête durant la période de nourrissage précoce des oisillons ou une marée noire sur le lieu d'hivernage) ou des résultats anticipés par l'étude de la biologie et la dynamique des populations (Cairns, 1987).

*TABEAU 3 : REPONSES DES OISEAUX MARINS AUX CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX D'APRES CAIRN 1987*

Environmental change	Seabird response	Time scale	Spatial scale
Prey availability	Foraging effort	short (hours/days)	small (foraging range)
Prey availability	timing of breeding	medium (days/weeks)	small (foraging range)
Prey availability	Breeding success	medium (weeks/months)	small (foraging range)
Prey availability	adult survival	long (years, decades)	large (entire migratory range)
Extreme weather	foraging effort	short (hours/days)	small (foraging range)
Extreme weather	breeding success	medium (weeks/months)	small (foraging range)
Extreme weather	adult survival	long (years, decades)	large (entire migratory range)
Climatic/oceanographic change	Distribution (range)	years	large
Climatic/oceanographic change	timing of breeding	days/weeks	large
Climatic/oceanographic change	breeding success	weeks/months	large
Climatic/oceanographic change	adult survival	years/decades	large

Ce tableau sert davantage à illustrer plutôt qu'à définir précisément les paramètres écologiques. Chacun des paramètres de ce tableau peuvent être déclinés (nombre de jeune, etc) et évalués individuellement pour affiner la compréhension de l'influence des facteurs environnementaux sur le succès de reproduction. Les réponses des oiseaux marins aux changements environnementaux se réfèrent, d'après ces données, à des échelles temporelles et spatiales spécifiques qui peuvent se chevaucher. Ce qui engendre la possibilité que les oiseaux répondent à plusieurs changements environnementaux en même temps (par exemple, la variabilité des proies et le changement des conditions climatiques sur la survie adulte se fera en plusieurs années et à large échelle).

### **2.2.2 Les facteurs biotiques**

Par ailleurs, les oiseaux réagissent également aux interactions avec d'autres espèces. En effet, en plus des filtres environnementaux, la présence d'une espèce dépend également de sa présence dans le pool régional d'espèces et de ses interactions biotiques avec la communauté présente (Keddy, 1992 ; Weiher et Keddy, 2001 ; Diaz et al., 1998). Le pool régional d'espèces détermine quelles espèces peuvent être présentes localement en fonction des habitats et des assemblages d'espèces dans un contexte régional. C'est-à-dire qu'une espèce, malgré la disponibilité en habitat propice et les filtres environnementaux favorables, peut ne pas être présente dû à son absence plus globale de la région. C'est d'ailleurs ce paramètre, avec les interactions biotiques locales, qui décrit le mieux la probabilité de présence des oiseaux (Martin, 2015).

Les interactions biotiques locales sont notamment caractérisées par les phénomènes de compétition ou de prédation (Howeth et Leibold, 2010 ; Ricklefs, 1987 ; Wisz et al., 2013). Ces interactions négatives

peuvent entraîner jusqu'à l'exclusion d'une espèce de son habitat, tandis que les interactions positives peuvent maintenir une espèce dans un site où les conditions environnementales lui seraient défavorables en l'absence d'espèces mutualistes (facilitation, Bruno et al., 2003). Par exemple, la récente étude de Ravache et al. 2020 illustre un cas spécifique dans lequel les oiseaux marins ont adopté une stratégie de ségrégation trophique (niveau trophique d'alimentation, efforts de recherche, etc.) afin de faciliter l'accès à une espèce aux ressources alimentaires et ainsi permettre la coexistence des deux espèces. Ainsi, les paramètres biotiques sont susceptibles d'avoir un effet sur le comportement alimentaire des espèces étudiées, notamment en période de reproduction.

Enfin, les facteurs de pressions anthropiques sont aussi des paramètres impactant l'écologie de ces espèces (Croxall et al. 2012 ; Furness et al. 2013 ; Dias et al. 2019).

### 2.2.3 Des facteurs de pression anthropiques impactant la biologie des espèces d'oiseaux marins

Les oiseaux marins sont très sensibles à de nombreuses activités humaines. Bien que les impacts de ces différentes pressions anthropiques sur les populations ne soient pas totalement compris, elles peuvent être caractérisées en fonction de leur nature et de l'intensité de leur effet biologique (Authier et al. 2017). Les pressions « primaires » produisent un impact significatif et immédiat sur les populations, entraînant souvent une mortalité, comme dans le cas des captures accidentelles ou de l'ingestion de déchets. Les pressions « secondaires », comme la contamination chimique, engendrent un stress physiologique important susceptible d'altérer la fécondité ou la survie. Enfin, les pressions « tertiaires » provoquent des modifications comportementales chez les oiseaux marins. Ces effets sont synthétisés dans les tableaux 4 et 5 ci-dessous :

TABLEAU 4 : TYPOLOGIES DES PRESSIONS SELON LEURS EFFETS SUR LES OISEAUX MARINS D'APRES AUTHIER ET AL. 2017.

