



HAL
open science

Référentiel pour la prise en compte des activités de cultures marines dans la préservation de l'environnement marin

Richard Coz, Pascal Ragot

► To cite this version:

Richard Coz, Pascal Ragot. Référentiel pour la prise en compte des activités de cultures marines dans la préservation de l'environnement marin. Office Français de la Biodiversité. 2020. hal-04483655

HAL Id: hal-04483655

<https://ofb.hal.science/hal-04483655v1>

Submitted on 29 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**Référentiel pour la prise en
compte des activités de cultures
marines dans la préservation de
l'environnement marin**

TOME 2
**Interactions des activités de cultures marines avec le milieu
marin – avec focus sur les habitats et espèces Natura 2000**

Photo de la 1^{re} de couverture : filières mytilicoles en mer. Parc naturel marin du golfe du Lion (M. Foulquié).

TABLE DES MATIERES

PREFACE.....	9
INTRODUCTION.....	11
I. HABITATS ET ESPECES NATURA 2000.....	17
I.A. IDENTIFICATION DES HABITATS ET ESPECES NATURA 2000 SUSCEPTIBLES D’ETRE EN INTERACTION AVEC LES ACTIVITES D’AQUACULTURE MARINE.....	17
A.1. HABITATS	17
A.2. ESPECES.....	20
II. INTERACTIONS ENTRE LES ACTIVITES ETUDIEES ET LES ECOSYSTEMES MARINS	21
II.A. METHODE D’EVALUATION DES INTERACTIONS.....	21
A.1. ETAT DE L’ART	21
A.2. RISQUE D’IMPACT DES PRESSIONS ANTHROPIQUES SUR LES HABITATS ET LES ESPECES	21
A.3. DEFINITIONS.....	22
3.a. Espèce, métapopulation et population animale / végétale	22
3.b. Pressions.....	23
3.c. Amplitude	24
3.d. Intensité.....	24
3.e. Exposition	25
3.f. Résilience	25
3.g. Résistance.....	25
3.h. Sensibilité / sensibilité potentielle	26
3.i. Impact (= Effet).....	28
3.j. Risque d’impact (=vulnérabilité) sur les habitats / vulnérabilité potentielle des habitats.....	28
3.k. Risque d’interaction des espèces avec les pressions.....	29
3.l. Capacités de support.....	29
A.4. CATEGORIES DE PRESSIONS.....	29
A.5. CATEGORIES D’ACTIVITES DE CULTURES MARINES	36
II.B. EXPOSITION AUX PRESSIONS	37
B.1. ESPECES.....	37
B.2. HABITATS	40
II.C. PRESSIONS POTENTIELLES DE L’AQUACULTURE MARINE.....	43
C.1. INTERACTIONS RELATIVES A LA PHYSIOLOGIE DES ESPECES ELEVEES ET AUX ALIMENTS	43
1.a. Interactions relatives à la biogéochimie de la colonne d’eau	43
1.b. Interactions relatives à la sédimentation.....	47
1.c. Interactions relatives à la biogéochimie de la colonne d’eau et à la sédimentation pour les habitats et les espèces Natura 2000	51
C.2. INTERACTIONS RELATIVES AUX INFRASTRUCTURE ET AUX EQUIPEMENTS ASSOCIES.....	57
2.a. Installation d’infrastructures et gestion courante	57
2.b. Déchets.....	58
2.c. Attractivité pour les espèces vagiles.....	60
2.d. Entretien des structures d’élevage et des fonds marins	61
2.e. Interactions relatives aux infrastructures et équipements associés pour les habitats et les espèces Natura 2000	63
C.3. PERTE D’HABITATS ET AQUACULTURE MARINE.....	69
C.4. INTERACTIONS RELATIVES AU DERANGEMENT	69

4.a. Bruits.....	69
4.b. Lumière.....	70
4.c. Interactions relatives au dérangement pour les habitats et les espèces Natura 2000	71
C.5. INTERACTIONS RELATIVES AU CONTROLE DE PREDATEURS	73
5.a. Interactions relatives au contrôle des prédateurs pour les habitats et les espèces Natura 2000.....	75
C.6. INTERACTIONS RELATIVES AUX SUBSTANCES CHIMIQUES	77
6.a. Interactions relatives aux substances chimiques pour les habitats et les espèces Natura 2000.....	79
C.7. INTERACTIONS RELATIVES A LA TRANSMISSION D'AGENTS PATHOGENES.....	80
7.a. Interactions relatives à la transmission de pathogènes pour les habitats et les espèces Natura 2000.....	85
C.8. INTERACTIONS GENETIQUES ET ECOLOGIQUES ENTRE POPULATIONS D'ELEVAGE ET POPULATIONS SAUVAGES	86
8.a. Interactions génétiques.....	87
8.b. Interactions écologiques et trophiques	90
8.c. Interactions entre populations d'élevage et populations sauvages pour les habitats et les espèces Natura 2000	90
C.9. INTERACTIONS RELATIVES A L'INTRODUCTION D'ESPECES NON-INDIGENES.....	91
9.a. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes pour les habitats et les espèces Natura 2000	96
C.10. FOCUS SUR CERTAINS HABITATS NATURA 2000 SENSIBLES ET ZONES FONCTIONNELLES D'INTERET POUR LES ESPECES NATURA 2000	97
10.a. Récifs d'hermelles	97
10.a. Herbiers de zostères et de posidonies.....	98
10.b. Maërl	99
10.c. Zones fonctionnelles pour l'avifaune.....	100
II.D. SYNTHESE DES PRESSIONS POTENTIELLES EN FONCTION DU TYPE D'AQUACULTURE	102
D.1. PRESSIONS PHYSIQUES	103
D.2. PRESSIONS « SUBSTANCES, DECHETS ET ENERGIE »	105
D.3. PRESSIONS BIOLOGIQUES	109
III. FICHES ACTIVITES	113
III.A. METHODOLOGIE POUR LES MATRICES DE RISQUES D'IMPACT (=VULNERABILITE) ET DE RISQUE D'INTERACTION EN FONCTION DU TYPE D'AQUACULTURE	113
A.1. HABITATS NATURA 2000.....	113
1.a. Evaluation du risque d'impact (= vulnérabilité ou vulnérabilité potentielle).....	113
A.2. ESPECES NATURA 2000	114
2.a. Evaluation du risque d'interaction	114
2.b. Eléments généraux relatifs à certaines pressions	114
III.B. PISCICULTURE EN CAGES EN MER OU EN LAGUNES COTIERES.....	116
B.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	116
B.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	118
2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	118

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	119
2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	120
2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	120
2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	121
2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7).....	121
2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8).....	122
2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	122
III.C. CONCHYLICULTURE SUR FILIERES.....	127
C.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	127
C.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	129
2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	129
2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	130
2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	130
2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	131
2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	131
2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7).....	131
2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8).....	132
2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	132
III.D. ALGOCULTURE SUR FILIERES.....	137
D.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	137
D.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	139
2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	139
2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	140
2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	140
2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	141
2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	141
2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7).....	141
2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8).....	141
2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	142
III.E. MYTILICULTURE INTERTIDALE SUR BOUCHOTS.....	147
E.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	147
E.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	149
2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	149
2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	150
2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	150
2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	151

2.e.	Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)	151
2.f.	Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)	151
2.g.	Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8).....	152
2.h.	Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	152
III.F.	OSTREICULTURE INTERTIDALE SURELEVEE.....	156
F.1.	DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	156
F.2.	INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	157
2.a.	Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	158
2.b.	Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	158
2.c.	Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	159
2.d.	Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	159
2.e.	Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	159
2.f.	Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)	160
2.g.	Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)	160
2.h.	Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	161
III.G.	CONCHYLICULTURE AU SOL	165
G.1.	DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	165
G.2.	INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	166
2.a.	Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	166
2.b.	Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	167
2.c.	Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	168
2.d.	Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	168
2.e.	Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	169
2.f.	Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)	169
2.g.	Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)	169
2.h.	Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	170
III.H.	CONCHYLICULTURE EN LAGUNES MEDITERRANEENNES	175
H.1.	DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	175
H.2.	INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	177
2.a.	Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	177
2.b.	Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	178
2.c.	Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	178
2.d.	Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	179
2.e.	Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	179
2.f.	Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)	179
2.g.	Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)	180

2.h.	Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	180
III.I.	AQUACULTURE EN BASSINS (IN)SUBMERSIBLES	184
I.1.	DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	184
I.2.	INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	188
2.a.	Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	188
2.b.	Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	189
2.c.	Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	189
2.d.	Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	190
2.e.	Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	190
2.f.	Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)	190
2.g.	Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)	190
2.h.	Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	191
III.J.	PISCICULTURE EN BASSINS (CIRCUIT OUVERT OU FERME)	195
J.1.	DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	195
J.2.	INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	197
2.a.	Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	197
2.b.	Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	198
2.c.	Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	198
2.d.	Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	199
2.e.	Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	199
2.f.	Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)	199
2.g.	Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)	200
2.h.	Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	200
III.K.	ALGOCULTURE EN BASSINS.....	205
K.1.	DESCRIPTION DE L'ACTIVITE.....	205
K.2.	INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES.....	207
2.a.	Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1).....	207
2.b.	Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2).....	207
2.c.	Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4).....	208
2.d.	Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5).....	208
2.e.	Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6).....	208
2.f.	Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)	209
2.g.	Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)	209
2.h.	Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9).....	209
IV.	MESURES D'EVITEMENT ET DE REDUCTION DES PRESSIONS IDENTIFIEES	215
IV.A.	INTRODUCTION	215
	HABITATS SENSIBLES NATURA 2000 : EVITEMENT ET REDUCTION DES PRESSIONS	218

ENCADREMENT DE L'ACCES AUX INFRASTRUCTURES D'ELEVAGE EN MER	228
GESTION, ENTRETIEN ET NETTOYAGE INDIVIDUEL OU COLLECTIF DES CONCESSIONS ET DES FRICHES CONCHYLICOLES	231
DECLARATION DE PRODUCTION DES ELEVAGES MARINS ET DES SURFACES DE CONCESSIONS REELLEMENT EXPLOITEES	235
REDUCTION, COLLECTE, GESTION ET VALORISATION DES DECHETS ET COPRODUITS CONCHYLICOLES	237
COMPOSES CHIMIQUES : INVENTAIRES, PLANS DE PREVENTIONS DES RISQUES ET FORMATION DU PERSONNEL.....	243
GESTION ET TRAITEMENT DES EFFLUENTS	247
BIOSECURITE : TRANSMISSION DE PATHOGENES, INTRODUCTION D'ESPECES NON- INDIGENES (OU LOCALEMENT ABSENTES) ET INTROGRESSION GENETIQUE	250
ZONES FONCTIONNELLES POUR LES ESPECES NATURA 2000 : EVITEMENT ET REDUCTION DES PRESSIONS.....	255
EVALUATION ET MOYENS DE LUTTE CONTRE LA DEPREDATION ET LES COMPETITEURS	259
ACQUISITION DE CONNAISSANCES SUR LES HABITATS ET ESPECES EN INTERACTIONS AVEC LES ELEVAGES MARINS.....	266
EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES SCHEMAS RELATIFS A L'AQUACULTURE MARINE (SCHEMAS DES STRUCTURES D'EXPLOITATION DES CULTURES MARINES ET SCHEMAS REGIONAUX DE DEVELOPPEMENT DE L'AQUACULTURE MARINE)	272
VEILLE SUR LES INNOVATIONS ZOOTECHNIQUES POUR LES ELEVAGES MARINS.....	278
INFORMATION ET SENSIBILISATION SUR LES INTERACTIONS ENTRE ENVIRONNEMENT MARIN ET AQUACULTURE MARINE.....	282
BIBLIOGRAPHIE	287
LEXIQUE.....	305
ANNEXES.....	307
DESCRIPTION DES HABITATS DES CAHIERS D'HABITATS NATURA 2000	307
CARTES DE REPARTITION DES ESPECES NATURA 2000 (HORS ESPECES D'OISEAUX).....	312
Liste des especes d'interet communautaire de la directive « Oiseaux » potentiellement concernees par les activites de cultures marines.....	314
DESCRIPTION DETAILLEE DES PRESSIONS RECENSEES PAR L'UMS PATRIMOINE NATUREL	316

PREFACE

Un 1^{er} référentiel technico-économique pour la gestion des sites Natura 2000 a été élaboré en 2009 par l'Agence des aires marines protégées avec l'appui des Ministères en charge de l'écologie, de l'aquaculture ainsi que les organisations professionnelles, les gestionnaires d'aires marines protégées et les scientifiques. Ce document a fait l'objet d'un travail d'actualisation en 2018-20 par l'Office français de la biodiversité dans le cadre de l'action C5 « Renforcer l'implication des secteurs d'activités » du projet Life intégré Marha. Au regard de l'évolution des politiques environnementales, deux documents distincts sont aujourd'hui proposés :

- Le premier concerne le contexte national et européen de l'encadrement des activités de cultures marines, c'est-à-dire les institutions administratives et professionnelles et la réglementation en vigueur. Il peut servir d'aide à la gestion et à la mise en œuvre des politiques publiques environnementales à différentes échelles : nationale, des façades maritimes et des aires marines protégées (dont les sites Natura 2000).
- La deuxième partie du référentiel s'intéresse aux pressions potentielles exercées par ces activités sur les écosystèmes marins et littoraux et liste des propositions de mesures environnementales qui peuvent assurer le maintien ou le rétablissement dans un bon état de conservation des habitats et des espèces Natura 2000. Si ce second document peut servir au-delà des sites Natura 2000 (notamment sur la question de la description des pressions générées par les différentes activités de cultures marines), il se focalise sur les interactions des activités d'aquaculture marine avec les habitats et les espèces des directives « habitats-faune-flore » et « oiseaux » (habitats et espèces Natura 2000).

Ces deux documents sont susceptibles de servir de support ou d'être utilisés pour aider / accompagner :

- A la rédaction ou à la révision :
 - Des documents d'objectifs élaborés par les comités de pilotage des sites Natura 2000 en mer (DOCOB).
 - Des parties environnementales des schémas régionaux de développement de l'aquaculture marine (SRDAM) et des schémas des structures des exploitations de cultures marines (SSECM).
- Pour la prise en compte des enjeux environnementaux relatifs à l'aquaculture marine :
 - Dans les demandes d'autorisation d'exploitation de cultures marines (AECM).
 - Dans les études d'impacts relatives aux installations classées pour l'environnement concernées par ces activités (ICPE) ou les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements des exploitations soumis à la loi sur l'eau (IOTA).
 - Dans tous les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements des exploitations (e.g. entretien / réaménagement des concessions, réhabilitation des friches conchylicoles) sur le domaine public maritime ou sur la frange littorale au sein ou non d'une aire marine protégée (réserve naturelle, parc naturel marin, site Natura 2000, etc.).
 - Dans les dérogations relatives à l'effarouchement ou à la destruction d'espèces protégées.
 - Les travaux de planification de l'espace maritime (documents stratégiques de façade).
 - Et de manière générale, dans une optique de développement et d'exploitation durable des activités d'aquaculture marine.

INTRODUCTION

Les activités humaines qu'elles soient terrestres ou maritimes peuvent générer des pressions sur les écosystèmes côtiers et marins et mettre en péril les services écosystémiques¹ qu'ils offrent (Millennium Ecosystem Assessment 2005b). Il est aujourd'hui nécessaire que la mise en œuvre des politiques publiques prennent en compte les enjeux liés à la préservation de l'environnement marin dans un objectif de développement durable des activités (*i.e.* « un développement qui subviennne aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à assurer leurs propres besoins » (Brundtland 1987)²). En effet, une chute trop élevée de la biodiversité est en mesure de compromettre fortement, entre autres, la productivité des écosystèmes (Duffy *et al.* 2017) avec les conséquences néfastes que cela peut avoir sur la sécurité mondiale (Ehrlich & Ehrlich 2013).

Un ensemble de conventions internationales, directives et/ou règlements européens et législations nationales ou locales³, ont pour objet la réduction de l'empreinte écologique de nos activités sur la biosphère et limiter leurs effets négatifs pour les générations futures. Concernant les écosystèmes marins et côtiers, au niveau européen et national, plusieurs programmes et outils juridiques exclusifs ou non à ces milieux ont pour finalité de réduire les impacts anthropiques. Quatre directives européennes en sont caractéristiques : la directive « oiseaux » (DO) (1979 puis 2009) et la directive « habitat-faune-flore » (DHFF) (1992) qui ont permis la mise en place du réseau européen Natura 2000 (cf. II.F.1.a. du tome 1) ; la directive cadre sur l'eau (DCE) (2000) et la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) (2008) (cf. II.F.1.b. du tome 1). A celles-ci s'ajoutent plusieurs directives concernant l'encadrement de certaines activités, plans et programmes pouvant avoir des incidences notables sur l'environnement (cf. II.F.2.a. du tome 1) ou bien encore la gestion des déchets (cf. II.F.9. du tome 1), la lutte contre les espèces exotiques envahissantes (cf. II.F.7. du tome 1), la planification de l'espace maritime (cf. II.F.1.b. du tome 1), etc. Au niveau national, le panel des différents types d'aires marines protégées offre une variété d'outils juridiques (parc naturel marin, réserve naturelle, zone de protection biotope, etc.) afin d'améliorer la prise en compte des enjeux relatifs à la préservation des espèces et des habitats marins (cf. II.F.1.a. du tome 1). Aussi, certains plans, programmes et autorisations doivent être rendus cohérents d'un point de vue environnemental avec les éléments cités ci-dessus comme c'est le cas pour les schémas régionaux de développement de l'aquaculture, les schémas d'exploitation des structures de cultures marines ou encore les autorisation d'exploitation de cultures marines (cf. II.A. et II.B. du tome 1).

En définitif, l'objectif est d'atteindre ou de maintenir un état de conservation favorable (ECF) pour les habitats et espèces Natura 2000 (terminologie de la DHFF) / un bon état écologique (BEE) des écosystèmes marins (terminologie DCSMM).

¹ « Les bénéfices que les peuples obtiennent de la part des écosystèmes. Ceux-ci incluent des services d'approvisionnement comme la nourriture et l'eau ; des services de régulation comme la limitation des inondations, des sécheresses, de la dégradation des habitats et des maladies ; des services supports comme la formation des sols et le recyclage des nutriments ; et des services culturels qu'ils soient récréatifs, spirituels et religieux et d'autres bénéfices non matériels » (Millennium Ecosystem Assessment 2005b).

² Concept décliné en 17 objectifs par l'ONU dont « Conserver et utiliser durablement les océans, les mers et les ressources marines pour un développement durable » <https://sustainabledevelopment.un.org/>

³ e.g. convention RAMSAR relative aux zones humides d'importance internationales (1971) ; convention CITES sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacés d'extinction (1973) ; convention de Barcelone sur la protection de la mer Méditerranée contre la pollution (1976) ; accords de Paris sur le climat (2016) ; loi sur l'eau (1992) ; etc.

Ainsi, après la partie décrivant l'encadrement institutionnel et réglementaire des activités d'aquaculture marine, cette seconde partie du référentiel « cultures marines » s'articule autour de trois sections :

- Une présentation des habitats marins et des espèces Natura 2000 concernés ;
- Les interactions potentielles entre ces activités et les écosystèmes marins ;
- Les mesures de gestion qui peuvent être mises en place pour réduire les pressions établies.

La première partie liste les habitats, les espèces ou les groupes d'espèces Natura 2000 pouvant être potentiellement impactés par les activités d'aquaculture marine. Elle précise aussi les liens entre la typologie des cahiers d'habitats Natura 2000 (Bensettiti *et al.* 2004) et les typologies d'habitats marins benthiques développées par l'UMS Patrinat (Michez *et al.* 2014, 2019a). En effet, ces dernières présentent une complétude et un niveau de précision plus élevé, finesse nécessaire à la pertinence des évaluations relatives aux pressions exercées sur les habitats.

La seconde partie présente les méthodologies utilisées pour établir les effets potentiels de l'aquaculture marine sur les habitats et les espèces Natura 2000 susceptibles d'y être exposés ainsi que les définitions nécessaires à la compréhension de la démarche. Elle se poursuit par l'identification des pressions générées par les activités, d'une part, avec le milieu marin en général, et d'autre part, pour chacune des espèces et des habitats protégés au sens des directives communautaires « habitats-faune-flore » et « oiseaux » (cf. II.F.1.a. du tome 1).

Ensuite, les fiches activités décrivent les pressions générées par chaque type d'activité de cultures marines et précise les interactions entre des activités de cultures marines spécifiques et les habitats et les espèces avec un focus sur celles et ceux permettant de justifier la désignation de sites Natura 2000.

La dernière partie propose des fiches « Mesures / actions / retours d'expériences » pour limiter les pressions des activités de cultures marines sur les milieux marins. Quelle que soit leur nature, ces mesures / actions relatives aux élevages marins permettent par leur mise en œuvre de contribuer au maintien ou à la restauration de l'état de conservation favorable des habitats et des espèces, entre autres, pour les sites désignés au titre de l'une ou l'autre des directives européennes « habitats-faune-flore » et « oiseaux ». Toutefois, la pertinence des actions proposées dans ce document est à analyser au regard du contexte local.

MODALITES D'USAGE DU REFERENTIEL

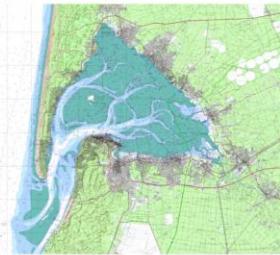
La figure ci-dessous schématise la manière dont il est possible d'utiliser ce référentiel dans différents contextes pour lesquels les pressions potentiels de l'aquaculture marine sur les habitats marins et les espèces marines doivent être prises en compte.