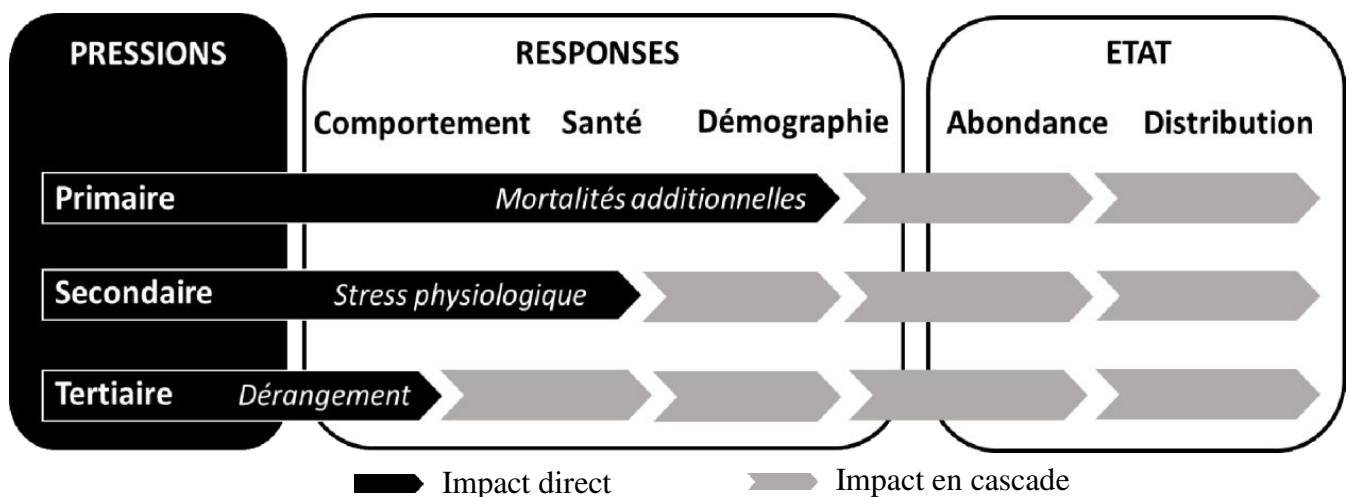




TABLEAU 5 : LISTE INDICATIVE DES PRESSIONS ET IMPACTS AFFECTANT LES OISEAUX MARINS D'APRES DCSMM, 2018

Thème	Pression	Impact attendu	Type de pression
Biologiques	Perturbation des espèces due à la présence humaine	Stress physiologique, changement d'utilisation des habitats	Tertiaire
	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces	Mortalité par capture accidentelle	Primaire
		Mortalité par collision (éoliennes)	Primaire
		Stress physiologique dû à la diminution des ressources	Secondaire
	Mortalité due à la chasse	Primaire	
Physiques	Perturbations physiques	Changement d'utilisation des habitats	Tertiaire
	Perte physique		
	Modification des conditions hydrologiques		
Substances, déchets et énergie	Apports d'autres substances	Stress physiologique dû aux contaminants chimiques	Secondaire
	Apport de déchets	Mortalité par ingestion de déchets	primaire

Ainsi, dans le contexte d'une restauration écologique marine "passive", il est préférable, pour garantir l'efficacité de l'indicateur "oiseau marin", d'utiliser ces espèces comme marqueurs lorsque la pression sur laquelle on agit à un impact direct sur elles. Malheureusement, les pressions sont souvent multiples comme le souligne Courbin 2022 dans son étude en proposant de tenir compte des effets cumulatifs des menaces anthropiques marines sur la survie des adultes des oiseaux marins.

En effet, le stress dû à la diminution des ressources (pression secondaire) est plus facilement mesurable via des indicateurs comportementaux tels que l'effort de recherche de nourriture ou les taux d'approvisionnement. Cependant, il est difficile de relier de manière robuste ces paramètres entre eux en raison de la multitude de facteurs influençant la démographie des proies et le comportement des oiseaux marins (Sherley et al., 2018). Par ailleurs, il est important de considérer les données à long terme pour séparer les années extrêmes ou les tendances temporelles, qui sont courantes avec des

espèces telles que les lançons (Alder et al., 2008, Gemillet et al, 2010, Sherley et al., 2015, Sherley et al., 2018).

Il ressort de ces éléments que l'interprétation des données sur les oiseaux marins en tant que proxy de l'abondance des poissons doit se faire avec prudence (Furness et Camphuysen, 1997). Il est primordial de reconnaître qu'une multitude de facteurs (biotiques, abiotiques et anthropiques) peuvent influencer sur les paramètres écologiques des oiseaux à des échelles spatiales et temporelles différentes et qu'il est nécessaire d'en tenir compte pour tenter d'isoler l'effet du paramètre étudié.

#### **2.2.4 La question de l'échelle spatiale et de temps du suivi des oiseaux marins**

Les oiseaux marins franchissent régulièrement les frontières régionales et internationales, et les évaluations des menaces doivent être réalisées à grande échelle spatiale. Par exemple, les puffins de Scopoli (*Calonectris diomedea*) en Méditerranée française sont parfois capturés par les pêcheries espagnoles (bycatch) (Courbin et al, 2024). Malgré les faibles pertes annuelles de puffins dans les palangres espagnoles, elles pourraient compromettre la persistance de plusieurs populations françaises de Puffins de Scopoli dans les 50 prochaines années. Les populations nicheuses de puffins du Parc National des Calanques et du Parc National de Port Cros sont en marge de l'aire de distribution de reproduction de l'espèce, et sont actuellement des populations « puits » qui ne peuvent pas se maintenir toutes seules sans l'apport régulier d'individus provenant de populations « sources » (Courbin, 2018). Ainsi, malgré un succès reproducteur positif, la dynamique de population peut tout de même chuter du fait de la faible survie des oiseaux adultes.

Ces études montrent l'importance de comprendre la dynamique de la population étudiée dans le cadre de l'évaluation d'une restauration écologique marine, en tenant compte des menaces à plus grande échelle pour les espèces hautement mobiles, afin de prendre pleinement en compte les effets cumulatifs des menaces anthropiques marines sur la survie des oiseaux marins adultes.

Ainsi, tout dépend des objectifs de la restauration écologique et de son évaluation. Si l'on souhaite restaurer un site à l'échelle locale, l'augmentation de l'abondance et de la richesse spécifique des espèces présentes à proximité du site restauré peut servir de marqueur de l'amélioration de l'état écologique du site. Cependant, pour comprendre plus en détail quels sont les facteurs contribuant à cette amélioration, il sera préférable d'étudier les réponses sur une colonie d'oiseaux marins et sur une période prolongée (au moins 10 ans, com pers : Courbin, 2024), en prenant en compte le plus de facteurs influant afin de maximiser les chances d'obtenir des résultats significatifs. Comme les facteurs de pression se cumulent sur les oiseaux marins (Courbin, 2022), ils peuvent être soumis à des pressions provenant d'autres régions qui influencent la population locale étudiée. Pour une compréhension

approfondie des dynamiques écologiques en cours, il serait essentiel de regarder la dynamique de population à plus grande échelle. En effet, les flux de métapopulation, les changements environnementaux globaux ou l'accumulation des pressions anthropiques peuvent compenser ou impacter négativement les paramètres écologiques de la population étudiée.

Enfin, l'oiseau marin ne doit pas être un indicateur indépendant puisque les paramètres écologiques des espèces sont influencés par une large gamme de facteurs qui ne peuvent pas être tous contrôlés pour des raisons techniques, de temps et d'argent.

## **2.3 L'oiseau marin n'est pas systématique dans l'évaluation d'une restauration écologique marine**

### **2.3.1 Exemple de l'EBQI**

L'oiseau marin n'est pas systématiquement l'indicateur le plus adapté dans le cadre de l'évaluation d'une restauration écologique marine, ce propos peut s'illustrer à travers l'indicateur EBQI (Ecosystem-Based Quality Index) (Ruitton S. et al., 2017).

Pour les besoins de la DCSMM une méthodologie innovante est développée en Méditerranée afin de qualifier l'état écologique par une approche écosystémique. Cette méthodologie est à l'initiative du GIS Posidonie, dans le cadre du Life Marha et à destination des gestionnaires d'aires marines protégées méditerranéennes. Elle est appliquée à plusieurs habitats d'intérêts communautaires comme l'herbier de posidonie, le coralligène, la roche infralittorale à algues photophiles et les grottes sous-marines (Ruitton S. et al., 2017).

L'EBQI offre aux scientifiques la possibilité, entre autres, de comparer les écosystèmes pour déterminer leur « bon état » et/ou l'état de conservation. En parallèle, cet outil permet aux gestionnaires de mettre en place des protocoles méthodologiques répondant à la DCSMM et de développer des programmes de connaissance, de surveillance et de gestion, adapté à la variabilité spatiotemporelle des écosystèmes.

Comme la DCSMM, cette approche méthodologique comprend une diversité d'indicateurs parmi lesquels figure un volet dédié aux oiseaux marins. Lors de l'élaboration de l'EBQI, il a été établi que la plupart des oiseaux marins ne contribuent pas directement au fonctionnement de l'écosystème de *Posidonia oceanica*. Par exemple, les mouettes (*Larus spp.*) et les puffins (*Puffinus spp.*) se nourrissent principalement d'espèces pélagiques en haute mer. En revanche, le cormoran (*Phalacrocorax spp.* : Grand cormoran *Phalacrocorax corama* et Cormoran huppé *Phalacrocorax aristotelis*) et le Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*) se nourrissent dans les herbiers de *P. oceanica* (Morat, 2007). Les

cormorans nagent dans les herbiers pour se nourrir principalement de poissons planctonophages (par exemple, *Spicara smaris*, *Chromis chromis*) mais ils peuvent également consommer des espèces de poissons plus benthiques (*Diplodus spp.*, *Lithognathus mormyrus*, *Scorpaena notata*, *Serranus scriba*, *Symphodus mediterraneus*). Les balbuzards pêcheurs sont plus opportunistes, se nourrissant d'une grande variété d'espèces, y compris ceux présents dans les herbiers (mugilidés, sars et saupes).

A « dire d'expert », le poids du compartiment « oiseaux marins » est de 1. Ce poids est très différent de celui des « macrophytes » (= 5) car ils n'ont pas le même rôle et la même importance dans le fonctionnement des écosystèmes étudiés par l'EBQI.

Le compartiment se base sur l'utilisation des données existantes et est noté via la mesure de la distance entre le site étudié qui peut être une zone potentielle de nourrissage et le site de nidification le plus proche des deux espèces de Comorans et le Balbuzard pêcheur. La moyenne des deux sous indices permet de calculer l'indice final du compartiment qui sera pondéré par son poids de 1 dans la note globale de l'EBQI (tableau 6).

*Tableau 6 : Méthodologie de calcul de l'indicateur « oiseaux marins » pour l'EBQI*

Indice	4	3	2	1	0
Distance par rapport au site de nidification (km)	< à 4km	4 à 7 km	8 à 12km	13 à 17km	>17 km

Le faible poids de l'indicateur « oiseau marin » montre la difficulté de calculer un effet indirect sur ce compartiment (restauration d'une plante - présence de nidification). L'EBQI se base sur un indicateur « présence/absence » d'un site de nidification dans un rayon de 17 km. Ce qui suppose la présence d'habitats terrestres pour la reproduction de ces espèces à proximité du site restauré et la présence d'une colonie en reproduction sur cet habitat. En effet, la disponibilité en proies à proximité du site de reproduction est l'un des déterminants pour les oiseaux marins dans la décision de se reproduire. Ainsi, dans le cas où une colonie s'installerait à proximité du site restauré, l'analyse selon la méthodologie de l'EBQI serait un bon indicateur d'une évolution positive en termes d'abondance de proies dans la zone. Cependant, l'installation de colonies nicheuses sur de nouveaux sites n'est pas systématique et dépend généralement de l'ensemble des facteurs biotiques et abiotiques cités plus haut. Par exemple, certaines sternes ne se déplaceraient vers les nouveaux îlots de nidification que si le milieu initial est saturé (com. pers. Courbin, 2014). Dans d'autres cas, si une colonie est déjà présente avant la restauration, la taille de celle-ci serait un bon indicateur de la disponibilité de nourriture à proximité

des sites de nidification, tout en tenant compte des autres facteurs influants. Enfin, la présence d'une population nicheuse à proximité du site restauré ne garantit pas que les oiseaux s'alimentent sur le site. Pour le vérifier, il serait possible de coupler l'évaluation avec des observations spatiales via des GPS ou plus simplement d'examiner l'abondance, la richesse spécifique et le comportement des oiseaux à proximité de la zone, notamment les comportements de chasse, pour enrichir notre compréhension de l'écosystème (com. pers. Chabrolle, 2024). En conclusion, dans le cadre de la restauration écologique par transplantation de posidonie, l'indicateur "oiseaux marins" n'est pas privilégié, puisque la restauration n'impacte pas de manière directe ces espèces, mais il est présent parmi les autres indicateurs et révèle des opportunités pour une compréhension approfondie.

### **2.3.2 Peu d'exemple à l'échelle mondiale**

Malgré les avantages que présente cet indicateur et les avancées scientifiques sur les oiseaux marins, dans très peu de cas, les oiseaux de mer ont réellement été utilisés en tant qu'indicateurs dans les programmes restauration écologiques marines.