Pour chaque contexte (territoire; type d'activité; plan, autorisation ou schéma concernés, etc.), il existe des spécificités réglementaires (cf. tome 1)



Elaboration ou révision de schéma régional de développement de l'aquaculture marine / schéma des structures d'exploitation des cultures marines
 Installation d'aquaculture marine (AECM, ICPE, AOT, évaluation d'incidence N2000)
 Ecriture ou animation d'un document d'objectifs Natura 2000
 Plan de gestion de parc naturel marin, de réserve naturelle, etc.

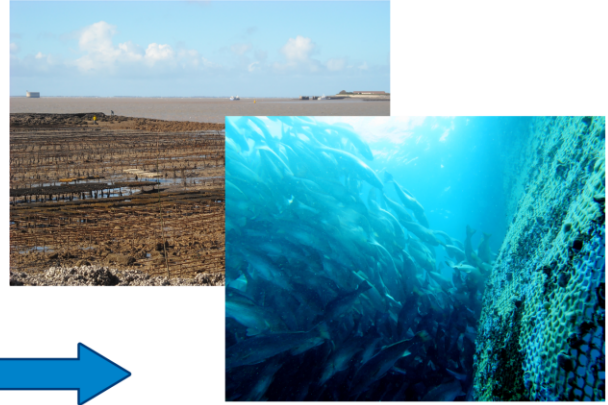
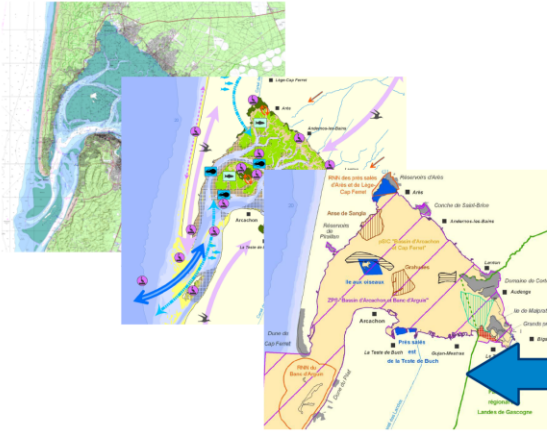
Ces documents concernent un territoire plus ou moins vaste hébergeant un ou plusieurs types d'aquaculture marine (cf. tome 2)



Ce territoire est composé d'une mosaïque d'habitats abritant des espèces



Ce territoire est potentiellement inclus dans ou comprend une / ou plusieurs aires marines protégées (AMP)

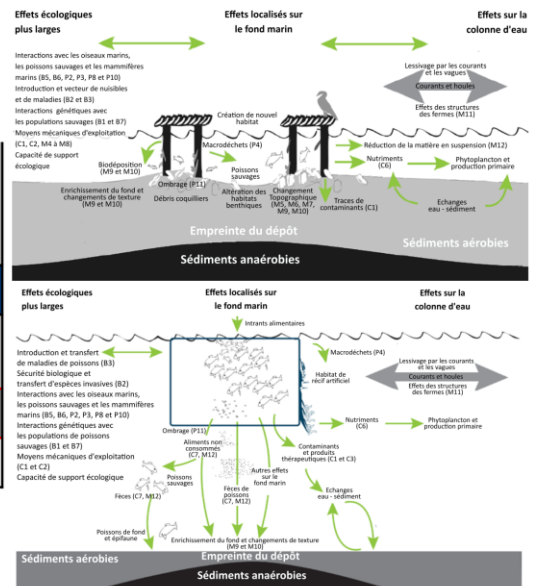


Première approche des pressions potentielles par le biais des fiches activités et de la partie sur les pressions potentielles de l'aquaculture marine

Analyse locale 1
Adaptation au contexte environnemental local: sélection des habitats, des espèces et des pressions potentiellement concernés

Synthèse de la vulnérabilité⁵ et de la vulnérabilité potentielle⁶ des habitats aux pressions relatives à la pisciculture marine en cage

		Perte physique ⁵	Perturbations physiques des fonds marins ⁵	Modification des conditions hydrologiques ⁵	Apports d'autres formes d'énergie ⁶	Apports de nutriments ⁶	Apports de matières organiques ⁶	Désoxygénation (C6) ⁶
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine							
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (AlI) Fraction de sables grossiers et graviers	Fort	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Modérée
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (AlI) Fraction maërl	Fort	Fort	Fort	-1	-1	Fort ¹	Fort ¹
1110-4	Sables mal triés (AlI)	Fort	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible



Nécessité socio-économiques des entreprises
(accès, productivité, conflits d'usage, etc.)

Analyse locale 2
Optimisation pour permettre un développement durable des activités

Zones potentielles pour l'aquaculture marine
Mesures ou actions de gestion adaptées pour éviter, réduire et limiter les pressions identifiées

I. HABITATS ET ESPECES NATURA 2000

I.A. IDENTIFICATION DES HABITATS ET ESPECES NATURA 2000 SUSCEPTIBLES D'ETRE EN INTERACTION AVEC LES ACTIVITES D'AQUACULTURE MARINE

Le recensement des habitats et des espèces Natura 2000 susceptibles d'être soumis à des pressions relatives aux activités de cultures marines a été réalisé à partir de l'analyse des cahiers d'habitats Natura 2000 élaborés par le Muséum National d'Histoire Naturelle (Bensettiti & Gaudillat 2002; Bensettiti *et al.* 2004; MEDDTL 2012) en lien avec les typologies des habitats marins benthiques développées l'UMS Patrimoine Naturel (AFB/CNRS/MNHN) (Michez *et al.* 2014, 2019b). Aussi, le tome 2 « *Les habitats et les espèces Natura 2000 en mer. Référentiel pour la gestion des activités de pêche professionnelle, cultures marines, sports et loisirs en mer dans les sites Natura 2000 en mer* » (Le Fur *et al.* 2009) a servi de base pour l'écriture initiale de cette partie du référentiel (Ragot 2009). Ce document rassemble des fiches de synthèse réalisées pour neuf habitats marins génériques⁴ et chacune des espèces (sept espèces de poissons, cinq de mammifères et une de tortues) ou groupes d'espèces d'oiseaux justifiant la désignation de sites du réseau Natura 2000 en mer. Chaque fiche propose une description de l'habitat ou de l'espèce, rappelle son état de conservation et les menaces générales qui le / la concerne. Dans ces fiches, sont également précisés les types d'élevages marins pouvant générer des pressions sur l'espèce ou l'habitat. Concernant les oiseaux, les groupes précédemment établis sont caducs et ont été remplacés par les groupes décrits dans l'arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines et aux normes méthodologiques d'évaluation.

A.1. HABITATS

Le tableau 1 liste les habitats⁴ Natura 2000, il comprend neuf habitats génériques et quarante-cinq habitats élémentaires dont vingt et un sur la façade Méditerranée et vingt-quatre sur la façade Atlantique, Manche et Mer du Nord. Une description partielle de ceux-ci est fournie en annexe p. 307.

La typologie des cahiers habitats Natura 2000 ne décline pas la totalité des habitats pouvant correspondre à des habitats d'intérêt communautaire de la directive « DHFF » et ne couvrent pas l'ensemble des habitats marins des eaux métropolitaines. Ainsi, afin de définir un langage commun pour la mise en œuvre des politiques publiques de conservation et pour réaliser un inventaire exhaustif des habitats présents en France métropolitaine, l'UMS PatriNat a établi une typologie nationale des habitats marins benthiques pour chaque façade (Michez *et al.* 2014, 2019b)⁵.

La méthodologie pour l'évaluation de la sensibilité (cf. II.A.2) des habitats benthiques aux pressions anthropiques (La Rivière *et al.* 2015) précise que l'unité d'habitat définie comme le niveau correspondant à une *biocénose*⁶ est le niveau pertinent d'un point de vue écologique⁷

⁴ Ils peuvent être génériques ou élémentaires. Ces premiers sont mentionnés dans la directive « Habitats » et ont été définis plus précisément dans le *Manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne* (version EUR 28) (European Commission - DG environnement 2013). Les habitats génériques sont communs à l'échelle européenne. Dans un souci de précision, quand cela été nécessaire, les habitats génériques sont déclinés en habitats élémentaires, ce travail a été effectué à l'échelle nationale.

⁵ <https://inpn.mnhn.fr/programme/referentiel-habitats>

⁶ Groupement d'organismes vivants, liés par des relations d'interdépendance dans un biotope dont les caractéristiques dominantes sont relativement homogènes ; chaque biocénose comprend notamment la phytocénose, limitée aux végétaux, et la

pour réaliser les évaluations. Les correspondances entre les habitats Natura 2000 et les habitats de la typologie nationale sont disponibles sur le site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel⁶. Des tableaux disponibles sur ce site donnent la sensibilité des habitats des cahiers d'habitats Natura 2000 aux pressions physiques et ont servi de base à cette évaluation. Ceux-ci comportent quelques habitats divisés en sous-unités ayant fait l'objet d'une évaluation spécifique et sont donc inclus dans l'analyse (1110-1, 1110-3, 1110-6, 1110-7, 1140-3, 1140-10, 1160-2, 1170-12 et 1170-13).

Les grottes marines submergées ou semi-submergées (8330-1, 2, 3 et 4) constituent des habitats confinés qui ont été considérés comme hors d'atteinte d'une quelconque pression issue de l'aquaculture marine. L'habitat « structures sous-marines causées par des émissions de gaz » (1180), est mal connu, sa sensibilité aux pressions issues de l'aquaculture marine n'a pas pu être confirmée ou infirmée. Ainsi, même s'ils sont présents dans le tableau 1, ces habitats ont été retirés des évaluations réalisées dans ce document.

Tableau 1 : clé de détermination des habitats marins au niveau générique et caractères discriminants (Bensettiti *et al.* 2004). Les habitats élémentaires y sont aussi rapportés. Les * indiquent les habitats prioritaires⁹.

Code UE	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Caractères discriminants (Bensettiti <i>et al.</i> , 2004)
Eaux marines et milieux à marées		
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine	Submergés de façon permanente et jusqu'à la limite inférieure considérée (infralittoral) - sables et gravier
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique)	
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique)	
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée)	
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*	Occupés par les herbiers à Posidonies en Méditerranée
1120-1	Herbiers à Posidonies*	
1130	Estuaires	Milieux à salinité variable (hypohalin) soumis à des apports d'eau douce par les fleuves et rivières
1130-1	Slikke en mer à marées	
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse	Humectés par les embruns (supralittoral) ou recouverts à haute mer (médiolittoral)
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique)	
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	

zoocénose, limitée aux animaux. Sans être vraiment superposables à la notion de biocénose, celles de communauté et d'association au sens phytosociologique en sont très proches (Michez *et al.* 2011).

⁷ Prend en compte à la fois la composante biotique et abiotique.

⁸ <https://inpn.mnhn.fr/telechargement/referentiels/habitats/correspondances>

⁹ Directive 92/43/CEE du conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages.

« Types d'habitats naturels en danger de disparition présents sur le territoire [européen des États membres où le traité s'applique] et pour la conservation desquels la Communauté porte une responsabilité particulière, compte tenu de l'importance de la part de leur aire de répartition naturelle comprise dans le territoire [européen des États membres où le traité s'applique]. »

Code UE	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Caractères discriminants (Bensettiti et al., 2004)
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse (suite)	Humectés par les embruns (supralittoral) ou recouverts à haute mer (médiolittoral)
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	
1150	Lagunes côtières*	Milieux à salinité variable (hypo- et hyperhalin) peu profonds et sans communication directe avec la mer ou avec une communication réduite ou sporadique
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	
1160	Grandes criques et baies peu profondes	Submergés de façon permanente et jusqu'à la limite inférieure considérée (infralittoral) - sédiments envasés des milieux semi-fermés
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux. Bancs de maerl (façade atlantique)	
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	
1170	Récifs	Faciès rocheux et récifs d'origine biogène (Hermelles, Coralligène)
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée)	
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	
1180	Structures sous-marines causées par des émissions de gaz	
	Habitats rocheux et grottes	
8330	Grottes marines submergées ou semi-submergées	Grottes marines immergées ou ouvertes à basse mer
8330-1	Grottes en mer à marée (façade atlantique)	
8330-2	Biocénoses des grottes médiolittorales (Méditerranée)	
8330-3	Biocénoses des grottes semi-obscurées (Méditerranée)	
8330-4	Biocénoses des grottes obscures (Méditerranée)	

A.2. ESPECES

La liste des espèces et des groupes d'oiseaux justifiant la désignation de sites du réseau Natura 2000 en mer pouvant être concernés par les activités de cultures marines est donnée dans le tableau 2. Par rapport à la 1^{ère} version de ce document (Ragot 2009), la tortue verte, *Chelonia mydas*¹⁰, a été retirée des analyses celle-ci étant très rare dans les eaux métropolitaines (Kasperek *et al.* 2001; Casale & Argano 2003; Oliver 2009; com. pers. B. Guichard). Aussi, les groupes d'oiseaux définis dans Le Fur *et al.* (2009) ont été remplacés par les groupes d'oiseaux formalisés dans l'arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines et aux normes méthodologiques d'évaluation (décision 2017/848/UE¹¹). En effet, ces groupes sont plus cohérents avec le préférendum écologique d'habitats de ces espèces. La liste complète des 86 espèces d'oiseaux concernées et leur regroupement sont détaillées dans l'annexe p. 314. Vingt-neuf de ces espèces d'oiseaux sont inscrites dans l'annexe I de la directive « oiseaux », les autres concernent des espèces migratrices dont la venue est régulière en France métropolitaine¹².

Tableau 2 : liste des espèces Natura 2000 justifiant la désignation de sites du réseau Natura 2000 en mer et groupe d'oiseaux potentiellement concernés par des interactions avec l'aquaculture marine. Les aires de répartition des espèces ou groupes d'espèces sont définis à partir du site de l'INPN (<https://inpn.mnhn.fr>) (e.g. cf. annexe p. 313). Les * indiquent les espèces prioritaires¹³.

Espèces d'intérêt communautaire (DHFF)			Aire de répartition		
Code N2000	Nom vernaculaire	Nom	Atl.	M-MdN	Méd.
1095	Lamproie marine	<i>Petromyzon marinus</i> Linnaeus, 1758	x	x	x
1099	Lamproie de rivière	<i>Lampetra fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	
1101	Esturgeon*	<i>Acipenser sturio</i> Linnaeus, 1758	x		
1102	Grande alose	<i>Alosa alosa</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	
1203	Alose feinte	<i>Alosa fallax</i> (Lacepède, 1803)	x	x	
1106	Saumon atlantique	<i>Salmo salar</i> Linnaeus, 1758	x	x	
1152	Aphanius de Corse	<i>Aphanius fasciatus</i> (Valenciennes, 1821)			x
1224	Tortue caouanne*	<i>Caretta caretta</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	x
1349	Grand dauphin	<i>Tursiops truncatus</i> (Montagu, 1821)	x	x	x
1351	Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	
1355	Loutre d'Europe	<i>Lutra lutra</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	x
1364	Phoque gris	<i>Halichoerus grypus</i> (Fabricius, 1791)	x	x	
1365	Phoque veau marin	<i>Phoca vitulina</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	

¹⁰ (Linnaeus, 1758).

¹¹ Décision (UE) 2017/848 de la Commission du 17 mai 2017 établissant des critères et des normes méthodologiques applicables au bon état écologique des eaux marines [...], et abrogeant la directive 2010/477/UE.

¹² Art. 4-2. de la directive 2009/147/CE du parlement européen et du conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages.

¹³ Directive 92/43/CEE du conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages. « Les espèces [en danger] et pour la conservation desquelles la Communauté porte une responsabilité particulière compte tenu de l'importance de la part de leur aire de répartition naturelle comprise dans le territoire [européen des États membres où le traité s'applique]. »

II. INTERACTIONS ENTRE LES ACTIVITES ETUDIEES ET LES ECOSYSTEMES MARINS

II.A. METHODE D'EVALUATION DES INTERACTIONS

A.1. ETAT DE L'ART

Ces dernières décennies, de nombreuses études ont été menées sur les interactions existantes entre les activités aquacoles marines et les écosystèmes marins à travers le monde. Pour la présente étude, l'identification et la caractérisation de ces interactions a été menée en premier lieu sur une base bibliographique. La rédaction initiale de ce référentiel s'est d'abord basée sur un rapport réalisé par le bureau d'études Poséidon, pour la DG Pêche (Huntington *et al.* 2006) et, pour cette actualisation, sur des synthèses scientifiques disponibles sur le sujet dans sa globalité, sur les différentes pressions et/ou sur les différents types d'aquaculture (*e.g.* Newell 2004; Forrest *et al.* 2007, 2009; Molnar *et al.* 2008; Dumbauld *et al.* 2009; Keeley *et al.* 2009; European Commission 2012; Ministry for Primary Industries 2013; Price & Morris 2013; Gallardi 2014; Glover *et al.* 2017; Price *et al.* 2017; Callier *et al.* 2018; Ferriss *et al.* 2019; Smaal *et al.* 2019).

Lors de la rédaction de la 1^e version de ce référentiel (2008-09), des experts en biologie et en écologie marine ont été consultés pour confronter les résultats de l'étude bibliographique au cas français, préciser certains points et valider l'ensemble. Dans le travail de réactualisation (2018-19), cette consultation fut plus succincte compte tenu des éléments déjà disponibles.

A.2. RISQUE D'IMPACT DES PRESSIONS ANTHROPIQUES SUR LES HABITATS ET LES ESPECES

De nombreuses publications traitent de l'impact des pressions anthropiques que ce soit sur la méthodologie et les définitions (*e.g.* Underwood 1992, 1994; Ellis & Schneider 1997), les études de cas (*e.g.* Holmer *et al.* 2008; Dumbauld *et al.* 2009; Andrieux-Loyer *et al.* 2014; Drouin *et al.* 2015) ou des revues bibliographiques (*e.g.* Olesiuk *et al.* 2010; Price *et al.* 2015; Glover *et al.* 2017; Callier *et al.* 2018; Ferriss *et al.* 2019).

L'objectif ici est d'établir un lien entre un habitat ou une espèce spécifique et une pression potentiellement générée par une activité d'aquaculture marine donnée afin de déterminer le risque d'impact sur l'habitat ou l'espèce considéré. Cette démarche théorique est résumée dans la figure 1.

L'évaluation de la sensibilité d'un habitat ou d'une espèce fait appel à des paramètres qu'il est difficile d'établir sans une connaissance exhaustive à la fois des caractéristiques de l'habitat ou de l'espèce (cf. II.A.3.h) et de la pression à prendre en compte (cf. II.A.4). A ce titre, il est nécessaire de mobiliser de nombreux experts pour réaliser et/ou valider les évaluations. Un indice de confiance est déterminé en fonction des sources utilisées pour l'évaluation et reflète la robustesse et la qualité de celle-ci (cf. p. 13 dans La Rivière *et al.* 2015). A ce jour, les travaux nationaux les plus avancés présentant une synthèse validée scientifiquement ne concernent que les pressions physiques sur les habitats benthiques (cf. II.A.4). La sensibilité des habitats aux autres pressions et la sensibilité des espèces aux différentes pressions n'ont pas encore fait l'objet d'une synthèse utilisable pour notre étude.

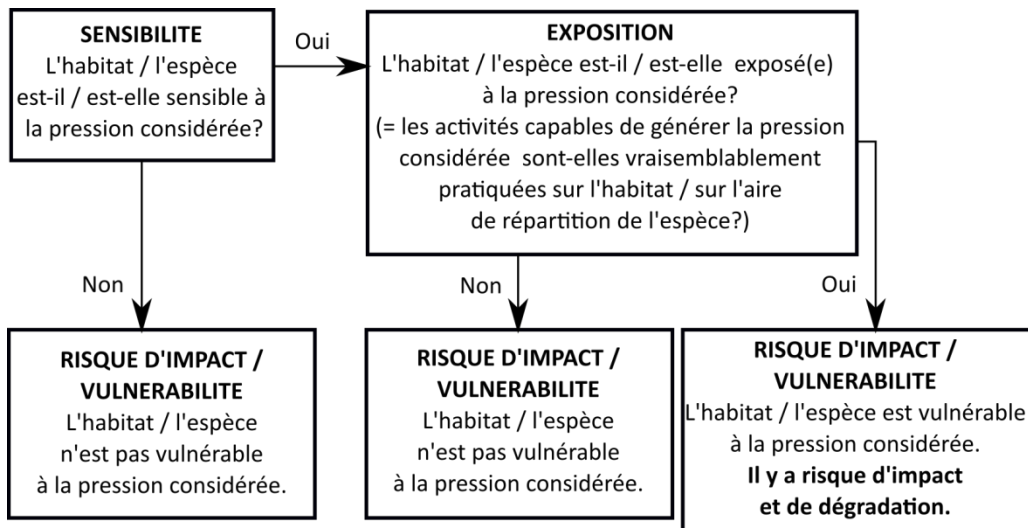


Figure 1 : schématisation de la relation entre sensibilité, exposition et risques d'impact (= vulnérabilité) (d'après La Rivière *et al.* 2015).

De ce fait, cette partie du document s'appuiera sur trois démarches :

- La première méthode qui est décrite dans La Rivière *et al.* (2015) et mise en application dans La Rivière *et al.* (2016, 2017). Elle concerne **la sensibilité des habitats benthiques aux pressions physiques** (cf. II.A.4).
- La deuxième démarche s'appuie sur la méthode décrite dans La Rivière *et al.* (2015) mais sans travaux décrivant précisément **la sensibilité des habitats aux pressions biologiques et celles relatives aux substances, aux déchets et aux énergies** (cf. II.A.4), il a été nécessaire de s'appuyer sur la bibliographie (cf. II.A.1) et les échanges avec les professionnels, les gestionnaires et les scientifiques.
- La troisième démarche concerne les espèces avec une évaluation directe **d'un risque d'interaction** en s'appuyant sur la bibliographie et les échanges avec les professionnels, les gestionnaires et les scientifiques.