En effet, selon une revue littéraire de 2012, sur les paramètres indicateurs pour évaluer le succès de la restauration écologique par les oiseaux. Cette étude, compile au total 109 études, dont une majeure partie en milieu terrestre, quelques-unes en milieu lagunaire ou en chenal mais aucunes en milieu marin (Ortega-Álvarez et al, 2012). Cependant, parmi ces études, certaines utilisent comme indicateurs dans la restauration des marais ou des rivières des oiseaux marins tels que des sternes, des cormorans, et le plus souvent des oiseaux d'eau (Brawley et al, 1998 ; Weller, 1995 ; Cooper, 2009).

Par ailleurs, la revue de Jennifer M.H. Loch (2020), recense 62 études examinant la réponse trophique aux opérations de restauration écologiques. Parmi ces 62 études, 31 sont côtières incluant les études en zones humides, les récifs d'huitres, de corail, les récifs artificiels ou les mangroves. Seulement une étude (en zone humide) utilisait des oiseaux marins (plus précisément : les échassiers) au sens de la DCSMM (référence aux 5 groupes) via leur comportement alimentaire pour évaluer les relations trophiques opérant après une restauration écologique sur une vaseuse.

Malgré les succès enregistrés en Californie et en Écosse (Anderson et al., 1980; Wanless et al., 2007; Frederiksen et al., 2008), la rareté des exemples suggère de sérieuses difficultés méthodologiques dans l'utilisation systématique des oiseaux marins comme indicateurs écologiques. Diverses causes peuvent être supposées, notamment des contraintes pratiques telles qu'un financement limité pour des études à long terme et un manque de volonté politique. Ces contraintes peuvent aussi être d'ordre scientifiques entraînés par les changements graduels ou soudains dans les réponses plastiques des oiseaux marins aux changements environnementaux (Gremillet et Charmantier 2010). Ces fluctuations, sous forme de variabilité à court terme et d'une évolution spatiotemporelle des normes de réaction (changements

de plasticité entre les colonies de reproduction, les populations et/ou au fil du temps) peuvent brouiller les relations fonctionnelles entre des variables spécifiques des oiseaux de mer et l'état de l'écosystème marin. (Gremillet et al., 2010).

### **3. Perspectives méthodologiques**

En s'appuyant sur l'ensemble des éléments présentés juste avant, l'oiseau marin peut être sélectionné comme indicateur parmi d'autres pour évaluer une restauration écologique, tant qu'il prend en compte les multiples facteurs mentionnés. Dans ce contexte, la méthodologie utilisée doit être appropriée, et des recommandations peuvent être proposées en s'inspirant des exemples d'indicateurs de restauration écologique basés sur les oiseaux.

Des critères de choix des espèces d'oiseaux à étudier sont proposés par la DCSMM et l'état des connaissances actuelles permettent de connaître globalement la composition du pool régional d'espèce, leur abondance et leurs enjeux de conservation sur le site en question.

Plusieurs paramètres indicateurs des oiseaux ont été proposés pour évaluer le succès de la restauration, notamment des indices comportementaux, des propriétés de population et de communauté, et des facteurs démographiques (Weller 2006, Lindell 2008, Frederick et al. 2009, Maslo et al. 2012). La diversité, la densité et la composition des communautés d'oiseaux ont également été reconnues comme des paramètres indicateurs utiles (Passell 2000, Konisky et al. 2006, Fletcher et al. 2007).

Les stratégies méthodologiques les plus couramment utilisées lors de l'évaluation d'une restauration sur le réseau trophique sont les métriques communautaires, les isotopes stables, le contenu stomacal, la modélisation et les observations comportementales (par exemple, l'activité de recherche de nourriture) (M.H. Loch, 2020).

L'ensemble de ces paramètres doivent être analysés en tenant compte de la multitude de facteurs influant biotiques, abiotiques et anthropiques, à large échelles spatiales et temporelles en raison de la haute mobilité et longévité des oiseaux marins.

Enfin, le protocole peut être appliqué avant, pendant et après la restauration (protocole Before-After). Sinon, il est possible de mettre en place des "zones témoins". Les zones témoins doivent être écologiquement équivalentes et situées à proximité du site. Cependant, il n'est pas évident de garantir l'équivalence des sites sur tous les autres facteurs hormis le facteur de restauration. De plus, leur mise en place peut poser des problèmes de coût et d'éthique.

### 3.1 L'étude du réseau trophique pour évaluer le succès de restauration écologique d'un site

L'une des perspectives pour évaluer le succès de la restauration écologique d'un site marin est l'étude des réseaux trophiques à l'aide des oiseaux marins. En effet, l'évaluation des interactions trophiques peut améliorer notre capacité à quantifier le succès de la restauration en examinant l'échange d'énergie au-delà des effets immédiats de la restauration (Vander Zanden et al., 2016). Théoriquement, la restauration de l'habitat favorise le transfert trophique en fournissant des ressources et des refuges pour les proies, ainsi que des opportunités de recherche de nourriture pour les prédateurs. Ces derniers jouent un rôle écologique crucial en régulant les réseaux trophiques et en offrant des indications précieuses sur la santé de l'écosystème (Estes et al., 2011). Ils peuvent parfois servir de « sentinelles » pour évaluer la réussite de la restauration des écosystèmes (Hazen et al., 2019), comme c'est le cas pour certains oiseaux marins tels que la mouette tridactyle (Osterblom et al., 2006).

Une des méthodologies courantes consiste à analyser les réseaux trophiques en utilisant à la fois le contenu stomacal et les isotopes stables (Tachas et al., 2021). L'analyse des niches isotopiques stables devient de plus en plus courante pour étudier l'équivalence fonctionnelle entre les habitats artificiels et ceux naturels (Dillon et al., 2015 ; Llewellyn et La Peyre, 2011 ; Rezek et al., 2017a, 2017b). Cette approche permet de mesurer l'équivalence écologique au niveau des populations et des communautés en examinant des attributs fonctionnels tels que la structure trophique et les interactions. Les valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  (carbone) et  $\delta^{15}\text{N}$  (azote) s'assimilent de manière prévisible dans les tissus des consommateurs et reflètent celles des sources alimentaires. Les valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  donnent un aperçu de la diversité des sources alimentaires, tandis que les valeurs de  $\delta^{15}\text{N}$  et le niveau d'enrichissement de l'isotope fournissent des informations sur les positions trophiques. Un changement écologiquement significatif de position trophique est généralement représenté par un changement de 3‰ pour le  $\delta^{15}\text{N}$  et de 1‰ pour le  $\delta^{13}\text{C}$  (Fry, 2006 ; Glibert et al., 2019 ; Peterson et Fry, 1987).

En 2024, aucune publication ne semble encore aborder clairement l'utilisation de cette méthodologie pour comparer un site marin ou côtier restauré avec un site naturel. Cependant, les oiseaux marins et cette méthode sont déjà utilisés comme indicateurs des changements dans la disponibilité des proies marines, servant de proxy pour les pressions humaines. Dos Santos et al. (2023) ont étudié le régime alimentaire et l'écologie de la recherche de nourriture de deux Procellariiformes sympatriques, le Puffin de Boyd (*Calonectris edwardsii*) et le Pétrel de Bulwer (*Bulweria bulwerii*), pendant leur période de reproduction à Cabo Verde, en Afrique de l'Ouest. Cette recherche, basée sur l'analyse des acides gras (FAs), des valeurs de  $\delta^{15}\text{N}$  et  $\delta^{13}\text{C}$ , ainsi que sur l'utilisation de dispositifs GPS, a permis

d'évaluer quantitativement le régime alimentaire des adultes et des poussins, d'estimer la niche isotopique des oiseaux adultes et d'identifier leurs principales zones de recherche de nourriture.

L'application de cette méthode aux oiseaux marins sentinelles pourrait fournir des indications précieuses sur les variations, qu'elles soient positives ou négatives, dans les réseaux trophiques, offrant un potentiel d'évaluation du succès d'une restauration écologique marine en tenant compte des éléments de discussion énoncés précédemment (partie 2).

## **Conclusion générale**

Les oiseaux marins, occupant une position clé au sommet de la chaîne trophique, reflètent les pressions anthropiques et les changements environnementaux. Leur utilisation en tant qu'indicateur dans l'évaluation des travaux de restauration écologique est à la fois prometteuse et complexe. Les avantages de cette approche sont le faible coût financier et ses contraintes techniques de mise en place réduites comparativement aux protocoles nécessitant de la plongée sous-marine. L'indicateur est en cours d'élaboration en France (DCSMM) et est déjà en place dans certaines régions marines telles que la mer du Nord et la Californie. Il présente la possibilité d'étudier une multitude de paramètres écologiques notamment la richesse spécifique, l'abondance, les indices comportementaux (recherche de nourriture, déplacements), les facteurs démographiques, l'analyse des isotopes stables, le contenu stomacal et la modélisation.

Cependant, l'indicateur « oiseau marin » présente plusieurs limites qu'il convient de prendre en compte dans le cadre de son utilisation dans l'évaluation d'une restauration écologique.

Les réponses des oiseaux aux changements environnementaux dépendent des traits d'histoire de vie de l'espèce étudiée et du contexte biotique et abiotique global et local. La précision de l'évaluation via les oiseaux marins dépend aussi de l'effort de collecte de données et de la prise en compte de la multitude de facteurs influant sur les paramètres écologiques et démographiques des oiseaux marins. Les effets attendus sur les oiseaux marins seront différents selon le type d'impact supprimé ou amoindri par la restauration. Les liens, souvent indirects, sont parfois observés avec des années de décalage, ce qui ne facilite pas la mise en évidence d'un effet de la restauration et de telles échelles de temps peuvent très bien entrer en conflit avec le désir d'une action de gestion rapide (Sherley et al., 2018). Les oiseaux marins seront difficilement des indicateurs uniques en raison de la multitude de facteurs influant sur les paramètres écologiques.



Enfin, afin d'en évaluer la restauration écologique, il faudrait mettre en place des "zones témoins" et réaliser une comparaison zone sans/avec restauration. Cependant, il n'est pas évident de considérer l'équivalence des sites et peuvent engendrer des questions de coûts et des questions d'ordre éthiques.

Ainsi, les oiseaux marins sont des indicateurs potentiellement précieux pour les processus écologiques mais leur utilisation nécessite une méthodologie à large échelle et à long terme, tenant compte des multiples pressions environnementales et de la complexité des dynamiques écologiques.

En raison de ces limites, des études avancent que les oiseaux marins peuvent servir de sentinelles qualitatives des processus écologiques marins plutôt que d'indicateurs quantitatifs robustes (Piatt et al. 2007). Les espèces sentinelles, sont souvent les plus menacées par les changements environnementaux en raison de leur faible adaptabilité. C'est le cas des mouettes tridactyles, utilisée comme indicateur environnemental en mer du Nord. De même, les guillemots communs (*Uria aalge*) de la mer Baltique ont été démontrés comme sensibles à la taille de la population de sprats (*Sprattus sprattus*) et à la densité énergétique des proies (Osterblom et al. 2006). De futures recherches pourraient aider à identifier les meilleures sentinelles d'oiseaux de mer dans d'autres écosystèmes marins.