Ces deux dernières analyses sont donc moins fines et robustes pour les espèces et les pressions « non physiques » que pour les pressions physiques exercées sur les habitats benthiques.

A.3. DEFINITIONS

En préambule de la description des pressions potentiellement exercées par les activités de cultures marines et pour expliciter les éléments cités en amont, il convient de définir les termes employés.

3.a. Espèce, métapopulation et population animale / végétale

Concernant les pressions et leurs effets potentiels sur les espèces, il convient de rappeler certaines définitions afin de savoir à quelle(s) échelle(s) les conséquences d'une activité peuvent s'exprimer.

- Une espèce est un ensemble d'êtres vivants possédant des caractères anatomiques, morphologiques et physiologiques communs, qui reproduisent entre eux des êtres semblables et également féconds¹⁴.

¹⁴ <http://www.cnrtl.fr/definition/esp%C3%A8ce/substantif>

- Une population est l'ensemble des individus d'une même espèce trouvés dans une station donnée, de sorte qu'il y a presque certitude pour qu'ils soient apparentés¹⁵.
- Une métapopulation est un ensemble de populations d'une même espèce réparties dans l'espace, entre lesquelles il existe des échanges plus ou moins réguliers et importants d'individus¹⁶.

Une évaluation des incidences ou une étude d'impact doit s'attacher à ces différentes échelles (espèce, population et méta-population). Ce document s'intéressant à l'évaluation des impacts potentiels de pressions qui s'exercent prioritairement à l'échelle d'habitats et de sites présentant des surfaces restreintes (DOCOB, SSECM, AECM), voire à l'échelle de plusieurs sites (SRDAM), les pressions porteront donc le plus souvent sur les populations mais elles peuvent dans certains cas affecter les méta-populations voire les espèces. Effectivement, aux échelles citées et dans le milieu ouvert que sont les mers et les océans (et les airs dans le cas de l'avifaune), les échanges de gènes¹⁷ entre / ou au sein de populations sont susceptibles d'impliquer qu'une pression puisse avoir une influence sur des méta-populations, voire sur une espèce. Ainsi, dans ce document nous utiliserons le terme « population » mais cela n'exclut pas d'évaluer les effets aux autres échelles en fonction des espèces considérées.

3.b. Pressions

Les pressions peuvent être d'origine anthropiques (e.g. pollutions aux hydrocarbures, introduction d'espèces non-indigènes, etc.) ou naturelles (e.g. tempêtes, submersions marines, etc.) et peuvent perturber les caractéristiques biotiques de l'habitat ou de l'espèce et/ou abiotiques de l'habitat. La figure 2 propose un schéma conceptuel des différentes sources de pression et leurs impacts potentiels sur les habitats ou sur une population.

Aussi, lorsque plusieurs pressions s'exercent en même temps sur un habitat ou une population, il s'agit de pressions concomitantes. Celles-ci peuvent alors interagir et avoir différents effets : additif (effet AB = effet A + effet B) ; synergique (effet de AB supérieur aux effets additionnés des pressions A et B) ou antagoniste (effet de AB inférieur aux effets additionnés des pressions A et B). Néanmoins, le manque de connaissances sur ces interactions limite l'évaluation des effets des pressions concomitantes sur les habitats (La Rivière *et al.* 2015) ou sur les populations.

¹⁵ <http://www.cnrtl.fr/definition/population/substantif>

¹⁶ <http://www.conservation-nature.fr/article1.php?id=211>

¹⁷ La majorité des espèces marines présente un stade de vie larvaire planctonique dont la résultante est une dispersion plus ou moins importante des individus au gré des courants marins. De plus, certaines espèces sont vagiles au stade adulte comme c'est le cas pour toutes les espèces Natura 2000 présentées dans ce document. Néanmoins, les conditions d'hydrodynamismes et le comportement larvaire peuvent aussi limiter l'interconnectivité entre populations (e.g. Levin 2006; Cowen & Sponaugle 2009).

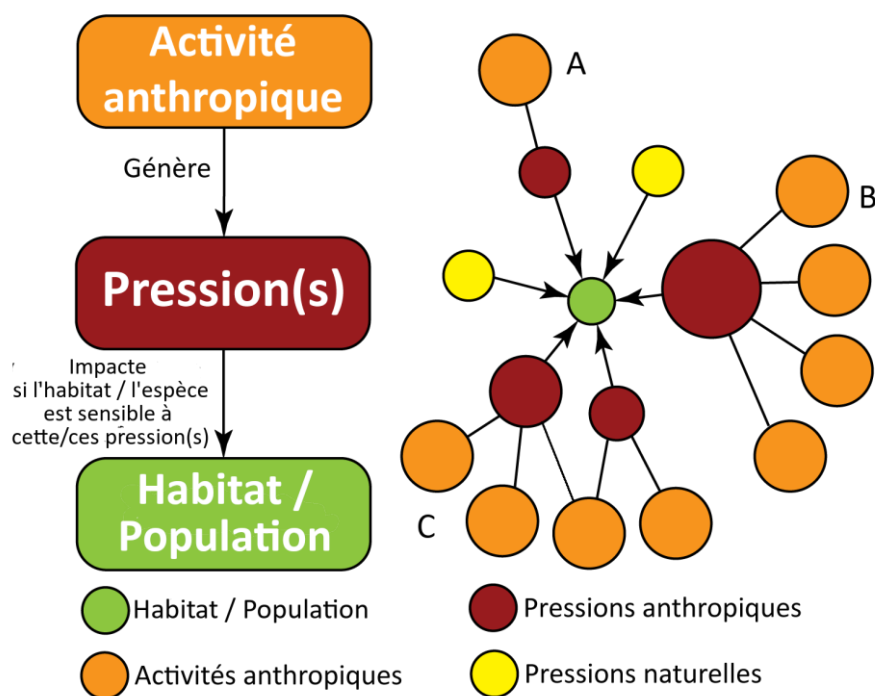


Figure 2 : schéma conceptuel des différentes sources de pressions pouvant impacter un habitat ou une population dans trois cas de figures différents (A, B et C). Plusieurs activités anthropiques (cercles oranges) peuvent engendrer différentes pressions (cercles rouges). La taille du cercle représentant la pression indique la probabilité que la pression ait un impact sur l'habitat ou la population (cercle vert). Plus le nombre d'activités engendrant la pression est élevé, plus la pression est susceptible d'impacter l'habitat ou la population (s'il (elle) y est sensible). A : cas d'une seule activité qui engendre une seule pression. B : cas de plusieurs activités qui engendrent plusieurs pressions. C : cas de plusieurs activités qui engendrent la même pression. Les cercles jaunes représentent les pressions naturelles qui s'exercent sur l'habitat ou population (modifié d'après La Rivière *et al.* 2015 traduite et adaptée d'autres références).

3.c. Amplitude

Dans le cas de l'aquaculture marine, l'amplitude d'une pression se définit comme la composante de l'intensité de pression qui dépend du type d'espèces élevées (e.g. moules, bars, macroalgues), des engins (e.g. plates / chalands, tracteurs, herses) et des infrastructures employés (e.g. cages, tables, filières). C'est une notion relative de l'amplitude des pressions entre les différents types d'aquaculture les uns par rapport aux autres.

Par exemple, à unité de production comparable (e.g. 1 tonne de bars *versus* 1 tonne d'huitres), l'amplitude de la pression « Modification des apports en nutriments » sera plus importante dans le cas de la pisciculture marine en cages que pour l'élevage d'huitres sur tables (figure 5).

3.d. Intensité

Dans le cas de l'aquaculture marine, c'est la combinaison de l'amplitude, de l'étendue spatiale des cultures marines, des densités d'élevage, de la fréquence et de la durée de la pression considérée (adapté de La Rivière *et al.* 2015 et AFB *et al.* 2019). De ce fait, celle-ci ne peut être déterminée que lors de l'analyse locale des pressions relatives aux exploitations de cultures marines du territoire considéré.

Par exemple, le réaménagement d'une zone conchylicole à l'aide de moyens lourds (engins de chantier) présentera potentiellement des pressions de fortes amplitudes (e.g. tassement, abrasion, modification de la charge en particules, etc.) mais sera très peu fréquent et d'une

durée relativement courte. A l'inverse, la modification de la charge en particules consécutive au nourrissage journalier de poissons sera de faible amplitude et de courte durée mais très fréquente.

3.e. Exposition

C'est l'exercice d'une pression sur un habitat ou sur une population. Les niveaux d'exposition à une pression peuvent varier dans le temps (en fonction de la fréquence ou la durée selon lesquelles la pression s'exerce) et dans l'espace (en fonction de l'étendue de la pression) (La Rivière *et al.* 2015).

Par exemple, l'augmentation de l'activité ostréicole lors des fêtes de fin d'année augmente le niveau d'exposition des habitats et des populations aux pressions engendrées par la manutention sur les lieux de production durant cette période (*e.g.* émissions sonores des engins ; tassement par les tracteurs ; dérangement visuel des espèces ; etc.).

3.f. Résilience

Ce terme fait l'objet de nombreuses définitions dans la bibliographie (revue dans Planque *et al.* 2012). Dans ce document, la définition au sens de la DCSMM¹⁸, d'OSPAR¹⁹ et de la méthode d'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques maritimes (La Rivière *et al.* 2015) est retenue, **soit le temps nécessaire à la récupération d'un habitat ou d'une population, une fois que la pression impactante a cessé.** Selon Oliver *et al.* (2015), la résilience peut-être dépendante de multiples facteurs : variabilité génétique des populations ; structure du paysage ; connectivité entre les habitats ; hétérogénéité locale de l'habitat ; redondance des rôles fonctionnelles ; etc.

Le tableau 3 donne une échelle semi-quantitative en cinq catégories pour les habitats adaptée au temps de la gestion.

Tableau 3 : échelle semi-quantitative de résilience d'un habitat affecté par une pression (La Rivière *et al.* 2015).

Aucune	Faible	Modérée	Haute	Très Haute
> 25 ans	10-25 ans	2-10 ans	1-2 ans	< 1 an

Pour les populations des espèces concernées, il n'existe pas d'échelle équivalente. Néanmoins, il est possible de citer les principales caractéristiques qui vont influencer sur la résilience d'une population : **le nombre d'individus restant ; la connectivité avec d'autres populations ; et les traits d'histoire de vie de l'espèce** comme le taux de croissance, la taille et l'âge à maturité sexuelle, la fécondité (quantité et qualité), la durée de vie, etc.

Dans tous les cas, que ce soit pour un habitat ou une population, la résilience peut être influencée par l'intensité de la pression à l'origine de l'impact.

3.g. Résistance

C'est la capacité d'un habitat à **tolérer une pression sans modification notable de ses caractéristiques biotiques et abiotiques** (La Rivière *et al.* 2015). Le tableau 4 donne une échelle qualitative de la résistance d'un habitat à une pression.

¹⁸ Directive 2008/56/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre stratégie pour le milieu marin) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE).

¹⁹ Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est.

Tableau 4 : échelle qualitative de résistance d'un habitat à une pression (La Rivière *et al.* 2015).

Aucune	Faible	Modérée	Haute
<p>Destruction de l'habitat (ex. : suppression de l'habitat), en raison d'une perte totale de ses caractéristiques biotiques (ex. : disparition d'espèces clés ou caractéristiques) et abiotiques (ex. : disparition du substrat) pouvant entraîner une modification du type d'habitat.</p> <p>La perte peut par exemple se traduire par une réduction quasi-totale de la surface de recouvrement, de la densité ou de l'abondance des espèces clés ou caractéristiques.</p>	<p>Dégradation sévère de l'habitat, en raison d'une perte majeure des caractéristiques biotiques (ex. : déclin drastique des espèces clés ou caractéristiques) et abiotiques (ex. : dégradation importante du substrat) de l'habitat pouvant entraîner une modification du type d'habitat.</p> <p>La perte peut par exemple se traduire par une diminution de la surface de recouvrement, de la densité, de l'abondance dans des proportions moindres.</p>	<p>Modification notable des caractéristiques biotiques (ex. : déclin des espèces clés ou caractéristiques) et abiotiques (ex. : dégradation du substrat) de l'habitat sans risque de changement du type d'habitat.</p>	<p>Pas de modification notable des caractéristiques biotiques et abiotiques de l'habitat. Certains processus biologiques comme par exemple la nutrition, la respiration ou le taux de reproduction peuvent être perturbés, mais la viabilité des populations d'espèces clés ou caractéristiques n'est pas affectée.</p>

Dans le cas d'une population, la résistance est la capacité à **tolérer une pression sans modification notable des caractéristiques biologiques ou comportementales des individus et/ou de la dynamique de population.** Au même titre que pour les habitats, il est possible d'établir une échelle équivalente (tableau 5). Celle-ci est donnée à titre indicatif et n'a pas fait l'objet d'une validation scientifique.

Tableau 5 : échelle qualitative de résistance d'une population à une pression.

Aucune	Faible	Modérée	Haute
<p>Disparition de la population. La population locale a été détruite ou il ne reste plus suffisamment d'individus en capacité de se reproduire pour la reconstituer. La connectivité avec une population extérieure est insuffisante ou inexistante.</p>	<p>Affaiblissement sévère de l'état de santé de la population. Les conséquences de la pression engendrent une atteinte grave aux caractéristiques de la population (ex : nombre d'individus ; fécondité ; taux de survie). La population n'est pas nécessairement en mesure de subsister sans individus provenant d'une population extérieure.</p>	<p>La population présente des modifications notables de ses caractéristiques biologiques, comportementales et/ou de sa dynamique de population mais sans risque pour la pérennité de la population.</p>	<p>La population ne présente aucun indice significatif des effets d'une pression pouvant porter atteinte à la pérennité de la population.</p>

3.h. Sensibilité / sensibilité potentielle

Caractéristique intrinsèque d'un habitat ou d'une population définie par la combinaison de **sa capacité à tolérer une pression externe (résistance) et du temps nécessaire à sa récupération suite à une dégradation (résilience)** (La Rivière *et al.* 2015). Elle est conditionnée par des éléments clés de l'habitat ou de la population aussi bien biotiques qu'abiotiques. Le tableau 6 donne les valeurs de sensibilité pour les différentes combinaisons de score de résistance et de résilience d'habitats benthiques (pour la méthode, cf. La Rivière *et al.* 2015).

Tableau 6 : échelle semi-quantitative de sensibilité définie par la combinaison des scores de résistance et de résilience d'habitats (La Rivière *et al.* 2015).

Résilience \ Résistance	Aucune > 25 ans	Faible 10-25 ans	Modérée 2-10 ans	Haute 1-2 ans	Très haute < 1 an
Aucune	Très haute	Haute	Haute	Modérée	Faible
Faible	Haute	Haute	Modérée	Modérée	Faible
Modérée	Haute	Modérée	Modérée	Faible	Faible
Haute	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Très Faible

Les critères permettant d'évaluer la résistance, la résilience et par conséquent la sensibilité d'un habitat se basent sur (La Rivière *et al.* 2015) :

- La résistance et la résilience des espèces caractéristiques, structurantes et/ou ingénieurs²⁰ conditionnées par leurs traits d'histoire de vie :
 - La taille et la forme ;
 - La position sur le substrat (épigée ou enfouie) ;
 - La mobilité / la capacité de fuite (fixée de manière permanente, fixée de manière temporaire, fouisseuse, rampante, nageuse) ;
 - La profondeur par rapport à la surface du fond (érigée, faiblement enfouie, profondément enfouie) ;
 - La flexibilité et la fragilité ;
 - La dépendance au type de substrat ;
 - La dépendance au mode d'exposition hydrodynamique (battu ou calme) ;
 - La durée de vie, la vitesse de croissance ou de régénération, l'âge de la maturité sexuelle ;
 - Le mode et le taux de reproduction, la capacité de dispersion larvaire et le taux de recrutement, la capacité de multiplication végétative.
 - Le type de substrat ;
 - Les conditions hydrodynamiques ;
 - L'étendue bathymétrique de l'habitat.

Concernant les populations, les critères permettant d'évaluer leur sensibilité (*i.e.* résistance et résilience) à une pression sont nombreux et ont trait aux caractéristiques de l'espèce, de la population considérée et de(s) l'habitat(s) le(s) hébergeant (*e.g.* Jiguet *et al.* 2007; García *et al.* 2008; Öckinger *et al.* 2010; Pecl *et al.* 2014; Boyer 2016). A titre indicatif, les paramètres suivants peuvent être cités :

- Biologie de la population :
 - Taux de croissance des individus / longévité ;
 - Taille / âge à maturité sexuelle ;
 - Fécondité, temps de gestation / d'incubation ;
 - Durée du stade larvaire et dispersion potentielle ;
 - Tolérance et réponses physiologiques aux pollutions, aux variations de température, de pH, de salinité.
- Dynamique de la population :
 - Distribution et abondance de la population / dans l'aire de répartition ;
 - Connectivité au sein de la métapopulation / de l'espèce ;

²⁰ Espèce qui, par son activité naturelle, change le milieu où elle vit et crée un nouveau milieu qui lui est spécifique. C'est le cas de toutes les espèces qui génèrent leur propre habitat, comme le maërl, les coraux, les hermelles... (https://envlit.ifremer.fr/infos/glossaire/e/espece_ingenieur)

- Taux de survie / de renouvellement de la population ;
- Structure de la population (sex-ratio, distribution des classes d'âges) ;
- Diversité génétique.
- Comportement de la population / des individus :
 - Stratégie alimentaire (zone(s), qualité et quantité des aliments, niveau trophique) / de reproduction (zone(s), comportement, fréquence, etc.) ;
 - Comportements sociaux / élevage des jeunes ;
 - Mobilité, comportement migratoire / d'évitement.

L'absence de document directeur évaluant précisément²¹ la *sensibilité* que ce soit pour les populations des différentes espèces à l'ensemble des pressions ou pour les habitats aux pressions autres que les pressions « physiques » implique d'utiliser un autre vocabulaire. Ainsi, **le terme « *sensibilité potentielle* » est employé pour les évaluations habitats*pressions qui n'étaient pas disponibles auprès de l'UMS Patrinat** et ont été produites dans le cadre de ce travail, sur la base de la bibliographie disponible. Aussi, lorsque le projet Marlin avait évalué la sensibilité d'un habitat à l'une de ces pressions, c'est cette valeur de sensibilité qui a été reportée²². **Les évaluations ont concerné les pressions « substances, énergie et déchets » et biologiques pour les habitats** (cf. II.A.2). La gamme de valeur pour la *sensibilité potentielle* est réduite à trois valeurs au lieu de cinq, soit : « Faible », « Modérée » ou « Haute ».

3.i. Impact (= Effet)

Les *impacts* sont les conséquences d'une pression sur un habitat ou une population donnée. Pour un habitat, ils s'expriment sous forme d'une modification de ses caractéristiques biotiques et/ou abiotiques (La Rivière *et al.* 2015). Pour les populations, ils s'expriment sous forme d'une modification de la biologie et/ou du comportement des individus ainsi que de la dynamique de la population.

3.j. Risque d'impact (=vulnérabilité) sur les habitats / vulnérabilité potentielle des habitats

i Risque d'impact (=vulnérabilité) sur les habitats aux pressions physiques

C'est la combinaison de la probabilité d'*exposition* d'un habitat ou d'une population à une *pression* et de sa *sensibilité* face à cette pression (La Rivière *et al.* 2015) (figure 1). **Les termes *risque d'impact* ou *vulnérabilité* ne sont employés que dans le cadre des pressions physiques.**

ii Vulnérabilité potentielle des habitats aux pressions biologiques et « substances, déchets et énergie »

Au même titre que pour le point précédent (cf. II.A.3.h), l'absence de document directeur évaluant précisément la sensibilité aux pressions biologiques et « substances, déchets et énergie » nécessite l'usage d'un autre terme. **Ainsi, le terme de *vulnérabilité potentielle* est employé pour les habitats dans le cadre des évaluations se basant sur la *sensibilité potentielle* prédécrite.**

²¹ Dans La Rivière *et al.* (2015), des indices de confiance ont été assignés par les experts consultés aux trois paramètres de résilience, résistance et de sensibilité. Cet indice est évalué selon trois critères la qualité de l'information, l'applicabilité et la concordance.

²² Marine Life Information Network (<https://www.marlin.ac.uk/>).

3.k. Risque d'interaction des espèces avec les pressions

Compte tenu de l'absence de travaux proposant une évaluation de la sensibilité des espèces (cf. II.A.3.h), le **risque est qualifié de *risque d'interaction* afin de le différencier du *risque d'impact*** généré par les pressions physiques sur les habitats dont l'évaluation se base sur l'évaluation de la sensibilité des habitats **ou de la *vulnérabilité potentielle*** évaluée pour les pressions biologiques et « substances, déchets et énergie ». Le *risque d'interaction* est directement déterminé à partir des échanges avec les professionnels, les gestionnaires et les scientifiques ainsi que des éléments bibliographiques recueillis.