## Références

1. Anderson, D. W. & Keith, J. O. The human influence on seabird nesting success: Conservation implications. *Biological Conservation* 18, 65–80 (1980).
2. Authier, M. Et al. Exploring change in the relative abundance of marine megafauna in the Bay of Biscay, 2004–2016. *Progress in Oceanography* 166, 159–167 (2018).
3. Babin, D. Et al. Guide des négociations, 10e session de la conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique (COP 10) - 18 au 29 octobre 2010. (2010).
4. Benayas, J. M. R., Newton, A. C., Diaz, A. & Bullock, J. M. Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis. *Science* 325, 1121–1124 (2009).
5. Brawley, A. H., Warren, R. S. & Askins, R. A. Bird use of restoration and reference marshes within the Barn Island Wildlife Management area, Stonington, Connecticut, USA. *Environmental management (New York)* 22, 625–633 (1998).
6. Cairns, D. K. Seabirds as Indicators of Marine Food Supplies. (1987).
7. Cardinale, B. J. Et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59–67 (2012).
8. Carreiro, A. R. Et al. Metabarcoding, stable isotopes, and tracking: unraveling the trophic ecology of a winter-breeding storm petrel (*Hydrobates castro*) with a multimethod approach. *Mar Biol* 167, 14 (2020).
9. Clairbaux, M. Et al. North Atlantic winter cyclones starve seabirds. *Current Biology* 31, 3964–3971.e3 (2021).
10. Cohen, L. Et al. Changes in prey availability impact the foraging behaviour and fitness of Cape gannets over a decade. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 505, 281–293 (2014).
11. Cooper, D. The Use of Historical Data in the Restoration of the Avifauna of the Ballona Wetlands, Los Angeles County, California. *Natural Areas Journal* 28, 83–90 (2009).
12. Courbin, N., Besnard, A. & Grémillet, D. Transnational mortality from Spanish longline fisheries bycatch is shaping the decline of a vulnerable French seabird. *Biological Conservation* 293, 110597 (2024).
13. Courbin, N., Dortel, E., Grémillet, D., Lebreton, J. & Besnard, A. Note on demography to assist in the management and conservation of breeding seabird populations along the French mainland coast. *Naturae* 2022, 285–296 (2022).
14. Courbin, N., Grémillet, D. & Besnard, A. Étude de La Dynamique Des Populations de Puffins de Scopoli et Yelkouan Du Parc National Des Calanques et Du Parc National de Port-Cros. (2018). Doi:10.13140/RG.2.2.28635.87845.
15. Crivelli, A. J., Marsili, L., Focardi, S. & Renzoni, A. Organochlorine Compounds in Pelicans (*Pelecanus crispus* and *Pelecanus onocrotalus*) Nesting at Lake Mikri Prespa, North Western Greece. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 62, 383–389 (1999).
16. Croxall, J. P. Et al. Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International* 22, 1–34 (2012).

17. Davidson, D. W. ECOLOGICAL ASSEMBLY RULES (Book Review). *Quarterly Review of Biology* 75, 340 (2000).
18. Dg, A., Lb, S. & Sg, A. Variation in the diet of Cassin's auklet reveals spatial, seasonal, and decadal occurrence patterns of euphausiids off California, USA. *Marine Ecology Progress Series* 137, 1–10 (1996).
19. Diamond, A. & Devlin, C. Seabirds as Indicators of Changes in Marine Ecosystems: Ecological Monitoring on Machias Seal Island. 88, 153–75 (2003).
20. Dias, M. P. Et al. Threats to seabirds: A global assessment. *Biological Conservation* 237, 525–537 (2019).
21. Diaz, S., Cabido, M. & Casanoves, F. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. *Journal of Vegetation Science* 9, 113–122 (1998).
22. Dillon, K. S., Peterson, M. S. & May, C. A. Functional equivalence of constructed and natural intertidal eastern oyster reef habitats in a northern Gulf of Mexico estuary. *Marine Ecology Progress Series* 528, 187–203 (2015).
23. Drury, W. H. & Kadlec, J. A. The Current Status of the Herring Gull Population in the Northeastern United States. *Bird-Banding* 45, 297–306 (1974).
24. Estes, J. Et al. Trophic Downgrading of Planet Earth. *Science (New York, N.Y.)* 333, 301–6 (2011).
25. Frederiksen, M., Jensen, H., Daunt, F., Mavor, R. A. & Wanless, S. Differential Effects of a Local Industrial Sand Lance Fishery on Seabird Breeding Performance. *Ecological Applications* 18, 701–710 (2008).
26. Furness, R. W. & Camphuysen, K. (C. J. ). Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science* 54, 726–737 (1997).
27. Furness, R. W., Wade, H. M. & Masden, E. A. Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *Journal of Environmental Management* 119, 56–66 (2013).
28. Gaston, K. J. & Blackburn, T. M. Birds, body size and the threat of extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 347, 205–212 (1997).
29. Glibert, P. M., Middelburg, J. J., mcclelland, J. W. & Jake Vander Zanden, M. Stable isotope tracers: Enriching our perspectives and questions on sources, fates, rates, and pathways of major elements in aquatic systems. *Limnology and Oceanography* 64, 950–981 (2019).
30. Goutner, V. Use of the Drana Lagoon (Evros Delta, Greece) by threatened colonially nesting waterbirds and its possible restoration. *Biological Conservation* 81, 113–120 (1997).
31. Grémillet, D. & Charmantier, A. Shifts in phenotypic plasticity constrain the value of seabirds as ecological indicators of marine ecosystems. *Ecological applications* 20, 1498–1503 (2010).
32. Grémillet, D. & Charmantier, A. Shifts in phenotypic plasticity constrain the value of seabirds as ecological indicators of marine ecosystems. *Ecological Applications* 20, 1498–1503 (2010).
33. Harris, M. P., Murray, S. & Wanless, S. Long-term changes in breeding performance of Puffins *Fratercula arctica* on St Kilda. *Bird Study* 45, 371–374 (1998).

34. Hazen, E. L. Et al. Marine top predators as climate and ecosystem sentinels. *Frontiers in Ecology and the Environment* 17, 565–574 (2019).
35. Howeth, J. G. & Leibold, M. A. Species dispersal rates alter diversity and ecosystem stability in pond metacommunities. *Ecology* 91, 2727–2741 (2010).
36. Jakubas, D. Et al. Flexibility of little auks foraging in various oceanographic features in a changing Arctic. *Sci Rep* 10, 8283 (2020).
37. Jones, H. P. & Kress, S. W. A review of the world's active seabird restoration projects. *The Journal of Wildlife Management* 76, 2–9 (2012).
38. Keddy, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. <https://onlinelibrary-wiley-com.ezpum.scdi-montpellier.fr/doi/10.2307/3235676> (1992).
39. Le Bot, T. Et al. Fishery discards do not compensate natural prey shortage in Northern gannets from the English Channel. *Biological Conservation* 236, 375–384 (2019).
40. Llewellyn, C. & La Peyre, M. Evaluating Ecological Equivalence of Created Marshes: Comparing Structural Indicators with Stable Isotope Indicators of Blue Crab Trophic Support. *Estuaries and coasts* 34, 172–184 (2011).
41. Loch, J. M. H., Walters, L. J. & Cook, G. S. Recovering trophic structure through habitat restoration: A review. *Food Webs* 25, e00162 (2020).
42. Mander, L., Marie-Orleach, L. & Elliott, M. The value of wader foraging behaviour study to assess the success of restored intertidal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 131, 1–5 (2013).
43. Martin, J. Synthèse bibliographique des changements d'échelles cartographiques et des relations écologiques entre les espèces et leurs habitats. (2015).
44. Michel, S. Caractérisation de l'utilisation de l'Arc Atlantique Nord-Est par la faune volante migratrice et marine à l'aide de méthodes complémentaires. (2022).
45. Morat, F. Régime alimentaire de la population de cormoran huppé de Méditerranée (*Phalacrocorax aristotelis desmarestii*) de Riou. (2007).
46. Norris, D. R., Arcese, P., Preikshot, D., Bertram, D. F. & Kyser, T. K. Diet reconstruction and historic population dynamics in a threatened seabird. *Journal of Applied Ecology* 44, 875–884 (2007).
47. Ortega-Álvarez, R. & Lindig-Cisneros, R. Feathering the Scene: The Effects of Ecological Restoration on Birds and the Role Birds Play in Evaluating Restoration Outcomes. *Ecological Restoration* 30, 116–127 (2012).
48. Parsons, M. Et al. Seabirds as indicators of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science* 65, 1520–1526 (2008).
49. Personnic, S. Et al. An Ecosystem-Based Approach to Assess the Status of a Mediterranean Ecosystem, the *Posidonia oceanica* Seagrass Meadow. *PLOS ONE* 9, e98994 (2014).
50. Personnic, S. & Ruitton, S. EBQI : Pour Une Meilleure Interaction Chercheurs/Gestionnaires Dans l'évaluation Écosystémique. (2014).

51. Peterson, B. J. & Fry, B. STABLE ISOTOPES IN ECOSYSTEM STUDIES. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 18, 293–320 (1987).
52. Piatt, J. Et al. Seabirds as indicators of marine food supplies: Cairns revisited. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 352, 221–234 (2007).
53. Ravache, A. Et al. Behavioral and trophic segregations help the Tahiti petrel to cope with the abundance of wedge-tailed shearwater when foraging in oligotrophic tropical waters. *Sci Rep* 10, 15129 (2020).
54. Reid, K., Croxall, J. P., Briggs, D. R. & Murphy, E. J. Antarctic ecosystem monitoring: quantifying the response of ecosystem indicators to variability in Antarctic krill. *ICES Journal of Marine Science* 62, 366–373 (2005).
55. Rezek, R. J., Lebreton, B., Roark, E. B., Palmer, T. A. & Pollack, J. B. How does a restored oyster reef develop? An assessment based on stable isotopes and community metrics. *Mar Biol* 164, 54 (2017).
56. Rezek, R. J., Lebreton, B., Sterba-Boatwright, B. & Beseres Pollack, J. Ecological structure and function in a restored versus natural salt marsh. *Plos ONE* 12, e0189871 (2017).
57. Richard B. Sherley 1,2 , Barbara J. Barham 3, Peter J. Barham 4,5, Kate J. Campbell 5,6, Robert J. M. Crawford 5,7, Jennifer Grigg 3, Cat Horswill 8, Alistair mcinnes 9, Taryn L. Morris 10, Lorien Pichegru 9 , Antje Steinfurth 2,11 , Florian Weller 6, Henning Winker 12 and Stephen C. Votier 1. Bayesian inference reveals positive but subtle effects of experimental fishery closures on marine predator demographics | *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2017.2443>.
58. Robert & Ricklefs. *Community Diversity: Relative Roles of Local and Regional Processes* | *Science*. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.235.4785.167>.
59. Ronconi, R. A., Smith, J. L. & Allard, K. A. Chapter 18 - Protecting marine habitats: Spatial conservation measures for seabirds at sea. In *Conservation of Marine Birds* (eds. Young, L. & vanderwerf, E.) 497–544 (Academic Press, 2023). Doi:10.1016/B978-0-323-88539-3.00007-8.
60. Ruitton, S., Boudouresque, C., Personnic, S. & David, R. AN ECOSYSTEM-BASED APPROACH TO EVALUATE THE STATUS OF MEDITERRANEAN ECOSYSTEMS HABITATS.
61. Ruitton, S. Et al. *Guide Méthodologique Pour l'évaluation Écosystémique Des Habitats Marins*. (2017). Doi:10.13140/RG.2.2.23411.02085.
62. Santos, I. Dos et al. Similar breeding performance despite inter-annual differences in diet composition of seabirds inhabiting a tropical environment. *Marine Ecology Progress Series* 725, 95–119 (2023).
63. Tachas et al. Eco-engineered mangroves provide complex but functionally divergent niches for estuarine species compared to natural mangroves - *sciencedirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092585742100210X> (2021).

64. Tonra, C. M., Sager-Fradkin, K., Morley, S. A., Duda, J. J. & Marra, P. P. The rapid return of marine-derived nutrients to a freshwater food web following dam removal. *Biological Conservation* 192, 130–134 (2015).
65. Vander Zanden, H. B., Soto, D. X., Bowen, G. J. & Hobson, K. A. Expanding the Isotopic Toolbox: Applications of Hydrogen and Oxygen Stable Isotope Ratios to Food Web Studies. *Frontiers in ecology and evolution* 4, (2016).
66. Veit, R., McGowan, J., Ainley, D., Wahl, T. & Pyle, P. Apex marine predator declines ninety percent in association with changing oceanic climate. *Global Change Biology* 3, 23–28 (1997).
67. Velarde, E., Ezcurra, E. & Anderson, D. W. Seabird diets provide early warning of sardine fishery declines in the Gulf of California. *Sci Rep* 3, 1332 (2013).
68. Wanless, S., Frederiksen, M., Daunt, F., Scott, B. E. & Harris, M. P. Black-legged kittiwakes as indicators of environmental change in the North Sea: Evidence from long-term studies. *Progress in Oceanography* 72, 30–38 (2007).
69. Weimerskirch, H. Et al. Ocean sentinel albatrosses locate illegal vessels and provide the first estimate of the extent of nondeclared fishing. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, 3006–3014 (2020).
70. Weimerskirch, H. Et al. At-sea movements of wedge-tailed shearwaters during and outside the breeding season from four colonies in New Caledonia. *Marine Ecology Progress Series* 633, 225–238 (2020).
71. Weimerskirch, H., Zimmermann, L. & Prince, P. A. Influence of environmental variability on breeding effort in a long-lived seabird, the yellow-nosed albatross. *Behavioral Ecology* 12, 22–30 (2001).
72. Weller, M. W. Use of Two Waterbird Guilds as Evaluation Tools for the Kissimmee River Restoration. *Restoration Ecology* 3, 211–224 (1995).
73. Wisz, M. S. Et al. The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews* 88, 15–30 (2013).
74. Wojczulanis-Jakubas, K., Jakubas, D. & Stempniewicz, L. The Little Auk *Alle alle*: an ecological indicator of a changing Arctic and a model organism. *Polar Biol* 45, 163–176 (2022).
75. Young, H. S., Mccauley, D. J., Dunbar, R. B. & Dirzo, R. Plants cause ecosystem nutrient depletion via the interruption of bird-derived spatial subsidies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 2072–2077 (2010).