3.l. Capacités de support

Dans le contexte des activités de cultures marines, McKindsey *et al.* (2006) hiérarchisent les capacités de support en quatre catégories : **physique, de production, écologique et sociale.**

- La capacité de support physique se rapporte à la surface géographique disponible et physiquement adéquate pour un certain type d'aquaculture.
- La capacité de support de production fait référence à la quantité de biomasse possible afin de maximiser la production. Elle prend en compte la ressource trophique disponible et les modalités de production.
- La capacité de support écologique se rapporte au niveau de biomasse en élevage au-dessus duquel les impacts écologiques peuvent être considérés comme inacceptables. C'est-à-dire sans changement d'habitats et/ou d'espèces non souhaité par la société.
- La capacité de support sociale est le niveau le plus intégré et le plus complexe qui concilie les demandes de l'ensemble des usagers et les enjeux environnementaux (critères au cœur de la gestion intégrée des zones côtières). Il s'agit du niveau de biomasse en élevage au-delà duquel l'activité apparaît comme conflictuelle avec d'autres usages du littoral.

Ces deux dernières dépendent de la perception et de l'appréciation de la société de ce qui est « inacceptable ».

A.4. CATEGORIES DE PRESSIONS

Selon le tableau 2a de l'annexe III de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM)²³, les pressions potentielles exercées par les activités humaines dont l'aquaculture marine sur les écosystèmes marins sont divisées en trois grands thèmes : pressions physiques ; biologiques ; et substances, déchets et énergies. Ces pressions influent sur les 11 descripteurs d'état ou de pression relatifs au bon état écologique définie par la Directive (cf. II.F.1.B. du tome 1) :

- Biodiversité et habitats (benthiques et pélagiques) conservés (D1) ;
- Espèces non indigènes, introduites par le biais des activités humaines, contenues (D2) ;
- Stocks des espèces (poissons et crustacés) exploitées en bonne santé (D3) ;
- Éléments du réseau trophique marin abondants et diversifiés (D4) ;
- Eutrophisation réduite (D5) ;
- Intégrité des fonds marins préservée (D6) ;

²³ Directive 2008/56/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin modifiée par la directive 2017/845/UE du 17 mai 2017.

- Conditions hydrographiques non modifiées (D7) ;
- Contaminants dans le milieu sans effet néfaste sur les écosystèmes (D8) ;
- Contaminants dans les produits destinés à la consommation sans impact sanitaire (D9) ;
- Déchets marins ne provoquant pas de dommages (D10) ;
- Introduction d'énergie (source sonore sous-marine incluse) marine non nuisible (D11).

Le tableau 7 détaille ces thèmes et les catégories de pressions sous-jacentes ainsi que les correspondances avec les pressions définies par l'UMS PatriNat pour l'évaluation de la sensibilité des habitats, et leurs définitions.

Compte tenu de la complexité des interactions entre l'aquaculture marine et les écosystèmes marins d'un côté et des pressions détaillées dans le tableau 7 de l'autre, la structuration initiale (2009) de cette partie du document issue des travaux de Huntington *et al.* (2006) et reprise en partie dans le document la commission européenne (European Commission 2012, e.g. tableau 3 p.34) a été maintenue. En effet, la précision élevée des pressions énoncées dans le tableau 7 ne permet pas de les employer pour établir la structure de la partie suivante du document, il est donc proposé une entrée basée plutôt sur l'origine des interactions (e.g. infrastructures et équipements employés par l'aquaculture marine ; lutte contre la déprédation ; etc.). A titre d'exemple, les modifications que peuvent exercer les activités d'aquaculture sur la biogéochimie de la colonne d'eau et des sédiments vont potentiellement concerner les enrichissements en éléments nutritifs et en matière organique (C6 et C7), la modification de la charge en particules (M12), le dépôt de matériel (M9 et M10) et dans certains cas les changements d'habitats (M2).

Dans le tableau 7, pour certaines pressions, se trouve parfois la mention « d'une durée inférieure à 1 an. ». **Dans le cas où la durée d'exercice de la pression est supérieure à un an, la sensibilité de l'habitat à la pression est potentiellement sous-estimée dans la mesure où la résilience et la résistance ne s'expriment pas dans les mêmes conditions que celles considérées pour l'évaluation** (e.g. une modification de la charge en particules sur une durée de deux ans engendrera potentiellement une résistance inférieure et/ou une résilience plus longue et donc une sensibilité plus élevée que si le changement avait duré une seule année).

Avant de rentrer dans le détail des conséquences possibles des interactions entre l'aquaculture marine et le milieu marin, il est essentiel de considérer que **les impacts de l'aquaculture marine présentés dans ce document ne sont pas universels et absolus.**

En effet, ils ont été observés dans le cadre d'études menées sur des sites :

- Géographiquement distincts, en France, en Europe et dans le monde entier ;
- Pour lesquels, les conditions environnementales et d'élevage sont spécifiques au site étudié ;
- Pour lesquels, l'état de conservation et la sensibilité des habitats ou des populations peuvent différer selon le site d'étude.

Les impacts d'un élevage aquacole observés sur un site donné ne sont donc généralement pas directement transposables vers un autre site. Un nombre élevé de paramètres, qu'ils soient d'ordre techniques²⁴, géographiques²⁵, physiques²⁶, chimiques²⁷ ou

²⁴ e.g. mode de production : structures et densité d'élevage, engins employés, fréquence d'interventions, etc.

²⁵ e.g. topographie, bathymétrie, présence d'autres activités, etc.

biologiques²⁸, peuvent en effet générer une grande variabilité dans les effets observés des cultures marines sur les habitats et les espèces. La question des effets concomitants est également à prendre en compte. De ce fait, **il est primordial de garder à l'esprit qu'une analyse approfondie à l'échelle de chaque site est le plus souvent nécessaire**. La qualification des pressions générées par les différentes activités présentées dans ce travail sont valables dans un cas général. Cependant, l'analyse locale devra préciser l'évaluation des risques d'impacts en prenant en compte les paramètres locaux liés aux éventuelles spécificités des habitats (faciès plus ou moins exposé par exemple) et des espèces (zone fonctionnelle de nidification ou alimentation pour les oiseaux par exemple), de la bathymétrie, de la courantologie, des pratiques aquacoles et de leur intensité, etc.

²⁶ e.g. hydrodynamisme, nature des sédiments, température, salinité, etc.

²⁷ e.g. concentrations des éléments présents dans la colonne d'eau et les sédiments, potentiel redox du milieu, emploi de substances chimiques, etc.

²⁸ e.g. espèce élevée, sensibilité et état de conservation des habitats et des espèces, qualité microbiologique de l'eau, etc.

Tableau 7 : catégories de pressions et leurs définitions. Les colonnes de gauche (en vert) correspondent aux intitulés présents dans l'annexe III révisée de la DCSMM. Les deux colonnes de droite correspondent à des travaux de l'UMS Patrinat dont seule la partie relative aux pressions physiques est publiée (La Rivière *et al.* 2015). De ce fait, les parties grisées sont en cours de validation et peuvent être amenées à évoluer. Les codes entre parenthèses dans la 2^{nde} colonne (catégories de pressions) font référence aux descripteurs qualitatifs d'état ou de pression listés ci-dessus. Les codes dans la 3^e colonne correspondent à la classification des pressions de l'UMS Patrinat au moment de la publication de ce document. Pour les correspondances : « > » la catégorie de pressions DCSMM englobe la pression de l'UMS Patrinat ; « = » la catégorie de pression DCSMM et la pression de l'UMS Patrinat sont équivalentes.

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Physique	Perte physique (due à une modification permanente du substrat ou de la morphologie des fonds marins ou à l'extraction de substrat) (D6 et D7)	>	Perte d'un habitat (M1)	Perte physique permanente d'un habitat marin existant au profit d'un habitat terrestre ou dulcicole.
		>	Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2)	Perte permanente du type d'habitat marin d'origine et création d'un habitat marin différent par modification du type de substrat (addition/exposition permanente de matériel de nature différente de celle qui compose le substrat d'origine) ou par modification de l'étagement. Dans le cas des habitats de substrats meubles, la modification du type de substrat est définie comme le changement d'une classe dans le diagramme modifié de Folk. Cette pression inclut la modification vers un substrat artificiel.
	Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins (D6 et D7)	>	Extraction de substrat (M3)	Suppression de substrat, y compris des éléments biogéniques, qui expose du substrat de même nature que le substrat d'origine ou bien qui expose temporairement du substrat de nature différente mais qui permettra la recolonisation par les communautés d'origine.
		>	Tassement (M4)	Compression verticale du substrat et écrasement des espèces vivant sur le fond.
		>	Abrasion superficielle (M5)	Frottement limité à la surface du fond et pression sur l'épifaune et l'épiflore. Perturbation pour laquelle la perte de substrat est limitée ou nulle.
		>	Abrasion peu profonde (M6)	Pénétration du fond jusqu'à 5 cm de profondeur et pression sur les espèces vivant dans les 5 premiers cm du substrat (meuble) ou décapage des substrats durs. Perturbation pour laquelle la perte de substrat est limitée ou nulle.
		>	Abrasion profonde (M7)	Pénétration du fond à une profondeur supérieure à 5 cm et pression sur les espèces vivant dans le substrat (meuble) ou décapage des substrats durs. Perturbation pour laquelle la perte de substrat est limitée ou nulle.
		>	Remaniement (M8)	Déplacement et réarrangement du substrat sans perte de matière. Cette pression ne concerne pas les substrats rocheux.
		>	Dépôt faible de matériel (M9)	Addition de 5 cm maximum de matériel sur le fond. Cette pression inclut l'apport de matériel de même nature que le substrat d'origine ; ou l'apport de matériel de nature différente si les caractéristiques de l'habitat en termes d'hydrodynamisme permettent d'éliminer le dépôt dans un délai court.

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Physique (suite)	Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins (D6 et D7) (suite)	>	Dépôt important de matériel (M10)	Addition de plus de 5 cm de matériel sur le fond. Cette pression inclut l'apport de matériel de même nature que le substrat d'origine ; ou l'apport de matériel de nature différente si les caractéristiques de l'habitat en termes d'hydrodynamisme permettent d'éliminer le dépôt dans un délai court.
	Modification des conditions hydrologiques (D6 et D7)	>	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)	Changement intervenant dans le régime des marées ou dans l'action du courant et des vagues d'une durée inférieure à un an.
		>	Modification de la charge en particules (M12)	Augmentation de la charge en sédiment ou matière organique (particulaire ou dissoute) de l'eau provoquant une modification de sa clarté et/ou un colmatage des organismes filtreurs, d'une durée inférieure à 1 an.
		>	Modification de la salinité (P6)	Augmentation ou diminution de la salinité locale de l'eau entraînant un changement d'une catégorie de salinité telle que définie par Hiscock et al. (1996) OU Augmentation ou réduction de la salinité locale de l'eau hors de la fourchette normale de salinité du biotope / de l'habitat considéré, pendant un an.
		>	Modification du pH (P7)	Réduction locale du pH de l'eau
		>	Modification de la température (P5)	Augmentation ou diminution/réduction locale de la température de l'eau.
Substances, déchets et énergie	Apports de sons anthropiques (impulsionnels, continus) (D11)	=	Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Augmentation du niveau sonore au-dessus des niveaux naturels de bruit de fond.
	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur) (D11)	>	Champs électromagnétiques (P9)	Modification des champs électromagnétiques.
		>	Modification de la température (P5)	Cf. ci-dessus dans "Modifications des conditions hydrologiques"
		>	Diminution de la lumière naturelle (P11)	Diminution de la lumière naturelle incidente, causée par des sources anthropiques (pontons flottants par exemple).
		>	Introduction de lumière artificielle (P10)	Augmentation de la quantité de lumière incidente par des moyens humains.
	Apports de substances dangereuses (substances synthétiques, substances non synthétiques, radionucléides) – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques, phénomènes aigus (D8 et D9)	>	Contamination par les radionucléides (C4)	Introduction de radionucléides augmentant le débit de dose des organismes benthiques au-dessus du seuil de protection radiologique de 10 µGy/h en incrément du bruit de fond naturel.

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Substances, déchets et énergie (suite)	Apports de substances dangereuses (substances synthétiques, substances non synthétiques, radionucléides) – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques, phénomènes aigus (D8 et D9) (suite)	>	Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1)	Dépassement des seuils de concentration d'un ou plusieurs éléments traces métalliques, métalloïdes et/ou organo-métaux dans les compartiments pertinents (eau, biote ou sédiment), au-delà desquels il y a une probabilité non-nulle d'observer un effet toxique pour l'habitat.
		>	Contamination par hydrocarbures et HAP (C2)	Dépassement des seuils de concentration d'un ou plusieurs hydrocarbures et HAP dans les compartiments pertinents (eau, biote ou sédiment), au-delà desquels il y a une probabilité non-nulle d'observer un effet toxique pour l'habitat.
		>	Contamination par composés synthétiques (C3)	Dépassement des seuils de concentration d'un ou plusieurs composés synthétiques dans les compartiments pertinents (eau, biote ou sédiment), au-delà desquels il y a une probabilité non-nulle d'observer un effet toxique pour l'habitat.
		>	Introduction de substance à caractère visqueux (C5)	Recouvrement d'espèces ou d'habitats par des substances visqueuses (généralement hydrophobes), comme les huiles, les paraffines ou les hydrocarbures.
	Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques (D5)	>	Modification des apports en nutriments (C6)	Dépassement des concentrations en un ou plusieurs nutriments par rapport aux concentrations de référence, et/ou déséquilibre des rapports molaires en nutriments (azote, phosphore, silice, fer...). Les concentrations de référence sont définies selon les seuils entre Moyen état et Bon état au sens de la DCE ou de la DCSMM.
	Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles (D5)	>	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Modification de la concentration en matière organique de l'eau par rapport aux concentrations caractérisant l'habitat.
	Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)	>	Modification de la salinité (P6)	Cf. ci-dessus dans "Modifications des conditions hydrologiques"
		>	Modification du pH (P7)	Cf. ci-dessus dans "Modifications des conditions hydrologiques"
	Apports de déchets (déchets solides, y compris les déchets microscopiques) (D10)	=	Déchets solides (P4)	Apport d'objets manufacturés ou transformés (non-naturels) (par exemple : plastiques, métaux, engins de pêche abandonnés, bois, cordes, etc.) et leurs composés de dégradation (par exemple : microplastiques).
			Désoxygénation (C8)	Réduction de la concentration en oxygène dissous de l'eau en deçà de 2 mg/l pendant plusieurs jours.
Biologique	Introduction d'espèces génétiquement modifiées et transfert ou translocation d'espèces indigènes	=	Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1)	Transfert/déplacement d'une ou plusieurs espèces indigènes et/ou introduction de populations d'espèces indigènes génétiquement modifiées ou génétiquement différents, hors de leur zone géographique.
	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes (D2)	=	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction directe ou indirecte d'une ou plusieurs espèces non-indigènes pouvant entrer en compétition avec les espèces indigènes OU il existe un potentiel important d'introduction d'espèce non-indigène.

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Biologique (suite)	Introduction d'agents pathogènes microbiens	=	Introduction de pathogènes (B3)	Introduction de pathogènes microbiens (bactéries, fungi, virus, protozoaires) ou de métazoaires vecteurs de maladies dans une zone dans laquelle ils n'étaient pas présents naturellement.
	Disparition ou altération des communautés biologiques naturelles due à l'élevage d'espèces animales ou à la culture d'espèces végétales	=	Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7)	Diminution et/ou augmentation de la représentation de certains allèles d'une ou plusieurs populations naturelles. Ou Modification des équilibres alléliques et génotypiques d'une ou plusieurs populations naturelles.
	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées (par la pêche commerciale et récréative et d'autres activités) (D3)	>	Prélèvement d'espèces cibles (B5)	Prélèvement d'espèces ciblées par une activité récréative ou commerciale, amateur ou professionnelle.
		>	Prélèvement d'espèces non-cibles (B6)	Prélèvement d'espèces benthiques non ciblées par une activité de récolte récréative ou commerciale, amateur ou professionnelle (ciblant une autre espèce).
		>	Mort ou blessure par collision /interaction (P2)	Blessure ou mortalité des espèces par collision avec des structures statiques ou mobiles.
	Perturbation des espèces (aires de reproduction, de repos et d'alimentation, par exemple) due à la présence humaine	>	Obstacle au mouvement (P1)	Obstruction physique partielle ou temporaire aux déplacements des espèces benthiques et pélagiques, qu'ils soient locaux ou à large échelle (migration).
>		Dérangement visuel d'espèces (P3)	Dérangement visuel des espèces pouvant entraîner une perturbation de leur cycle de vie (reproduction, nourrissage, repos...).	

A.5. CATEGORIES D'ACTIVITES DE CULTURES MARINES

Le tableau 2b de l'annexe III de la de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM)²⁹ donne une liste des « utilisations et activités humaines dans le milieu marin ou affectant celui-ci ». Dans le cas des cultures marines, le thème « culture de ressources vivantes » ne comporte qu'un seul intitulé nommé « Aquaculture marine, y compris les infrastructures ». Or, afin de mettre en relation les pressions avec la diversité des cultures marines, il convient d'établir une liste plus précise que celle-ci. Dans cet objectif, la classification initiale des activités (Ragot 2009) propose un niveau de précision suffisant pour faire le lien entre pressions et activités. Le tableau 8 répertorie ces activités. Il est à noter qu'une différence est faite entre le fonctionnement courant des activités et leur installation / leur enlèvement comme dans le cadre du projet CARPE DIEM³⁰.

Tableau 8 : liste des activités prises en compte dans la partie relative aux interactions entre l'aquaculture marine et les écosystèmes marins.

Thème activité DCSMM	Activité DCSMM	Activité/pratique commune	Phase
Culture de ressources vivantes	Aquaculture - marine, y compris les infrastructures	Aquaculture - marine, y compris les infrastructures	<i>Installation / Enlèvement</i>
		Algoculture en bassins	<i>Fonctionnement</i>
		Algoculture sur filières	<i>Fonctionnement</i>
		Aquaculture en bassins (in)submersibles	<i>Fonctionnement</i>
		Conchyliculture au sol	<i>Fonctionnement</i>
		Conchyliculture en lagunes méditerranéennes	<i>Fonctionnement</i>
		Conchyliculture sur filières	<i>Fonctionnement</i>
		Mytiliculture intertidale sur bouchots	<i>Fonctionnement</i>
		Ostréiculture intertidale surélevée	<i>Fonctionnement</i>
		Pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)	<i>Fonctionnement</i>
		Pisciculture en cages en mer ou en lagunes côtières	<i>Fonctionnement</i>

²⁹ Directive 2008/56/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin modifiée par la directive 2017/845/UE du 17 mai 2017.

³⁰ « Modélisation spatiale des pressions anthropiques et de leurs effets sur les habitats benthiques » <https://wwz.ifremer.fr/dyneco/content/download/120388/file/Pr%C3%A9sentation%20Fr%C3%A9d%C3%A9ric%20Quemmerais-Amice.pdf>

II.B. EXPOSITION AUX PRESSIONS

L'exposition aux pressions relatives à l'aquaculture marine est dépendante de la présence ou non des infrastructures et des activités sur ou à proximité des habitats (figure 3) et des populations d'espèces ainsi que du caractère diffus ou non de la pression considérée. Une analyse de cette exposition avait été menée en 2009 (Ragot 2009). Dans le cadre de ce document, elle a été partiellement revue en croisant entre autres les données du projet CARPEDIEM et les données d'habitats marins disponibles³¹.

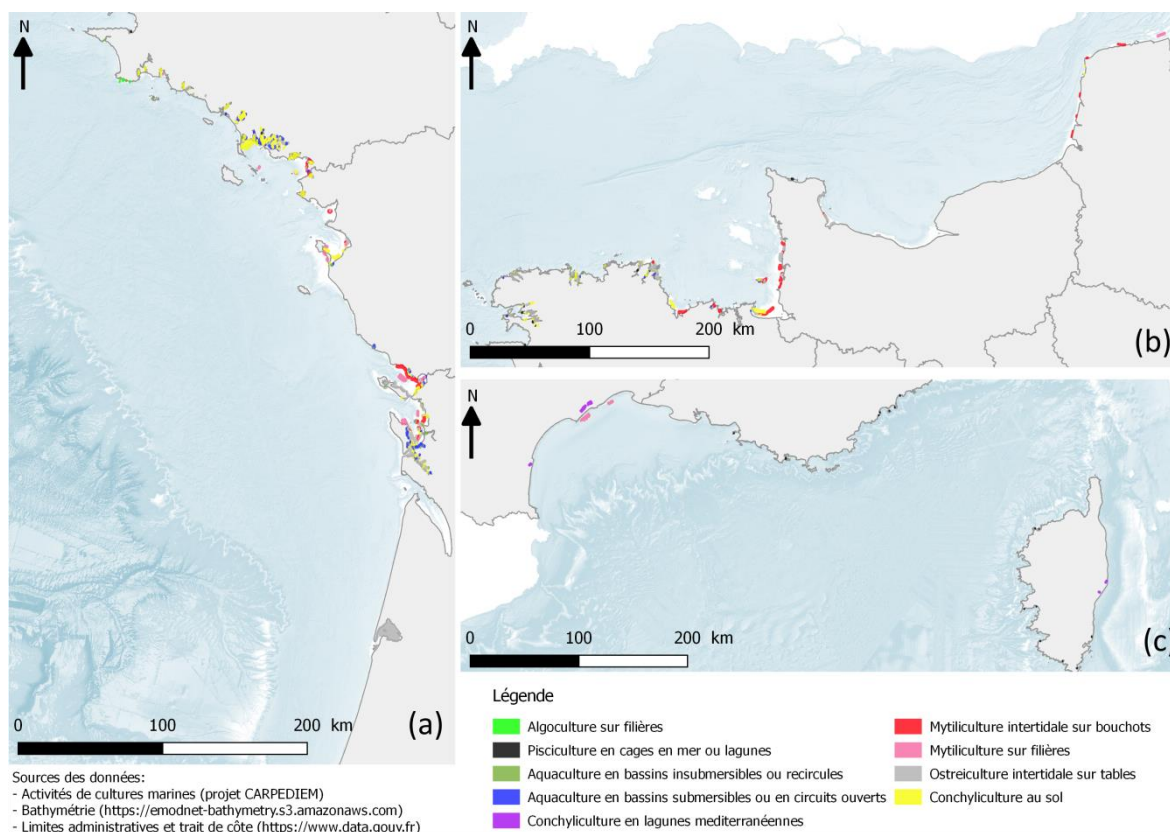


Figure 3 : répartition des différents types d'aquaculture marine le long des côtes métropolitaines (données issues du projet CARPE DIEM³⁰). (a) façade Atlantique. (b) façade Manche et Mer du Nord. (c) façade méditerranéenne. Cette carte est donnée à titre indicatif et n'est pas exhaustive concernant l'ensemble des concessions de cultures marines à l'échelle nationale.

B.1. ESPECES

Pour les espèces, l'amélioration des connaissances sur leurs répartitions spatiales, comportements, écologies ont permis d'affiner les travaux de 2009 (Ragot 2009). Pour se faire, dans le cadre des espèces Natura 2000, l'exposition potentielle a été évaluée à partir des cartes de répartition de l'annexe p. 313 et de la présence des différents types d'aquaculture marine sur les côtes métropolitaines (figure 3). Ces résultats ont été revus au regard de l'écologie des espèces (cf. I.A.2 pour les groupes d'oiseaux) et des pressions potentiellement exercées par chaque type d'aquaculture.

Ainsi, les éléments d'analyse suivants sont proposés pour les espèces (hors pressions diffuses) :

³¹ e.g. <http://cartographie.aires-marines.fr/?q=carto/simple>

- Pour les espèces de lamproies (1095 et 1099) et d'aloses (1102 et 1203), même si elles peuvent en fonction de leur cycle de vie et de la période de l'année (montaison – dévalaison) se trouver à proximité des installations d'aquaculture marine (Bensettiti & Gaudillat 2002; Puissauve & Baglinière 2013, 2015; Puissauve *et al.* 2015; Puissauve & Evanno 2015), aucune exposition notable aux pressions potentiellement générées par les cultures marines ne semble avoir été observée dans la littérature.
- Pour l'esturgeon européen (1101), compte tenu de son aire de répartition restreinte et de son cycle de vie (cf. 0, p. 312 ; II.C.7.a), seule la pisciculture en bassin à terre élevant la même espèce ou les espèces du genre *Acipenser* peut exercer une pression potentielle.
- Pour le saumon atlantique (1106), seules les activités aquacoles les élevant sont susceptibles d'exposer l'espèce à des pressions potentielles (II.C.7.a et II.C.8.c). Ainsi, cela ne concerne que la pisciculture en bassin à terre et la pisciculture en cage en mer ou en lagune côtière.
- Pour l'aphanius de Corse (1152), son aire de répartition et ses habitats de prédilection (biocénose lagunaire euryhaline et eurytherme³²) ne l'exposent potentiellement qu'aux pressions générées par la pisciculture en lagune côtière ou à la conchyliculture en lagune méditerranéenne.
- Pour la loutre (1355), même si les populations vivant sur le littoral fréquentent les eaux côtières pour leur alimentation majoritairement piscivore (Libois 1995; Beja 1997; Mercier 2003; Reid *et al.* 2013), elles se restreignent à une bande côtière rocheuse ou estuarienne étroite (50-100 m) nécessitant un accès permanent à des points d'eau douce pour boire et dessaler leur fourrure (Menage *et al.* 2015). Des déprédations sur les élevages piscicoles sont largement recensés mais concerne principalement la pisciculture d'eau douce (Kuhn 2012) même si les espèces marines élevées en bassins à terre peuvent être impactées (Freitas *et al.* 2007; Santos-Reis *et al.* 2013). Les pressions potentielles exercées par l'aquaculture marine concernent ainsi uniquement les élevages piscicoles à terre.
- Pour la tortue caouanne (1224), au-delà des problématiques relatives à l'ingestion des déchets (cf. II.C.2.b, e.g. Nicolau *et al.* (2016)), les pressions potentielles engendrées par l'aquaculture marine concernent principalement les risques d'enchevêtrement dans les cordes et filets (e.g. Duncan *et al.* 2017). Ainsi, seules les activités de cultures marines utilisant ces équipements en pleine eau sont susceptibles de l'exposer à ces pressions. Néanmoins, la tortue caouanne n'étant pas attirée par les élevages, les cas semblent rares (Price *et al.* 2017).
- Pour le grand dauphin (1349) et le marsouin commun (1351), les risques relatifs aux enchevêtrements dans les filières d'aquaculture semblent minimes compte tenu notamment du comportement d'évitement que le marsouin peut avoir de ces zones d'élevage, de l'agencement des cordes et de leur capacité à détecter les structures qui évitent les mortalités (Price *et al.* 2017). A l'inverse du marsouin, le grand dauphin peut largement s'y concentrer (cf. II.C.2.e; e.g. Díaz López & Methion (2017)). Par rapport aux filets de protection des cages, le grand dauphin se nourrissant des poissons sauvages concentrés autour de celles-ci, des mortalités peuvent être enregistrées quand ceux-ci sont employés (Díaz-López 2012). Pour sa part, le marsouin est très sensible au bruit et évite les zones d'élevages quand il y a de

³² https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/68802/tab/habitats

l'activité et encore plus s'il y a des dispositifs acoustiques d'exclusion (cf. II.C.5). Ce qui peut être préoccupant puisqu'ils peuvent être ainsi tenus à l'écart d'une partie de leurs habitats (e.g. COSEPAC 2006; Haarr *et al.* 2009; Pêche et Océans Canada 2009). Les pressions potentielles exercées par l'aquaculture marine vont donc concerner l'ensemble des élevages en pleine eau pour le marsouin et exclusivement les élevages en cage en mer pour le grand dauphin. Une attention particulière doit être portée sur le risque d'exclusion de zone d'habitats habituels des marsouins communs lorsque des répulsifs acoustiques sont utilisés.

- Pour les phoques (1364 et 1365), compte tenu de leur capacité de déprédation sur les élevages piscicoles en mer (e.g. premières espèces causant des déprédations dans les fermes à saumons d'Ecosse³³; Würsig & Gailey 2002; Wilson & Siobhan 2009; Northridge *et al.* 2013; Price & Morris 2013), ils sont concernés par la pisciculture marine en cage. Aussi, la nécessité pour les phoques d'avoir des lieux exondés non perturbés par les activités humaines leur permettant de se reposer, de mettre bas et d'élever leurs juvéniles impliquent que toute activité aquacole intervenant dans ces zones est susceptible de générer une pression de dérangement (cf. II.C.3). A ce titre, la distance à laquelle les phoques s'immergent systématiquement à l'approche de bateaux à moteurs est supérieure à 100 mètres (Allen *et al.* 1984; Andersen *et al.* 2012; Mathews *et al.* 2016) sauf dans des cas d'accoutumance au dérangement (Cates & Acevedo-Gutiérrez 2017).
- Pour la bernache cravant (seule représentante du groupe des « oiseaux herbivores ») et pour le groupe des « échassiers », les pressions générées par l'aquaculture marine vont concerner les activités aquacoles en milieu intertidal et sur la frange littoral qui peuvent les exclure partiellement ou totalement des zones d'alimentation et de repos soit par des dérangements volontaires (lutte contre la déprédation) (cf. II.C.5) ou involontaires (cf. II.C.3), soit par des modifications d'habitats (cf. II.C.1) (e.g. Catry *et al.* 2011; Sutherland *et al.* 2012; Ponsero *et al.* 2016; Pearce-Higgins *et al.* 2017).
- Pour les trois autres groupes, « oiseaux marins de surface », « oiseaux plongeurs benthiques » et « oiseaux plongeurs pélagiques », les pressions générées par l'aquaculture marine vont être dépendantes du comportement de l'espèce considérée, de ses techniques d'alimentation et de son régime alimentaire. Par exemple, les plongeurs piscivores peuvent s'enchevêtrer dans les filets de protection des cages et des bassins à terre (e.g. Belle & Nash 2009). Aussi, toutes les espèces exerçant de la déprédation sur les élevages (e.g. goéland argenté, cormoran, macreuse noire, etc.) sont aussi susceptibles de faire l'objet de méthodes de lutte pour limiter les pertes économiques (Mille 2008; Tolon 2013; Díaz López 2017). Cette déprédation peut être exacerbée si les activités de cultures marines sont installées sur des zones d'alimentation préexistantes.

³³ <https://www2.gov.scot/Uploads/Documents/FW04Predators.pdf>

Tableau 9 : espèces ou groupe d'espèces Natura 2000 justifiant la désignation de sites du réseau Natura 2000 en mer potentiellement exposées aux différents types d'aquaculture marine. Les cases bleues représentent les espèces potentiellement exposées.

Code N2000	Intitulé espèces (*espèces prioritaires)	Algoculture en bassins	Algoculture sur filières	Aquaculture en bassins (in)submersibles	Conchyliculture au sol	Conchyliculture en lagunes méditerranéennes	Conchyliculture sur filières	Mytiliculture intertidale sur bouchots	Ostréiculture intertidale surélevée	Pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)	Pisciculture en cages en mer ou en lagunes côtières
Espèces d'intérêt communautaire (DH)											
Code N2000	Intitulé de l'espèce										
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)										
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)										
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)*										
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)										
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)										
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)										
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)										
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)*										
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)										
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)										
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)										
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)										
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)										
Espèces d'intérêt communautaire (DO)											
Groupes d'oiseaux											
Oiseaux herbivores											
Échassiers											
Oiseaux Marins de surface											
Oiseaux plongeurs benthiques											
Oiseaux plongeurs pélagiques											

B.2. HABITATS

Pour les habitats (tableau 10), les expositions potentielles issues du premier référentiel (Ragot 2009) ont été revues à partir des zones connues d'exploitation³⁴ et des cartographies d'habitats disponibles³⁵. Elles se limitent aux habitats connus pour héberger tel ou tel type de cultures marines. En effet, certaines pressions très diffuses de Ragot (2009) comme « Infrastructures et macrodéchets » et « Introduction d'espèces étrangères » indiquaient parfois une exposition à la quasi-totalité des habitats. Dorénavant, c'est l'analyse locale qui doit permettre de statuer sur l'exposition de tel ou tel autre habitat adjacent ou non aux pressions diffuses.

³⁴ Données issues du projet CARPE DIEM³⁰.

³⁵ e.g. <http://cartographie.aires-marines.fr> ; <http://www.rebent.org/>

Tableau 10 : habitats Natura 2000 susceptibles d'héberger et/ou d'être potentiellement exposés aux différents types d'aquaculture marine (synthèse d'après la version initiale de ce document (Ragot 2009)). Les * indiquent les habitats prioritaires³⁶. Les # précisent les habitats qui ne sont concernés par les pressions générées par les activités en colonne que si les infrastructures ou le fonctionnement de l'activité impliquent une présence sur ces milieux (e.g. passages d'engins, dépôts, prise d'eau, bâtiments, etc.). Méd. : Méditerranée ; Atl : façade atlantique.

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Algoculture en bassins	Algoculture sur filières	Aquaculture en bassins (in)submersibles	Conchyliculture au sol	Conchyliculture en lagunes méditerranéennes	Conchyliculture sur filières	Mytiliculture intertidale sur bouchots	Ostreiculture intertidale surlevée	Pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)	Pisciculture en cages en mer ou en lagunes côtières
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine										
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (Atl.)										
1110-2	Sables moyens dunaires (Atl.)										
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (Atl.)										
1110-4	Sables mal triés (Atl.)										
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méd.)										
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méd.)										
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méd.)										
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méd.)										
1110-9	Galets infralittoraux (Méd.)										
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*										
1120-1	Herbiers à Posidonies*										
1130	Estuaires										
1130-1	Slikke en mer à marées										
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes										
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse										
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (Atl.)	#	#	#	#		#	#	#	#	#
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (Atl.)	#	#	#	#		#	#	#	#	#
1140-3	Estrans de sable fin (Atl.)	#	#	#	#		#	#	#	#	#
1140-4	Sables dunaires (Atl.)	#	#	#	#		#	#	#	#	#
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (Atl.)	#	#	#	#		#	#	#	#	#

³⁶ DIRECTIVE 92/43/CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages.

« Types d'habitats naturels en danger de disparition présents sur le territoire [européen des États membres où le traité s'applique] et pour la conservation desquels la Communauté porte une responsabilité particulière, compte tenu de l'importance de la part de leur aire de répartition naturelle comprise dans le territoire [européen des États membres où le traité s'applique]. »

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Algoculture en bassins	Algoculture sur filières	Aquaculture en bassins (in)submersibles	Conchyliculture au sol	Conchyliculture en lagunes méditerranéennes	Conchyliculture sur filières	Mytiliculture intertidale sur bouchots	Ostréiculture intertidale surélevée	Pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)	Pisciculture en cages en mer ou en lagunes côtières
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse (suite)										
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (Atl.)	#	#	#	#		#	#	#	#	#
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méd.)	#	#	#	#	#	#			#	#
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méd.)	#	#	#	#	#	#			#	#
1140-9	Sables médiolittoraux (Méd.)	#	#	#	#	#	#			#	#
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méd.)	#	#	#	#	#	#			#	#
1150	Lagunes côtières*										
1150-1	Lagunes en mer à marées (Atl.)*										
1150-2	Lagunes méditerranéennes*										
1160	Grandes criques et baies peu profondes										
1160-1	Vasières infralittorales (Atl.)										
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux. Bancs de maerl (Atl.)										
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méd.)										
1170	Récifs										
1170-1	La roche supralittorale (Atl.)	#	#	#	#		#	#	#	#	#
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (Atl.)										
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (Atl.)										
1170-4	Les récifs d'Hermelles (Atl.)										
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (Atl.)										
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (Atl.)										
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (Atl.)										
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (Atl.)										
1170-9	Les champs de blocs (Atl.)										
1170-10	La roche supralittorale (Méd.)	#	#	#	#	#	#			#	#
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méd.)	#	#	#	#	#	#			#	#
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méd.)										
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méd.)										
1170-14	Le Coralligène (Méd.)										

II.C. PRESSIONS POTENTIELLES DE L'AQUACULTURE MARINE

C.1. INTERACTIONS RELATIVES A LA PHYSIOLOGIE DES ESPECES ELEVEES ET AUX ALIMENTS

Afin de mieux expliciter les éléments décrits dans cette partie, il est essentiel d'évoquer partiellement les processus physiologiques, physiques et biochimiques qui interviennent lors du développement des espèces animales élevées dans le cadre de l'aquaculture marine. Ainsi, la figure 4 montre un exemple des mécanismes en jeu dans le cadre de la culture de bivalves. Ce schéma décrit les quatre compartiments impliqués : l'atmosphère, la colonne d'eau et les couches anaérobie et aérobie des sédiments.

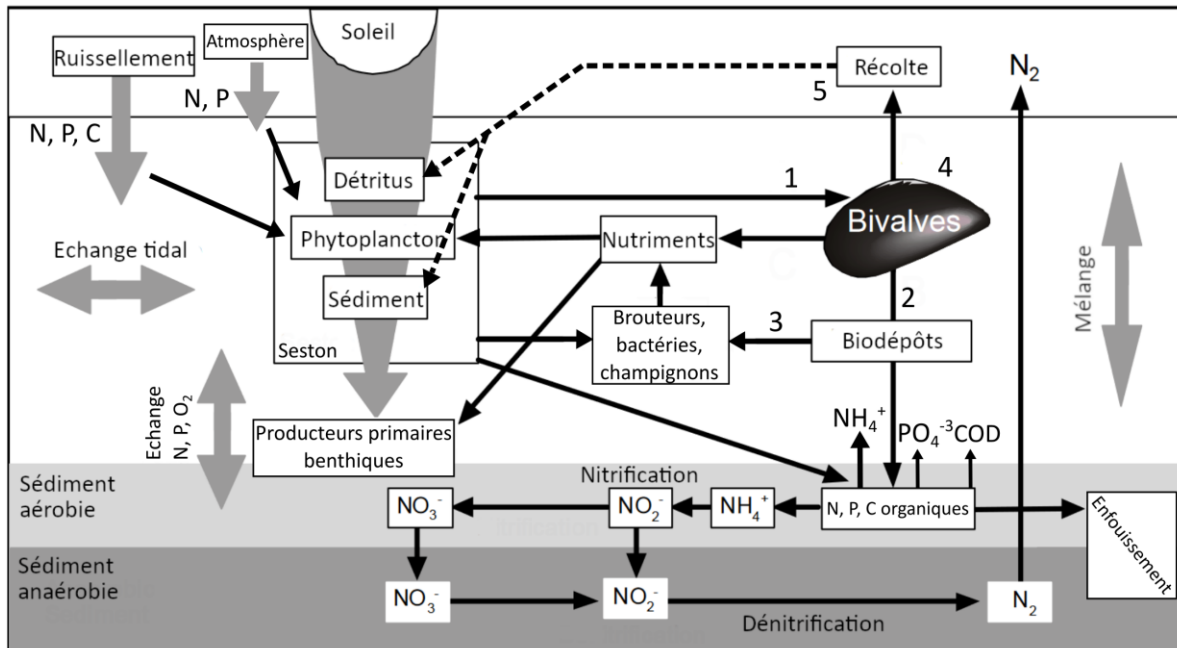


Figure 4 : diagramme conceptuel des interactions entre l'élevage de bivalves et les écosystèmes côtiers. 1 : retrait de la matière particulaire en suspension (seston³⁷) au cours de l'alimentation par filtration ; 2 : biodépôt de la matière organique non digérée sous forme de fèces ou de pseudofèces ; 3 : excrétion de nutriments (principalement sous forme d'ammoniac ionisé en ammonium et aussi sous forme de phosphate et autres nutriments organiques) ; 4 : retrait de matériel biologique (N, P et carbone organique) lors de la récolte des bivalves ; 5 : remise en suspension de nutriments, de détrit et de sédiments dans la colonne d'eau lors des activités de récolte (traduit d'après Burkholder & Shumway (2011) modifié de Cranford *et al.* 2006).

1.a. Interactions relatives à la biogéochimie de la colonne d'eau

L'aquaculture peut interagir avec les habitats et les espèces du milieu marin via son influence sur la colonne d'eau que ce soit par l'ingestion d'une partie des organismes responsables de la production primaire ou le rejet de matière organique (fèces, pseudo fèces, urée).

i Production primaire et conchyliculture

La filtration par les bivalves de la matière particulaire en suspension ou seston³⁷ peut induire une diminution de la densité du phytoplancton dans la colonne d'eau et une modification des flux d'énergie inhérents aux réseaux trophiques planctoniques (e.g. Prins *et*

³⁷ Le seston inclut de la matière organique (bactérie, phytoplancton, détrit organiques, micro/mésozooplancton) et inorganique (minéraux, limons, sables).

al. 1998; Newell 2004). En conséquence, les éléments nutritifs stockés dans la biomasse des bivalves d'élevage ne sont plus disponibles pour le réseau trophique marin quand les individus sont récoltés par les conchyliculteurs. Ainsi, les bivalves exercent un effet « *top-down* » ou « *negative feedback* » sur le phytoplancton. Néanmoins, cette filtration de l'eau induit aussi une clarification de la colonne d'eau qui peut stimuler la production primaire, entre autres pour les phanérogames marines, les macroalgues benthiques, les épiphytes et le microphytobenthos (Prins *et al.* 1998; Newell 2004; Burkholder & Shumway 2011; Gallardi 2014). La filtration par les bivalves réduit ainsi les risques d'eutrophisation³⁸ des masses d'eau (Rose *et al.* 2014), phénomène particulièrement problématique à l'échelle mondiale (Paerl 2006; Diaz & Rosenberg 2008). Cet impact positif sur la colonne d'eau est aussi à l'origine de l'usage des bivalves en aquaculture multi-trophique afin de réduire les effets des effluents de la pisciculture (*e.g.* Soto 2009; Strand *et al.* 2019).

A l'inverse, la filtration des bivalves entraîne une excrétion d'azote minéral (NH₄⁺) et un transfert de l'azote et du phosphore organique non assimilé (fèces et pseudo fèces) sous forme de biodépôts vers les chaînes alimentaires détritiques benthiques. L'azote est alors rapidement recyclé par minéralisation en milieu anaérobie avant d'être remis en suspension (courants, houle, activités d'élevages), le rendant accessible aux producteurs primaires (*e.g.* Newell 2004; Burkholder & Shumway 2011; Jansen *et al.* 2019). Dans ce cas, les bivalves exercent un effet « *bottom-up* » ou « *positive feedback* » sur la production primaire. Cependant, la régénération des nutriments lors de cette redistribution change la stœchiométrie des éléments (N, P, C, Si principalement) dans la colonne d'eau. Or, ces modifications ne sont pas sans conséquence sur la dynamique de la production primaire (Newell 2004; Gallardi 2014; Jansen *et al.* 2019). Par exemple, elles renforcent les cycles saisonniers intervenant dans la composition du phytoplancton en favorisant le picoplancton (0,2 – 2 µm) au dépend du nanoplancton (2 – 20 µm) (Prins *et al.* 1998; Gallardi 2014), en favorisant le développement d'épiphytes sur les producteurs primaires fixés (Bryars *et al.* 2011) ou du microphytobenthos sur les vasières intertidales (Méléder *et al.* 2003).

Ces modifications sur le cycle des nutriments dans les écosystèmes côtiers associées aux élevages conchylicoles sont particulièrement complexes. En effet, les processus antagonistes décrits ci-dessus peuvent largement varier en fonction des espèces élevées et de leurs modalités d'élevages (densités, structures, etc.), des autres organismes et des habitats présents, du statut trophique de la zone considérée (eutrophe *versus* oligotrophe³⁹), de la saison, des composantes des masses d'eau (courantologie, apports en nutriments, stratification, marnage, profondeur), des caractéristiques des sédiments, etc. (*e.g.* Burkholder & Shumway 2011; Jansen *et al.* 2019).