## Annexes :

Annexe 1 : Classification des espèces en 5 groupes selon la DCSMM :

### Étiquettes de lignes

#### Catégorie DCSMM

**Nom vernaculaire**

Nom scientifique

#### Echassier

**Avocette élégante**

*Recurvirostra avosetta*

**Barge à queue noire**

*Limosa limosa*

**Barge rousse**

*Limosa lapponica*

**Bécasseau cocorli**

*Calidris ferruginea*

**Bécasseau maubèche**

*Calidris canutus*

**Bécasseau minute**

*Calidris minuta*

**Bécasseau sanderling**

*Calidris alba*

**Bécasseau variable**

*Calidris alpina*

**Bécasseau violet**

*Calidris maritima*

**Chevalier aboyeur**

*Tringa nebularia*

**Chevalier arlequin**

*Tringa erythropus*

**Chevalier culblanc**

*Tringa ochropus*

**Chevalier gambette**

*Tringa totanus*

**Chevalier guignette**

*Actitis hypoleucos*

**Chevalier sylvain**

*Tringa glareola*

**Combattant varié**

*Philomachus pugnax*

**Courlis cendré**

*Numenius arquata*

**Courlis corlieu**

*Numenius phaeopus*

**Échasse blanche**

*Himantopus himantopus*

**Grand Gravelot**

*Charadrius hiaticula*

**Gravelot à collier interrompu**

*Charadrius alexandrinus*

**Huitrier pie**

*Haematopus ostralegus*

**Pluvier argenté**

Pluvialis squatarola

**Pluvier doré**

Pluvialis apricaria

**Tadorne de Belon**

Tadorna tadorna

**Tournepierre à collier**

Arenaria interperes

**Vanneau huppé**

Vanellus vanellus

**Oiseaux herbivores**

---

**Bernache cravant**

Branta bernicla

**Oiseaux marins de surface**

---

**Goéland d'Audouin**

Larus audouinii

**Goéland marin**

Larus marinus

**Goéland rائلeur**

Larus genei

**Grand Labbe**

Catharacta skua (Stercorarius skua)

**Guifette noire**

Chlidonias niger

**Labbe à longue queue**

Stercorarius longicaudus

**Labbe parasite**

Stercorarius parasiticus

**Labbe pomarin**

Stercorarius pomarinus

**Mouette de Sabine**

Larus sabini

**Mouette mélanocéphale**

Larus melanocephalus

**Mouette pygmée**

Larus minutus

**Mouette tridactyle**

Rissa tridactyla

**Pétrel culblanc (Océanite culblanc)**

Oceanodroma leucorhoa

**Pétrel fulmar (Fulmar boréal)**

Fulmarus glacialis

**Pétrel tempête (Océanite tempête)**

Hydrobates pelagicus

**Phalarope à bec étroit**

Phalaropus lobatus

**Phalarope à bec large**

Phalaropus fulicarius

**Sterne arctique**

Sterna paradisaea

**Sterne caspienne**

Sterna caspia

**Sterne caugek**

Sterna sandvicensis



**Sterne de Dougall**

*Sterna dougallii*

**Sterne hansel**

*Gelochelidon nilotica* (*Sterna nilotica*)

**Sterne naine**

*Sterna albifrons*

**Sterne pierregarin**

*Sterna hirundo*

**Oiseaux marins de surface (+ échassier)**

---

**Goéland argenté**

*Larus argentatus*

**Goéland bourgmestre**

*Larus hyperboreus*

**Goéland brun**

*Larus fuscus*

**Goéland cendré**

*Larus canus*

**Goéland leucophée**

*Larus michahellis*

**Mouette rieuse**

*Larus ridibundus*

**Oiseaux marins de surface (+ oiseaux plongeurs pélagiques)**

---

**Puffin cendré**

*Calonectris diomedea*

**Puffin des Anglais**

*Puffinus puffinus*

**Puffin des Baléares**

*Puffinus mauretanicus*

**Puffin fuligineux**

*Puffinus griseus*

**Puffin majeur**

*Puffinus gravis*

**Puffin yelkouan**

*Puffinus yelkouan*

**Oiseaux plongeurs benthiques**

---

**Eider à duvet**

*Somateria mollissima*

**Fuligule milouinan**

*Aythya marila*

**Garrot à œil d'or**

*Bucephala clangula*

**Harelde boréale (Harelde de Miquelon)**

*Clangula hyemalis*

**Macreuse brune**

*Melanitta fusca*

**Macreuse noire**

*Melanitta nigra*

**Oiseaux plongeurs pélagiques**

---

**Fou de Bassan**

*Morus bassanus* (*Sula bassana*)

**Grèbe à cou noir**

*Podiceps nigricollis*

**Grèbe esclavon**

Podiceps auritus

**Grèbe huppé**

Podiceps cristatus

**Grèbe jougris**

Podiceps grisegena

**Guillemot de Troïl**

Uria aalge

**Harle huppé**

Mergus serrator

**Macareux moine**

Fratercula arctica

**Mergule nain**

Alle alle

**Pingouin torda (Petit Pingouin)**

Alca torda

**Plongeon arctique**

Gavia arctica

**Plongeon catmarin**

Gavia stellata

**Plongeon imbrin**

Gavia immer

**Oiseaux plongeurs pélagiques (+ oiseaux plongeurs benthiques)**

---

**Cormoran huppé**

Phalacrocorax aristotelis

**Grand Cormoran**

Phalacrocorax carbo