³⁸ Enrichissement excessif de l'eau par des nutriments qui cause une accélération de la croissance des algues et des plantes supérieures produisant une série de perturbations indésirables dans les écosystèmes marins, incluant des changements dans la composition de la faune et de la flore qui affectent les habitats et la biodiversité, et la déplétion de l'oxygène, causant la mort des poissons et d'autres espèces (<https://www.ospar.org/work-areas/hasec/eutrophication>).

³⁹ Milieu pauvre en éléments nutritifs.

ii Rejets de nutriments dans la colonne d'eau

Comme indiqué précédemment pour les bivalves, la pisciculture génère aussi un rejet de nutriments dans la colonne d'eau. Les poissons d'élevage ont besoin d'une alimentation composée de protéines (acides aminés), de lipides (acides gras), de vitamines, de sels minéraux et d'oligo-éléments⁴⁰ (Le Gouvello & Simard 2017). L'azote et le phosphore qui les composent sont émis après leur métabolisme dans la colonne d'eau sous forme d'ammoniac (NH_3), d'urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) et de phosphate (PO_4^{3-}) excrétés par les poissons au même titre que pour les bivalves (voir ci-dessus) ou indirectement rejetés par la décomposition des fèces et des excédents de nourriture non consommés (e.g. Islam 2005; Norði et al. 2011; Bouwman et al. 2013; Price et al. 2015). Ces fèces et éventuels excédents de nourriture se déposent aussi en partie sur le fond au gré des courants constituant ainsi un apport organique (cf. II.C.1.b). Les estimations relatives à l'assimilation du carbone, de l'azote et du phosphore par les organismes élevés sont dépendantes de nombreux facteurs comme les espèces élevées, le type d'aliments, l'I.C. ou indice de conversion alimentaire de l'espèce (*FCR* : *feed conversion ratio* – en anglais) (pour une revue voir Price et al. 2015). Néanmoins, la moyenne de ces estimations d'assimilation est inférieure à 35 % (Bouwman et al. 2013 ; figure 5). L'enrichissement de la colonne d'eau en azote (N) et en phosphore (P) et/ou les changements des proportions stœchiométriques (entre ces éléments et aussi avec la silice (Si)) peuvent avoir plusieurs origines (e.g. nutriments transportés par les eaux des bassins versants (Price et al. 2015)) et sont en mesure de favoriser une eutrophisation des masses d'eau. Celle-ci va stimuler la production primaire, en particulier via les espèces d'algues opportunistes à croissance rapide, entraînant un changement dans la composition de ces espèces (Prins et al. 1998; Dumbauld et al. 2009). Ces changements peuvent se traduire par un phénomène de bloom algal. Ces blooms peuvent parfois être à l'origine de la synthèse de phycotoxines (HABs : *harmful algal blooms*) néfastes aussi bien pour les produits de

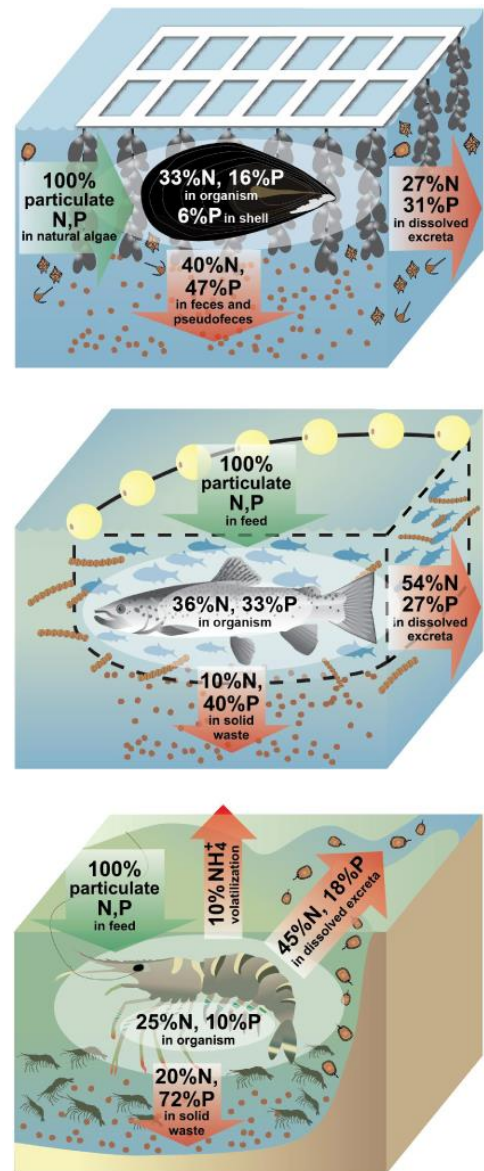


Figure 5 : trois types de cultures marines et les bilans d'azote et de phosphore associés en % des intrants. En haut : production de mollusques sur système de radeaux ; au milieu : production de poissons en cage ; en bas : production de crustacés en bassins. Les proportions relatives des apports de nutriments exogènes ou d'origine naturelle sont estimées sur la base de modèles. Les proportions de nutriments dissous par rapport aux éléments solides dépendent de la digestibilité des aliments (Bouwman et al 2013)

⁴⁰ <http://www.fao.org/fishery/affris/profil-des-especes>

l'aquaculture que pour les animaux sauvages ou les populations humaines (Prins *et al.* 1998; Anderson *et al.* 2002; Bouwman *et al.* 2013).

Cependant, l'influence des proportions des éléments N, P et Si entre eux dans la colonne d'eau (sous forme particulaire ou dissoute), voire d'autres éléments comme le fer (Fe) (e.g. Naito *et al.* 2005), sur l'apparition ou non de HABS n'est pas toujours clairement comprise et peut ne pas être pertinente. Ce qui est le cas, par exemple, si les nutriments ne sont pas limitants (e.g. milieux très eutrophisés), en fonction de la composition chimique des excréments animales ou encore lorsque les espèces néfastes sont mixotrophes⁴¹ (Arzul *et al.* 2001; Collos *et al.* 2009; Davidson *et al.* 2012).

En France, afin de réagir efficacement en cas d'apparition de toxines néfastes, le REPHY⁴² (Réseau d'Observation et de Surveillance du Phytoplancton et des Phycotoxines) suit trois familles de toxines dommageables à l'homme :

- Les toxines lipophiles incluant les toxines diarrhéiques (DSP : *Diarrheic Shellfish Poisoning*) synthétisées par plusieurs espèces de dinoflagellés dont le genre *Dynophysis* ;
- Les toxines paralysantes (PSP : *Paralytic Shellfish Poisoning*) synthétisées par plusieurs espèces du genre *Alexandrium* ;
- Les toxines amnésiantes (ASP : *Amnesic Shellfish Poisoning*) synthétisées par plusieurs espèces du genre *Pseudo-nitzschia*.

Aussi, ces blooms algaux, au même titre que les particules en suspension issues de l'élevage, peuvent augmenter la turbidité et ainsi diminuer l'intensité lumineuse dans la colonne d'eau réduisant la croissance des algues benthiques, du microphytobenthos et des phanérogames marines (Hauxwell *et al.* 2003; Price *et al.* 2015).

Les aliments de pisciculture sont riches en acides gras (huile de poissons ou végétale), les taux de lipides alimentaires se situant généralement entre 28 et 35 % pour les salmonidés et entre 20 et 25 % pour les poissons marins à l'exception des poissons plats comme la sole pour lesquels ces valeurs sont plus basses (Borges *et al.* 2013; Medale *et al.* 2013). Malgré une très bonne digestibilité (plus de 90 % (Medale *et al.* 2013)) et une amélioration des procédés de fabrication des aliments (passage de granules comprimés à extrudés), de petites quantités de lipides peuvent se retrouver à la surface ou dans la colonne d'eau mais peu d'études ou de suivis sont disponibles à ce sujet et plus de recherches sont nécessaires (Price *et al.* 2015).

Malgré les quantités de déchets émis par les fermes marines piscicoles, les effets vont de nuls à significatifs selon les variables considérées et les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de la colonne d'eau (Sarà 2007; Price *et al.* 2015). De manière générale, la bibliographie recense peu de cas significatifs pour la colonne d'eau sauf dans des conditions hydrologiques non favorables ou une gestion médiocre des élevages (Price *et al.* 2015). Ainsi, les phénomènes de dilution à proximité des sites aquacoles (conséquence de leur installation dans des zones de forts courants pour favoriser l'oxygénation et limiter les infections et les maladies), le faible taux de séjour du phytoplancton dans la colonne d'eau ou encore le transfert rapide des nutriments dans la chaîne trophique sont autant de caractéristiques limitant la détection des effets potentiels dans de tels milieux ouverts (Sarà 2007). Seuls des suivis à long terme à grande échelle incluant, par exemple, des suivis

⁴¹ Capacité à se nourrir à la fois par autotrophie (composés minéraux via la photosynthèse) et par hétérotrophie (composés organiques préexistants comme l'azote ou le phosphore organiques dissous).

⁴² http://envlit.ifremer.fr/infos/rephy_info_toxines

isotopiques, seraient en mesure de détecter les charges en nutriments venant de cages piscicoles (Price *et al.* 2015), sans que pour autant celui puisse potentiellement nuire aux écosystèmes (sauf peut-être dans le cas de milieux très oligotrophes).

iii Diminution de la teneur en oxygène dans la colonne d'eau

Les élevages aquacoles génèrent un accroissement de la consommation en oxygène, d'abord par la respiration des animaux en élevage puis par les rejets de nutriments (aliments et excrétion) qui augmente la demande biologique en oxygène (DBO) des micro-organismes décomposant la matière organique ou la DBO nocturne des producteurs primaires (microphytobenthos, phytoplancton, macroalgues). Une diminution des teneurs en oxygène dissous peut être ainsi observée, à proximité immédiate des sites piscicoles aux masses d'eau peu renouvelées mais sans effet délétère. En effet, les changements en oxygène dissous relatifs aux courants, aux saisons, aux marées, aux alternances jour-nuit sont souvent plus importants que ceux relatifs à l'élevage (Price *et al.* 2015).

1.b. Interactions relatives à la sédimentation

La sédimentation sous les installations aquacoles trouve son origine dans les rejets des animaux élevés : excréments des poissons, fèces et pseudo fèces des coquillages bivalves filtreurs (e.g. Barnes 2006; McKindsey *et al.* 2011; O'Beirn *et al.* 2013; Gallardi 2014). Pour l'algoculture, les algues décrochées ou une partie de leur thalle peuvent aussi contribuer au dépôt de matériel organique sur le fond (Stévant *et al.* 2017; Walls *et al.* 2017; Wood *et al.* 2017). Pour la pisciculture, les déchets de nourriture peuvent s'ajouter à ces rejets. Dans certaines conditions d'élevage, l'excès d'aliments peut en effet directement contribuer à l'augmentation de la sédimentation (e.g. Price & Morris 2013). Ces éventuels excès de nourriture peuvent être en partie consommés par les animaux sauvages aux alentours des élevages piscicoles engendrant un effet similaire aux dispositifs de concentration de poissons (DCP) ou aux récifs artificiels, attrait qui n'est pas sans conséquences sur ces populations, ces aspects sont développés au II.C.2.c.. Néanmoins, dans une logique d'optimisation des rendements, d'économie des ressources marines et de réduction des impacts potentiels, des améliorations dans la composition des aliments et/ou dans le devenir des rejets ont été apportées et sont toujours en développement (qualité / quantité des aliments ; aquaculture multi-trophique intégrée, etc.) (e.g. Barrington *et al.* 2009; Rust *et al.* 2011; Price & Morris 2013; Le Gouvello & Simard 2017). Enfin, des déchets divers, débris coquilliers et autres peuvent s'ajouter au flux de matière particulaire émanant des installations aquacoles.

Cette matière particulaire en suspension est riche en matière organique et également en particules minérales filtrées dans le cas des pseudo-fèces des bivalves (Barnes 2006). En fonction de la profondeur et de la courantologie locale, la sédimentation de cette matière en suspension peut générer une accumulation à la surface du substrat, sous et à proximité des installations (e.g. Newell 2004; Holmer *et al.* 2007; Dumbauld *et al.* 2009; Price & Morris 2013; Gallardi 2014). Selon l'intensité et la fréquence du phénomène, cette matière organique va nécessiter pour sa décomposition par les microorganismes une certaine quantité d'oxygène pouvant, en fonction de la dynamique des masses d'eau, engendrer une hypoxie, voire une anoxie des sédiments (e.g. Holmer *et al.* 2008).

En effet, l'oxygène est transporté dans les sédiments par diffusion depuis la colonne d'eau sus-jacente ainsi que par des processus biologiques comme la bioturbation réalisée par certaines espèces benthiques (Newell 2004; Price & Morris 2013). Or, les modifications

biogéochimiques sont induites par des réactions d'oxydo-réduction⁴³ contrôlées par la disponibilité en oxygène. Ainsi, cet enrichissement en matière organique induit un accroissement de l'abondance des bactéries avec, par exemple, une hausse du nombre de bactéries aérobies en surface du sédiment (nitrification) et du nombre de bactéries anaérobies dans la couche sous-jacente (dénitrification) (figure 4). L'environnement anaérobie accroît, entre autres, l'ammonification, la réduction des sulfates et l'accroissement des flux de silicates (Gallardi 2014). La réduction des sulfates produit des composés sulfurés toxiques comme l'hydrogène sulfuré (H₂S) qui peut être transporté par les bulles de méthane (CH₄) vers la surface du sédiment puis vers la surface de l'eau (Holmer *et al.* 2005). Or, ce composé est nocif pour les organismes benthiques et pélagiques (Diaz & Rosenberg 1995; Newell 2004), cet effet pouvant se cumuler avec la baisse de la teneur en oxygène de la colonne d'eau quand l'eutrophisation est exacerbée (Paerl 2006; Diaz & Rosenberg 2008). Il est important de souligner que l'oxygène dissous est essentiel pour l'aquaculture marine (à l'exception de l'algoculture) et qu'une forte diminution de celui-ci au niveau bathymétrique des individus en élevage entraînerait un stress et donc une baisse de productivité, voire une mortalité des organismes, ce qui est incompatible avec l'activité. La figure 6 donne une représentation schématique de ces constats. Ainsi, le potentiel oxydo-réduction et les concentrations en sulfures sont des indicateurs fiables du niveau d'enrichissement des sédiments (Price & Morris 2013).

Concernant les débris coquilliers, leurs dépôts sur des substrats meubles permettent la fixation de larves de bivalves. A terme, l'installation des individus sur ces résidus d'élevage comme ceux des huîtres de l'espèce *Magallana* (= *Crassostrea*) *gigas*⁴⁴ peuvent former des récifs et transformer un habitat meuble bidimensionnel en un habitat de substrat dur tridimensionnel hébergeant une forte biodiversité (Herbert *et al.* 2016; Craeymeersch & Jansen 2019) (figure 7). Malgré le fait que ces récifs puissent présenter des effets bénéfiques pour la protection du trait de côte et la production halieutique (Hancock & zu Ermgassen 2019; Ysebaert *et al.* 2019), il n'en demeure pas moins que ces récifs rentrent en compétition trophique avec les huîtres élevées et qu'ils sont en Europe un habitat allochtone⁴⁵ étant composés d'individus d'une espèce invasive (mais avec un statut législatif particulier. cf. Partie « Dispositif réglementaire » II-F.8.).

⁴³ Réaction dans laquelle s'effectuent simultanément, par un échange d'électrons, une oxydation du réducteur et une réduction de l'oxydant, l'un des corps en présence se comportant comme un donneur d'électrons (réducteur) et l'autre comme un accepteur d'électrons (oxydant). <http://www.cnrtl.fr/definition/oxydo-r%C3%A9duction>

⁴⁴ (Thunberg, 1793).

⁴⁵ Qui n'est pas originaire du pays qu'il habite. www.cnrtl.fr/definition/allochtone

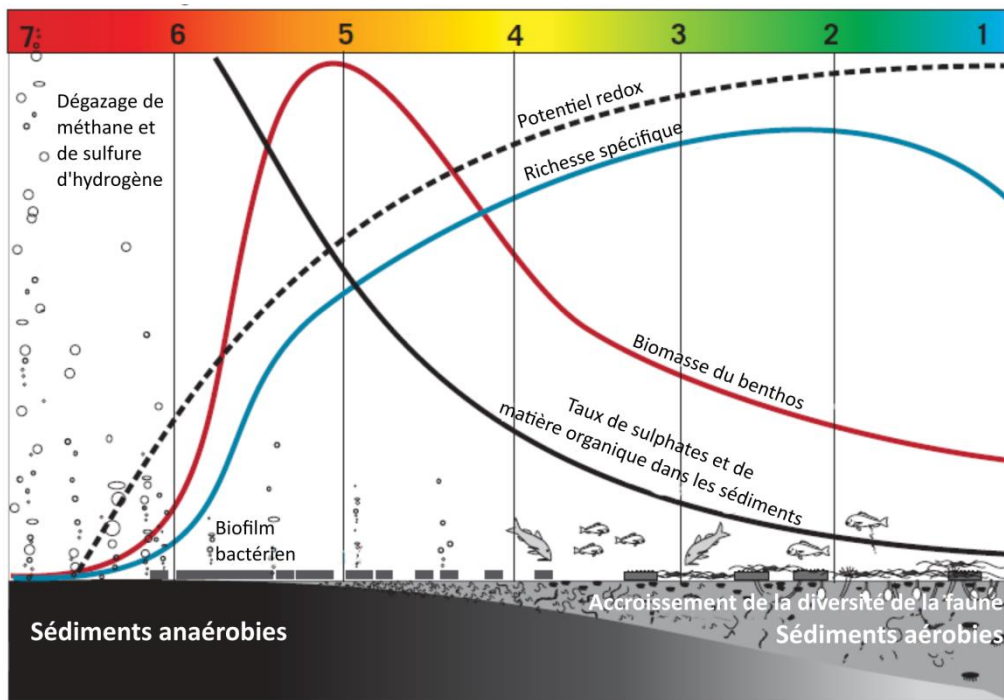


Figure 6 : gradient d'enrichissement et changement attendu dans la faune et dans la composition organique des sédiments pour un site présentant de faibles courants. Le stade 1 est considéré comme non-impacté tandis que le stade 7 est hautement enrichi avec une absence d'oxygène et de faune. Le stade 5 présente la plus forte productivité benthique montrant une prolifération d'une ou plusieurs espèces opportunistes tolérante à l'enrichissement. Ce stade 5 est le plus haut niveau acceptable pour les effets benthiques sous les élevages de saumon dans la baie de Marlborough en Nouvelle-Zélande (traduit d'après Ministry for Primary Industries 2013).



Figure 7 : récifs d'huîtres (*Magallana (Crassostrea) gigas*) recouvrant un platier rocheux (vues proche et d'ensemble). Pointe du Jeamblet. Commune de l'île d'Aix, PNM de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photos : R. Coz / Office français de la biodiversité).

Ces processus biogéochimiques dans les sédiments ou la création de récifs de bivalves sont en mesure de modifier sensiblement à profondément l'abondance et la composition des espèces benthiques (Newell 2004; Wildish & Pohle 2005; Dubois *et al.* 2007; Bouchet & Sauriau 2008; Holmer *et al.* 2008; Dumbauld *et al.* 2009; Mirto *et al.* 2010; Price & Morris 2013; Ferriss *et al.* 2016; Craeymeersch & Jansen 2019). Par exemple, dans une expérience de « *Benthocosmes*⁴⁶ » Callier *et al.* (2009) montrent que l'abondance totale et la richesse

⁴⁶ Au même titre que les mésocosmes, un benthocosme est une forme d'écotron, dispositif expérimental confiné et contrôlé ou semi-contrôlé au sein duquel un expérimentateur peut faire varier tout ou une partie des paramètres du milieu (température, salinité, concentration en polluants, etc.).

spécifique diminuent avec l'accroissement des bio-dépôts en faveur d'espèces opportunistes (*Capitella* spp.⁴⁷) et au dépend d'espèces sensibles. Cette espèce tolérante à l'hypoxie et à des taux élevés d'hydrogènesulfure est typique des sédiments enrichis (Wildish & Pohle 2005). De manière plus nuancée, Holmer *et al.* (2008) montrent un impact de la pisciculture sur les herbiers de *Posidonia oceanica*⁴⁸ et sur la méiofaune mais pas sur la macrofaune benthique.

Afin de suivre ces évolutions, de nombreux indices peuvent être estimés pour évaluer les potentielles modifications dans les communautés benthiques : courbes de dominance k, indice de Shannon-Wiener / de Pielou / de Simpson, modèle SAB de Pearson & Rosenberg (1978), etc. (Heip *et al.* 1998; Grall & Coïc 2005). Néanmoins, compte tenu de la variabilité des écosystèmes à travers le monde, le couplage de données biologiques et chimiques comme le propose Hargrave *et al.* (2008) (tableau 11) semble être la meilleure solution (Price & Morris 2013). Dans le cadre de leur revue sur les effets des fermes piscicoles sur les sédiments, Wildish & Pohle (2005) indique que la résilience de la macrofaune benthique suite aux perturbations relatives à ces installations aquacoles varie de 6 mois à plus de 2 ans.

De manière générale, les impacts sur les sédiments et les communautés benthiques associées sont confinés à une centaine de mètres autour des cages et demeurent dépendants des facteurs déjà cités en amont (Price & Morris 2013) : densité d'élevage, aliments, hydrodynamisme, typologie sédimentaire et des masses d'eau, etc.

Pour finir sur les interactions entre l'aquaculture marine, la colonne d'eau et les sédiments associés et par voie de conséquence sur la production primaire et la faune et la flore benthiques, et afin d'appréhender la complexité des processus en jeu, il est intéressant de citer plusieurs tableaux recensant de très nombreuses publications attestant ou non de l'effet des élevages marins sur les écosystèmes associés :

- Pour la conchyliculture, le tableau 7.1 (p. 160-162) dans la revue de Burkholder & Shumway (2011) ;
- Pour la pisciculture marine, l'ensemble des tableaux dans la revue de Price *et al.* (2015).

⁴⁷ Blainville, 1828.

⁴⁸ (Linnaeus) Delile, 1813.

Tableau 11 : nomogramme⁴⁹ adapté et modifié de Hargrave *et al.* (2008) décrivant les relations entre géochimie et biologie dans les sédiments marins soumis à un enrichissement en matière organique.

Stress d'oxygène dans les sédiments																
		Pré-Hypoxie			Apériodique		Modéré		Sévère		Anoxie persistante					
Oxygène dissous ml/L		3 - 10			< 2 - 0,1		2 - 0,5		< 0,5		0					
Processus métaboliques dans le sédiment																
Réactions métaboliques dominantes		Métabolisme aérobie			Chimiosynthèse aérobie				Réduction des sulfates		Chimiosynthèse anaérobie					
		Respiration et Photosynthèse (O ₂ et CO ₂)			SO ₄ ²⁻ réduit en H ₂ S et S ²⁻						CO ₂ réduit en carbohydrates par oxydation du H ₂ , H ₂ S, Fe ²⁺ , NO ₂ ⁻					
PH																
pH		8					7			6		5				
Risques pH		Acceptable					Transitoire			Non acceptable						
Potentiel d'oxydo-réduction (Eh)																
Eh (gamme en mV)		>100			100 à -50		-50 à -100		-100 à -150		<-150					
Sulfure libre total																
Gamme de sulfure (µM)		min														
		<50	100	200	300	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	>10000	
		max														
		100	200	300	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000		
Changements biologiques associés à la progression de conditions oxiques à anoxiques																
Classification du gradient d'enrichissement organique		Normal			Transitoire				Pollué			Extrêmement pollué				
Indicateurs de la biodiversité des espèces benthiques		Elevé			Moyen				Faible			Très faible				

1.c. Interactions relatives à la biogéochimie de la colonne d'eau et à la sédimentation pour les habitats et les espèces Natura 2000

Les pressions potentielles retenues comme conséquences possibles des modifications relatives à la biogéochimie de la colonne d'eau et à la sédimentation sont, pour trois d'entre elles, relatives aux pressions physiques et, pour les quatre autres, relatives à la catégorie « substances, déchets et énergie ». Elles ont trait à la modification de la charge en matière dissoute ou particulaire (C6, C7 et M12)⁵⁰, au dépôt de matériel sur le fond (M9 et M10)⁵¹ et, par conséquence de l'eutrophisation, une désoxygénation du milieu (C8). Si ces pressions primaires présentent une intensité élevée, elles peuvent engendrer une pression secondaire dite de « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2) », pression à laquelle tous les habitats sont très fortement sensibles puisque les composantes abiotiques et biotiques qui les caractérisent sont modifiées de manière permanente.

Les espèces Natura 2000 ne sont pas ou peu directement impactées par la sédimentation ou les changements biogéochimiques dans la colonne d'eau mais peuvent l'être indirectement si ceux-ci engendrent une modification de l'habitat et donc des fonctions de celui-ci (zone de

⁴⁹ Méthode de représentation graphique permettant d'exprimer dans une même figure (*nomogramme*) les relations numériques qui lient entre elles les variables d'un système donné.

⁵⁰ Modification des apports en nutriments (C6) ; Modification des apports en matériel organiques (C7) ; Modification de la charge en particules (M12).

⁵¹ Dépôt faible de matériel (M9) ; Dépôt important de matériel (M10).

repos, d'alimentation, de nourricerie, etc.). Par exemple, les conséquences de l'eutrophisation (ex : blooms phytoplanctoniques, baisse des teneurs en oxygène) peuvent entraîner une fuite des populations pour échapper aux conditions délétères que ce soit pour elles ou pour leurs proies. A ce titre, les lamproies (1095 et 1099) ont besoin d'une eau fraîche et bien oxygénée (Bensettiti & Gaudillat 2002).

Le tableau 13 donne la *sensibilité* et la *sensibilité potentielle* des habitats N2000 respectivement aux pressions physiques et aux pressions de la catégorie « substances, déchets et énergie ». Le choix des valeurs pour la *sensibilité potentielle* s'est basé, en premier lieu, quand cela été possible⁵² (tableau 12), sur les sensibilités des habitats aux pressions référencées dans MarLIN (Marine Life Information Network), les travaux de l'UMS patrimoine naturel n'ayant à ce jour traités que les pressions physiques, puis, en l'absence de correspondance pertinente, sur les définitions des cahiers d'habitats (Bensettiti *et al.* 2004). Pour cette dernière partie, les éléments ci-dessous ont été pris en compte pour donner une valeur de *sensibilité potentielle* :

- Premièrement, l'hydrodynamisme (courant de marée et/ou exposition à la houle) inhérent à l'habitat considéré. En effet, plus les masses d'eau sont dynamiques, plus l'ensemble des pressions considérées pour ces interactions sont atténuées rendant l'habitat moins sensible ;
- Deuxièmement, les conditions initiales des masses d'eau et du substrat dans lesquelles s'est développé l'habitat considéré. Par exemple, un habitat présent dans un milieu oligotrophe et/ou oxique sera plus sensible à ces pressions qu'un habitat d'un milieu eutrophe et/ou hypoxique ;
- Troisièmement, la présence d'espèces caractéristiques, structurantes et/ou ingénieurs sensibles du fait de leur caractère photosynthétique à la turbidité (ex : phanérogames marines) ou aux conséquences possibles de l'eutrophisation (ex : développement d'algues vertes sur les massifs d'hermelles).

Plusieurs autres critères mériteraient d'être intégrés à cette évaluation comme la sensibilité des espèces animales caractéristiques, structurantes et/ou ingénieurs à l'hypoxie / l'anoxie de la colonne d'eau et des sédiments. Néanmoins, le manque d'informations et de connaissances disponibles ne permet pas de prendre en compte de critères supplémentaires et cette évaluation mériterait probablement une expertise complémentaire. Les éléments présentés sont donc indicatifs et représentent une synthèse des connaissances susceptibles d'être améliorées.

⁵² *i.e.* quand le niveau d'habitat N2000 était suffisamment précis pour être pertinent, par le biais de sa correspondance avec le classification EUNIS, à la classification « *UK Marine Habitat Classification for Britain and Ireland v04.05* ».

Tableau 12 : correspondances utilisées pour les pressions non physiques entre les différentes classifications des cahiers d'habitats, EUNIS et MarLIN.

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Code EUNIS 2008	Intitulé MarLIN (UK Marine Habitat Classification for Britain and Ireland v04.05)
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine		
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	A5.5331	<i>Zostera (Zostera) marina</i> beds on lower shore or infralittoral clean or muddy sand
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	A5.51	Maerl beds
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	A5.51	Maerl beds
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse		
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	A2.6111	<i>Zostera (Zosterella) noltei</i> beds in littoral muddy sand
1150	Lagunes côtières*		
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	A2.231	Polychaetes in littoral fine sand
1160	Grandes criques et baies peu profondes		
1160-2	Bancs de maerl (façade atlantique)	A5.51	Maerl beds
1170	Récifs		
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	A2.711	<i>Sabellaria alveolata</i> ⁵³ reefs on sand-abraded eulittoral rock

⁵³ (Linnaeus, 1767).

Tableau 13 : *sensibilité* (pressions physiques) et *sensibilité potentielle* (pressions « substances, déchets et énergie ») des habitats Natura 2000 aux pressions potentielles exercées par les élevages marins et la biogéochimie dans la colonne d'eau et les sédiments. IC : indice de confiance (La Rivière *et al.* 2015) ; NC : non concerné. Les * indiquent les habitats prioritaires. ¹ Sensibilité potentielle issue des travaux du Marine Life Information Network ; NS : non sensible ; AP : aucune preuve. Méd. : Méditerranée ; Alt : façade atlantique.

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Sensibilité				Sensibilité potentielle		
		Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2)	Dépôt faible de matériel (M9)	Dépôt important de matériel (M10)	Modification de la charge en particules (M12)	Modification des apports en nutriments (C6)	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Désoxygénation (C8)
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine							
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à <i>Z. marina</i>.	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modéré ¹ (IC: Moyen)	Modéré ¹ (IC: Moyen)	NS ¹
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Modéré
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Très haute (IC: Haut)	Haute (IC: Haut)	Haute (IC: Haut)	Haute (IC: Faible)	NS ¹	Haut ¹ (IC: Haut)	Haut ¹ (IC: Haut)
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Modéré
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modéré	Modéré	Modéré
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	NS ¹	Haut ¹ (IC: Haut)	Haut ¹ (IC: Haut)
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*							
1120-1	Herbiers à Posidonies*	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Haut)	Variable	Variable	Variable
1130	Estuaires							
1130-1	Slikke en mer à marées	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Haut)	Variable (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Sensibilité				Sensibilité potentielle		
		Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2)	Dépôt faible de matériel (M9)	Dépôt important de matériel (M10)	Modification de la charge en particules (M12)	Modification des apports en nutriments (C6)	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Désoxygénation (C8)
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse							
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	NC	NC	NC	NC
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	NC	NC	NC	NC
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Faible	Faible	Faible
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modéré ¹ (IC: Moyen)	Modéré ¹ (IC: Moyen)	NS ¹
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	NC	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Modéré
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans lisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Haute (IC: Moyen)	NC	NC	NC	NC
1140-8	Lisses à dessiccation lent (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	NC	NC	NC	NC
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Modéré	Modéré	Faible
1150	Lagunes côtières*							
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	NS ¹	NS ¹	Faible ¹ (IC: Haut)
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Haute	Haute	Haute
1160	Grandes criques et baies peu profondes							
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Modéré
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Très haute (IC: Moyen)	Très haute (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	NS ¹	Haut ¹ (IC: Haut)	Haut ¹ (IC: Haut)
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Modéré	Modéré	Modéré
1170	Récifs							
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	NC	NC	NC	NC

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Sensibilité				Sensibilité potentielle		
		Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2)	Dépôt faible de matériel (M9)	Dépôt important de matériel (M10)	Modification de la charge en particules (M12)	Modification des apports en nutriments (C6)	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Désoxygénation (C8)
1170	Récifs (suite)							
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modéré	Modéré	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Faible)	Variable (IC: Faible)	Très Faible (IC: Haut)	NS ¹	NS ¹	Faible ¹ (IC: Faible)
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Faible	Faible	Faible
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Moyen)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modéré	Modéré	Faible
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Variable	Variable	Variable
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	Très haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	NC	NC	NC	NC
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	NC	NC	NC	NC
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	NC	NC	NC	NC
	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée). Association à <i>L. byssoides</i>	Très haute (IC: Haut)	Très haute (IC: Moyen)	Très haute (IC: Moyen)	Modérée	Faible	Faible	Faible
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Très haute (IC: Haut)	Modérée (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	NC	Variable	Variable	Faible
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Moyen)	Très haute (IC: Moyen)	Variable (IC: Moyen)	Haute	Haute	Faible

C.2. INTERACTIONS RELATIVES AUX INFRASTRUCTURE ET AUX EQUIPEMENTS ASSOCIES

2.a. Installation d'infrastructures et gestion courante

Les infrastructures d'élevages peuvent avoir un impact physique direct sur le milieu marin lors de leur implantation (pertes d'habitat marin au profit d'un habitat terrestre ou dulcicole (M1), extraction de substrat (M3)) puis lors de leur exploitation comme dans le cas des déplacements d'engins motorisés en zone intertidale (les tracteurs, barges amphibies) (tassement (M4) / abrasion des sédiments (M5, M6 et M7), remaniement (M8), dépôt de matériel (M9 et 10), émission de bruits et de lumière (P8 et P10) (De Grave *et al.* 1998; Forrest *et al.* 2009). Les infrastructures annexes à terre (bâtiments d'exploitation, émissaires de rejets en mer) peuvent également impacter les habitats marins en phase de construction et d'exploitation. Ces impacts peuvent se traduire par des modifications d'habitats et des espèces associées à des degrés divers (altération du fonctionnement naturel, dérangement des espèces, destruction d'habitats, etc.). L'étendue spatiale de ces interactions reste généralement limitée à la zone d'emprise du site et de ses abords immédiats. Elles peuvent persister dans le temps, tant que les infrastructures restent en place.

La présence d'infrastructures aquacoles sur l'estran ou en pleine eau (bouchots, tables, cages) (figure 8.a) va modifier l'hydrodynamisme (M11) par un accroissement de la vitesse d'écoulement et donc potentiellement de l'érosion et/ou par un ralentissement des courants augmentant ainsi la sédimentation (figure 9) (modification de la charge en particules (M12)). Ces modifications dans les bilans sédimentaires peuvent amener à des changements de la topographie (*e.g.* Panchang *et al.* 1997; Henderson *et al.* 2001; Bertin & Chaumillon 2006; Bi & Xu 2018) et donc à des modifications d'habitats par des changements de bathymétrie, de temps d'immersion, etc. Les structures d'élevages peuvent aussi réduire la quantité de lumière atteignant le fond par l'ombre portée induisant une réduction de la production primaire (Forrest *et al.* 2009).

L'aquaculture en lagunes et en bassins (in)submersibles (*e.g.* claires ostréicoles) peuvent aussi modifier l'hydrologie et le transport sédimentaire par le cloisonnement des masses d'eau ou des zones humides. Aussi, par le biais de leurs rejets d'eau, les bassins à terre (claires ostréicoles, bassins de pisciculture) sont aussi en mesure de modifier localement la température et la salinité de l'eau de mer à proximité des émissaires.



Figure 8 : (a) Paysage de bouchots mytilicoles dans la baie de Canche. Commune de Camiers, PNM des estuaires picards et de la mer d'Opale (photo : L. Mignaux / Terra). (b) Paysage de claires ostréicoles dans l'estuaire de la Seudre. Commune de Marennes, PNM de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : L. Mignaux / Terra).

La présence de ces infrastructures et leur gestion sur la frange littorale présente des effets bénéfiques pour la gestion du trait de côte. Ainsi, les bouchots et les tables sur l'estran participe à la lutte contre l'érosion par l'atténuation de la houle (Sornin 1982). Aussi,

l'élevage et l'affinage des huîtres en claires par l'usage des anciens bassins de sauniers (Amanieu 1973) (figure 8.b), contribue à une gestion dynamique du marais, en entretenant un réseau hydraulique salé fonctionnel et une bonne alimentation en eau salée, indispensables au maintien de l'habitat lagunaire et des marais anthropisés qui sont des zones tampons en cas de submersion (e.g. Shepard *et al.* 2011; Spalding *et al.* 2014).

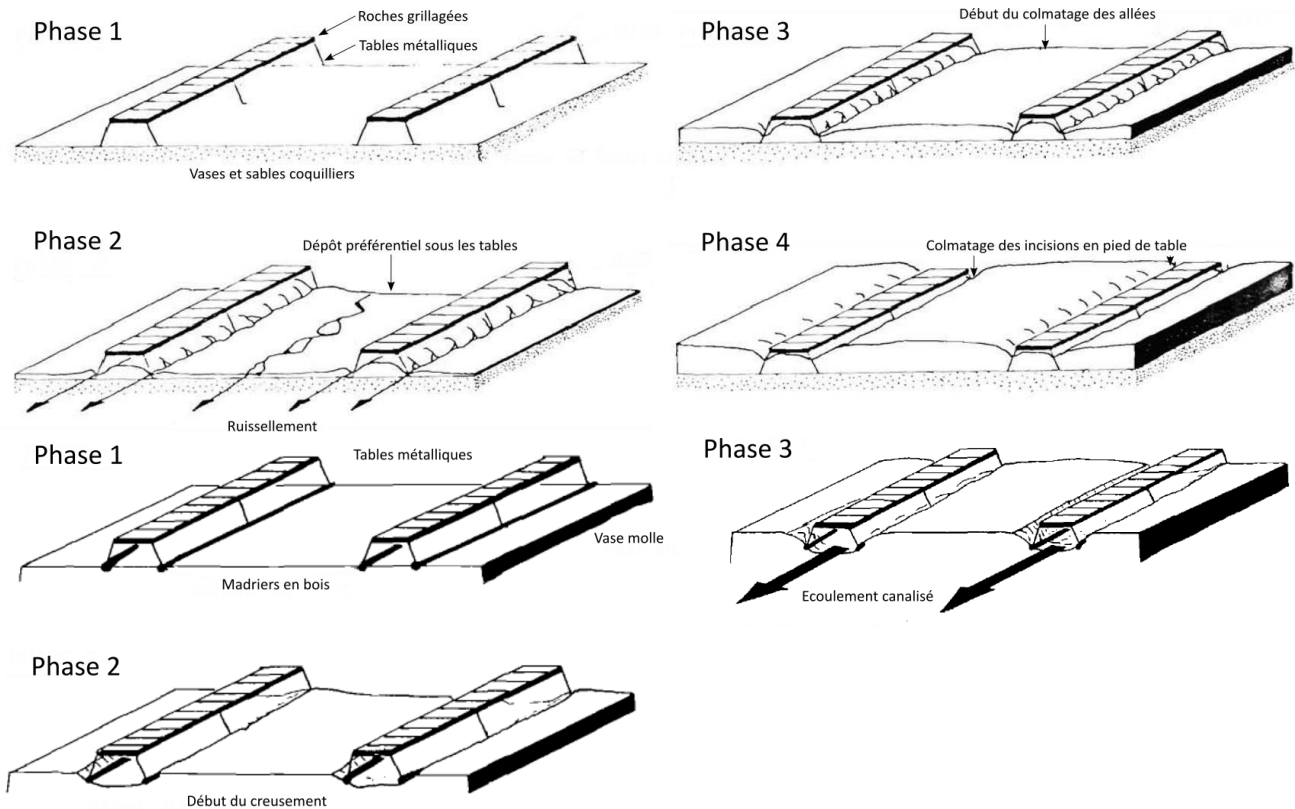


Figure 9 : exhaussement du sol sous des tables ostréicoles installées sur un substratum dur (en haut). Creusement du sol sous des tables ostréicoles installées sur un substratum mou (en bas) (Sornin 1982).

2.b. Déchets

Une autre interaction physique de l'aquaculture sur le milieu marin concerne le risque de rejet à la mer et le dépôt en haut d'estran de macro-déchets (Déchets solides P4). Ces derniers sont constitués principalement de matières plastiques (poches, coupelles, élastiques, bâtonnets écarteurs, emballages pour les aliments, bouées, filets de protection dits filets de catinage, etc.), de cordages et de filières arrachés des infrastructures par les tempêtes et les courants marins (Lusher *et al.* 2017; Fournier 2018) (figure 10). L'ensemble des plastiques rejetés par les activités anthropiques, dont l'aquaculture constitue une partie, représentent un impact majeur sur les écosystèmes marins : enchevêtrement (pêche fantôme), étranglement et ingestion pour la macrofaune (notamment les tortues et les oiseaux marins) ; étouffement par recouvrement pour la faune et la flore benthique ; éventuel support pour le transport et la dispersion d'espèces non-indigènes pouvant être invasives (Murray 2009; Rech *et al.* 2016, 2018; Campbell *et al.* 2017). De plus, leur dégradation par les ultra-violet (U.V.), l'action des vagues, l'abrasion et les changements de température entraînent la formation de nano (< 0,1 μm) et de microplastiques (< 5 mm) ingérables par le

zooplancton, les organismes filtreurs / détritivores, etc. Or, ces plastiques sont hydrophobes et peuvent concentrer de nombreux polluants eux-mêmes hydrophobes⁵⁴ qui peuvent se bioaccumuler le long de la chaîne trophique (e.g. Ivar do Sul & Costa 2014; Law & Thompson 2014; Thompson 2015) (figure 11). De ce fait, que le transfert soit direct ou indirect, les plastiques et les polluants potentiellement associés peuvent se retrouver dans les aliments provenant des océans, dont ceux produits par l'aquaculture (e.g. Auta *et al.* 2017). Par exemple, dans une étude concernant des organismes marins achetés sur des marchés aux États-Unis et en Indonésie, Rochman *et al.* (2015) montrent qu'un quart d'entre eux avaient des débris plastiques dans le système digestif. Le même constat a été fait dans les tissus de bivalves d'élevages et sauvages près de l'île de Vancouver (moyenne de 147 microplastiques par gramme de tissu), au sein desquels les individus élevés présentaient de plus fortes concentrations de microplastiques sans pouvoir en déterminer l'origine (Murphy 2018). Le type d'alimentation affectant l'exposition aux plastiques, les organismes filtreurs sont plus susceptibles d'ingérer ces particules (Setälä *et al.* 2016). Or, cela implique d'éventuels risques sanitaires pour les populations humaines, une forte exposition continue aux nanoplastiques – dont le danger du à leurs propriétés intrusives intracellulaires est actuellement étudié – pouvant potentiellement affecter le système nerveux central, le système immunitaire, le système reproductif, etc. (e.g. Wright & Kelly 2017; Smith *et al.* 2018; Waring *et al.* 2018). Ainsi, même si l'aquaculture marine utilise des plastiques conçus pour résister à certaines conditions (U.V., immersion, etc.) (Schoof & DeNike 2017) et ne constitue pas la première source de plastique en mer, les organismes élevés ou sauvages et les consommateurs peuvent être impactés par ces pollutions quelle que soit leur origine.



Figure 10 : coupelles en plastique servant de collecteurs pour le naissain. Commune de Bourcefranc-Le-Chapus (photo : F. Colas / AFB / PNM Estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis). Filets de protection contre la déprédation. Commune de Quend (photo : L. Viera / AFB / PNM des estuaires picards et de la mer d'Opale).

⁵⁴ Polluants organiques persistants (POPs comme les dioxines, les PCBs ou le DDT) ; Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) ; éléments-traces métalliques (ETM).

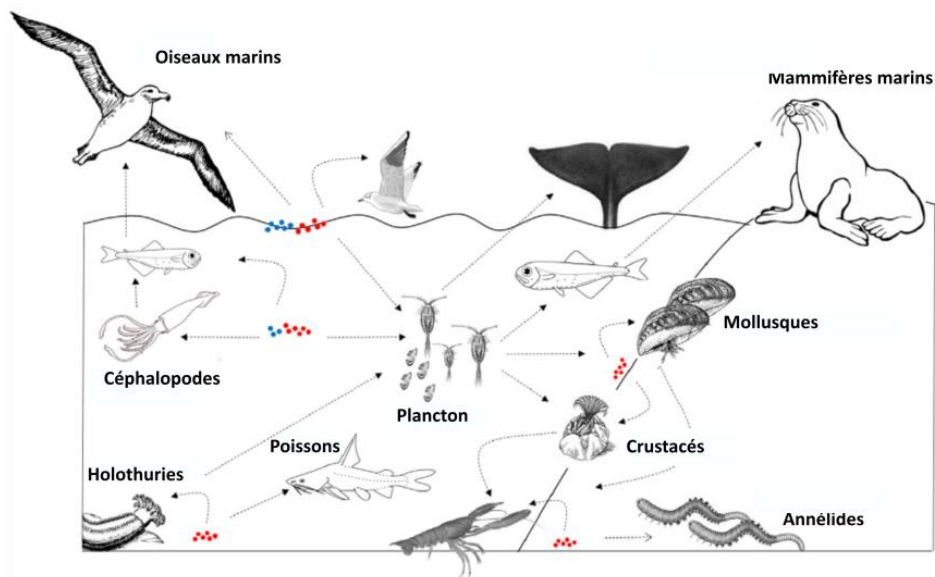


Figure 11 : modèle conceptuel des voies trophiques potentielles des microplastiques à travers les vertébrés et invertébrés. Les points bleus représentent des polymères moins denses que l'eau de mer et les points rouges des polymères plus denses que l'eau de mer (*i.e.* PVC) (Ivar do Sul & Costa 2014).

2.c. Attractivité pour les espèces vagiles

Les structures aquacoles en mer présentent pour les populations sauvages un intérêt particulier en offrant des lieux d'alimentation et d'abris contre la prédation. En effet, les infrastructures d'élevage peuvent engendrer des effets type « récifs artificiels » se rapprochant des dispositifs de concentrations de poissons (*e.g.* Sanchez-Jerez *et al.* 2011) en présentant des surfaces sur lesquelles vont pouvoir se fixer de nombreuses espèces animales ou végétales (balanes, bryozoaires, algues, pétoncles, annélides polychètes, etc.) (figure 12.a) d'intérêt pour les populations sauvages (Dumbauld *et al.* 2009; McKindsey *et al.* 2011; Price & Morris 2013; Gallardi 2014; Callier *et al.* 2018) (figure 12.b). De plus, les éventuels excédents alimentaires de la pisciculture, le « *positive feedback* » exercée par les bivalves sur la production primaire (cf. II.C.1.a) ou encore les espèces élevées peuvent constituer des sources alimentaires attractives pour une multitude d'espèces d'invertébrés ou de vertébrés (pour une revue Callier *et al.* 2018). Par exemple, au Pays de Galles (PG) et en Colombie-Britannique (CB), concernant les oiseaux, la macreuse à front blanc, *Melanitta perspicillata*⁵⁵ (CB), le garrot d'Islande *Bucephala islandica*⁵⁶ (CB), le courlis cendré, *Numenius arquata*⁵⁵ (PG), le chevalier gambette, *Tringa totanus*⁵⁵ (PG) ou encore l'huître pie, *Haematopus ostralegus*⁵⁷ (PG) tirent bénéfices des cultures de moules avec même un accroissement des effectifs pour une partie d'entre eux (Caldow *et al.* 2003; Žydelis *et al.* 2009). Des changements dans les communautés d'oiseaux autour des cages d'élevages sont aussi observés (Jiménez *et al.* 2013; Aguado-Giménez *et al.* 2018). Pour les poissons, la sole, *Solea solea*⁵⁵ s'accommode des tables à huîtres comme zones de repos (Laffargue *et al.* 2006), les bogues, *Boops boops*⁵⁵, les mullets, *Liza aurata*⁵⁸ ou *Chelon labrosus*⁵⁹, les oblades, *Oblada melanura*⁵⁵ sont autant espèces qui se concentrent au niveau des cages à

⁵⁵ (Linnaeus, 1758).

⁵⁶ (Gmelin, 1789).

⁵⁷ Linnaeus, 1758.

⁵⁸ (Risso, 1810).

⁵⁹ (Risso, 1827).

poissons aux stades adultes ou juvéniles sans pour autant se restreindre à ces zones d'élevages (Fernandez-Jover *et al.* 2009; Arechavala-Lopez *et al.* 2010; Arechavala-Lopez *et al.* 2011). Ces populations sauvages peuvent réduire significativement les rejets des cages, comme c'est le cas dans Felsing *et al.* (2005) dans l'ouest de l'Australie, avec 40 % à 60 % des effluents qui sont consommés par les poissons. Ces constats relatifs à l'attractivité des installations aquacoles sont identiques pour des espèces emblématiques comme les mammifères marins, les requins ou encore les tortues (Würsig & Gailey 2002; Kemper *et al.* 2003; Díaz López 2017; Callier *et al.* 2018). Díaz-López *et al.* (2005) parle ainsi « d'effet éponge » concernant la pisciculture marine.

Au final, comme expliqué au II.C.1 les structures d'élevages et les espèces produites affiliées sont en mesure de modifier les habitats et puis par un effet de cascade les réseaux trophiques préexistants et les comportements des espèces sauvages mobiles (migration, alimentation, reproduction, etc.).



Figure 12 : (a) Parcs ostréicoles recouverts de *Fucus* spp. Commune d'Agon-Coutainville, golfe normand-breton (photo : L. Mignaux / Terra). (b) Aigrettes garzettes (*Egretta garzetta* (Linnaeus, 1766)) dans les parcs ostréicoles, entre les pignots colonisés par les moules. PNM du bassin d'Arcachon (photo : N. Gauyacq / Office français de la biodiversité). (c) Poches à huitres couvertes de biofouling (photo : T. de Bettignies / UMS PatriNat (AFB, CNRS, MNHN)). (d) Tables à huitres servant de protection à des alevins (photo : A. Pibot / Office français de la biodiversité). (c et d) Site Natura 2000 Ria d'Étel.

2.d. Entretien des structures d'élevage et des fonds marins

Comme tout élément solide immergé de manière permanente ou régulière en mer, les structures d'aquaculture marine vont être sujettes à la colonisation de nombreux organismes (algues, ascidies, éponges, bivalves, cnidaires, etc.) ou *biofouling* qui peuvent porter atteinte à leur intégrité et à leur fonctionnement (dommage physique, interférence mécanique chez

les bivalves, compétition trophique et modification environnementale) (pour une revue, Fitridge *et al.* 2012) (figure 13). Ainsi, la prévention contre la colonisation (*antifouling*, enlèvement des structures lors des pics de recrutement) et/ou le retrait des organismes fixés (par des moyens physiques, par contrôle biologique) représentent un coût en matériel et/ou en main d'œuvre potentiellement non négligeable pour les entreprises et peuvent interagir avec l'environnement.

Les aspects relatifs à l'usage de produits chimiques sont développés au II.C.6. Concernant les autres méthodes, les principales pressions sont celles relatives à l'enrichissement de la colonne d'eau et des sédiments en matière organique si le nettoyage est réalisé en mer ou sur l'estran (M9, M10 et M12 ; C6, C7 et C8 ; P11. Cf. tableau 7 et II.C.1) et les pressions correspondant à la gestion courante (cf. II.C.2.a). Il a même pu être observé des blooms d'*Ulva prolifera*⁶⁰ en mer jaune suite à leur nettoyage sur les structures de cultures de *Porphyra*⁶¹ (Keesing *et al.* 2011).

L'entretien des concessions et la gestion courante de l'activité peuvent aussi concerner le substrat sur lequel repose les structures d'élevages ou dans lequel croissent les espèces élevées. Ces interactions sont relatives :

- A l'entretien des concessions d'élevage au sol lors de l'élevage et lors de la récolte des coquillages à l'aide de herse ;
- A l'entretien des concessions sur tables ou sur bouchots en zone intertidale (désenvasement, retrait de récifs d'huîtres / des crépidules⁶²).

Les pressions potentielles exercées par ces opérations sur les sédiments vont être principalement une déstructuration de(s) l'habitat(s) par « Abrasion (M5, M6 et M7) », « Tassement (M4) » et/ou « Remaniement (M8) » avec l'ensemble des effets secondaires associés (cf. II.C.1) et une mortalité accrue des espèces benthiques (e.g. Toupoint *et al.* 2008; Mercado-Allen & Goldberg 2011; Clarke *et al.* 2017).

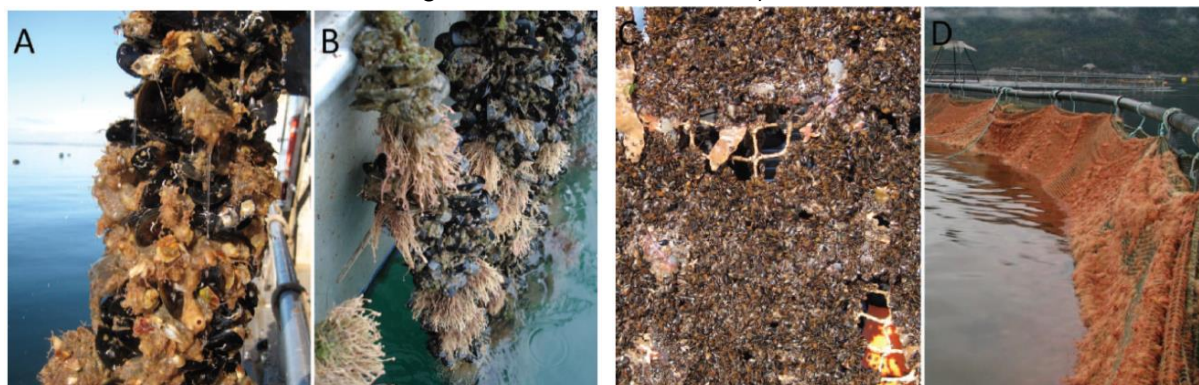


Figure 13 : organismes encrassant (*biofouling*) communément associés avec les infrastructures d'aquaculture marine : (a) *Ciona intestinalis*⁶³ (ascidie jaune) ; (b) *Ectopleura crocea*⁶⁴ (pinkmouth hydroid) ; (c) *Mytilus edulis*⁶⁵ (moule bleue) ; (d) *Ectopleura larynx*⁶⁶ (ringed tubularia) (Fitridge *et al.* 2012).

⁶⁰ O.F. Müller, 1778.

⁶¹ C. Agardh, 1824.

⁶² *Crepidula fornicata* (Linnaeus, 1758).

⁶³ (Linnaeus, 1767).

⁶⁴ (Agassiz, 1862).

⁶⁵ Linnaeus, 1758.

⁶⁶ (Ellis & Solander, 1786).

2.e. Interactions relatives aux infrastructures et équipements associés pour les habitats et les espèces Natura 2000

Les pressions potentielles retenues relatives aux infrastructures et équipements associés concernent la totalité des pressions physiques détaillées dans le tableau 7, à l'exception des « Modifications du pH (P7) ». Concernant les autres catégories de pressions, elles concernent :

- Pour la catégorie « substances, déchets et énergie » :
 - Déchets solides (P4) ;
 - Emissions sonores (et vibrations) (P8) ;
 - Modification des apports en nutriments et en matériel organique (C6 et C7) ;
 - Introduction de lumière artificielle et diminution de la lumière naturelle (P10 et P11) ;
 - Modification de la température (P5).
- Pour la catégorie des pressions biologiques :
 - Obstacle au mouvement (P1) ;
 - Mort ou blessure par collision/interaction (P2) ;
 - Dérangement visuel d'espèces (P3).

Le tableau 14 donne la sensibilité des habitats aux pressions potentielles générées par les infrastructures et les équipements associés. Les pressions déjà mentionnées dans le tableau 13 n'ont pas été réinscrites dans celui-ci.

Ainsi, par rapport aux pressions relatives aux infrastructures et équipements associés, en plus de celles déjà mentionnées dans le tableau 13, seules celles relatives à la « Modification de la température (P5) » et à la « Modification de la salinité (P6) » semblent susceptibles de porter atteinte aux habitats. Elles sont donc intégrées au tableau 14.

Au même titre que pour le point précédent relatif aux interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments, en l'absence d'évaluation robuste de la sensibilité des habitats à ces pressions, il a été nécessaire d'établir des valeurs de *sensibilité potentielle* (cf. II.A.3.j.ii). En premier lieu, quand cela été possible⁶⁷ (tableau 12), elles se sont basées sur les sensibilités des habitats aux pressions référencées⁶⁸ dans MarLIN (Marine Life Information Network), puis, en l'absence de correspondance pertinente, sur les définitions des cahiers d'habitats (Bensettiti *et al.* 2004). Les critères ci-dessous ont été pris en compte pour donner une valeur de *sensibilité potentielle* des habitats vis-à-vis de ces deux pressions (P5 et P6) :

- Premièrement, l'exposition naturelle de l'habitat considéré à des variations élevées de salinité et de température. Ainsi, les habitats supratidaux et intertidaux (1140 ; 1170-1 à 4 et 8 à 12) ainsi que les estuaires (1130) et les lagunes (1160) sont à priori moins sensibles à ces variations que les habitats subtidaux.
- Deuxièmement, l'hydrodynamisme (courant de marée et/ou exposition à la houle) inhérent à l'habitat considéré. En effet, plus les masses d'eau sont dynamiques, plus ces deux pressions seront atténuées rendant l'habitat moins sensible ;
- Troisièmement, la présence d'espèces caractéristiques, structurantes et/ou ingénieurs sensibles à des variations de température et de salinité (espèces

⁶⁷ *i.e.* quand le niveau d'habitat N2000 était suffisamment précis pour être pertinent, par le biais de sa correspondance avec le classification EUNIS, à la classification « *UK Marine Habitat Classification for Britain and Ireland v04.05* ».

⁶⁸ Il est essentiel de noter que MarLIN différencie ces deux pressions (P5 et 6) selon si elles concernent une baisse ou une augmentation (de salinité ou de température). De ce fait, seules les valeurs les plus élevées de sensibilité ont été retenues dans le tableau 14.

sténothermes et/ou sténohalines) (Pérez & Romero 1992; Terrados & Ros 1995; Boudouresque 2004; Pagès *et al.* 2010; Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso 2011; Boudouresque *et al.* 2012; Ledoux *et al.* 2019).

Les autres pressions non décrites dans le tableau 14 peuvent avoir un impact potentiel sur les espèces Natura 2000. Néanmoins, ne disposant pas des connaissances nécessaires afin d'estimer une valeur de *sensibilité potentielle* (cf. II.A.3.k) précise pour chaque espèce ou groupe d'espèces aucune évaluation n'est fournie. Il reste toutefois possible de fournir quelques éléments quant à ces interactions :

- Pour les « Obstacles au mouvement (P1) » : dans le contexte spécifique aux cultures marines françaises, les structures d'élevages ne présentent pas d'obstacles infranchissables aux mouvements des populations. Ainsi, même si certaines espèces, comme les aloses sont sensibles aux obstacles (absence de comportement de saut (Bensettiti & Gaudillat 2002)), l'aquaculture marine n'expose pas de manière significative les espèces à ce type de pression. Néanmoins, un cas de grands dauphins piégés sous les tables ostréicoles a été recensé en 2017 sur la commune de Saint Vaast la Hougue, les individus ayant sans doute suivi du poisson à la côte et s'étant fait surprendre par la marée descendante⁶⁹.
- Pour les « Morts ou les blessures par collision / interaction (P2) » : cette pression peut intervenir dans le cas des infrastructures qui font appel à des cordes et des filets pour maintenir et/ou protéger les élevages, les individus pouvant s'enchevêtrer dedans et en mourir. Elle va concerner tous les cétacés, les pinnipèdes, les tortues, certains oiseaux de surface et les oiseaux plongeurs (benthiques ou pélagiques). Aussi, les navires d'exploitation sont susceptibles d'engendrer des dégâts issus de ce type de pression sur les espèces Natura 2000. Les mammifères marins et les tortues semblent être les espèces les plus sensibles à ce type de pression (e.g. Wells & Scott 1997; Hazel *et al.* 2007; Waerebeek *et al.* 2007; Work *et al.* 2010).
- Pour les « Déchets solides (P4) » : toutes les espèces marines, quelles qu'elles soient, sont concernées par l'ingestion de matières plastiques dégradées dans le milieu marin (figure 11). Les tortues, les oiseaux marins et les mammifères marins présentent une sensibilité particulière aux macrodéchets plastiques ainsi qu'aux cordes et filets abandonnés que ce soit par ingestion, strangulation, enchevêtrement, etc. (Müller *et al.* 2012; Kuhn *et al.* 2015; Santos *et al.* 2015; Wilcox *et al.* 2015). L'aquaculture marine pouvant être émettrice ces déchets dans les zones de production (collecteurs, filets de protection, tahitienne, etc.), elle participe à cette pression (Fournier 2018).
- Pour la « Modification des apports en matière organique (C7) » : par un effet indirect, l'attraction que ces apports exercent sur les proies de certaines espèces Natura 2000 peut être à terme dommageable.
Par exemple, pour le grand dauphin, Díaz López (2017) indique que les poissons concentrés autour des cages peuvent engendrer une dépendance de l'animal à l'approvisionnement par l'homme et son accoutumance au contact avec les hommes. De plus, les jeunes apprennent à chasser avec leur mère et les autres adultes, apprentissage qui est mis en péril dans le cas d'une alimentation « anthropisée ».

⁶⁹ <http://www.smel.fr/2017/03/23/echouages-a-saint-vaast-la-hougue/>

Ainsi, sous son aspect positif de prime abord cette pression peut avoir des effets indésirables sur les populations.

- Pour le « Dérangement visuel des espèces (P3) », les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) » et pour l'« Introduction de lumière artificielle (P10) » : les effets de ces pressions sont développés dans la section suivante (cf. II.C.3).

Tableau 14 : sensibilité des habitats Natura 2000 aux pressions physiques potentielles exercées par les infrastructures, les équipements associés et à la gestion courante des activités d'aquaculture marine. IC : indice de confiance (La Rivière *et al.* 2015) ; NC : non concerné. Les * indiquent les habitats prioritaires. ¹ Sensibilité potentielle issue des travaux du Marine Life Information Network ; NS : non sensible ; AP : aucune preuve. Méd. : Méditerranée ; Alt : façade atlantique.

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Sensibilité							Sensibilité potentielle		
		Extraction de substrat (M3)	Tassement (M4)	Abrasion superficielle (M5)	Abrasion peu profonde (M6)	Abrasion profonde (M7)	Remaniement (M4)	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)	Diminution de la lumière naturelle (P11)	Modification de la température (P5)	Modification de la salinité (P6)
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine										
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Modérée (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	Haute (IC: Haut)	Variable (IC: Modéré)	Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Haut)	Haute (IC: Haut)	Haute (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Haute ¹ (IC: Faible)	Modérée ¹ (IC: Moyen)	Modérée ¹ (IC: Moyen)
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Moyen)	Haute (IC: Haut)	Très haute (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Faible)	AP ¹	Modérée ¹ (IC: Faible)	Haute ¹ (IC: Moyen)
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Modérée (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Modérée (IC: Moyen)	NC	Très Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Faible	Faible	Faible
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Haute (IC: Moyen)	NC	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Modéré	Faible	Faible
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Haute (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Très haute (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	AP ¹	Modérée ¹ (IC: Faible)	Haute ¹ (IC: Moyen)
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Haute (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Très haute (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible	Faible	Faible
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*										
1120-1	Herbiers à Posidonies*	Très haute (IC: Haut)	Variable (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Très haute (IC: Haut)	Très haute (IC: Haut)	Haute (IC: Faible)	Modérée (IC: Haut)	Haute	Faible	Haute
1130	Estuaires										
1130-1	Slikke en mer à marées	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Variable (IC: Haut)	Variable (IC: Haut)	Modérée (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Variable	Faible	Faible
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Haute (IC: Moyen)	Modérée (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Sensibilité							Sensibilité potentielle		
		Extraction de substrat (M3)	Tassement (M4)	Abrasion superficielle (M5)	Abrasion peu profonde (M6)	Abrasion profonde (M7)	Remaniement (M4)	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)	Diminution de la lumière naturelle (P11)	Modification de la température (P5)	Modification de la salinité (P6)
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse										
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Moyen)	NC	Faible	Faible
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	NC	NC	NC	NC	Faible (IC: Faible)	NC	Faible	Faible
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Haut)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Moyen)	Faible	Faible	Faible
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	Haute (IC: Moyen)	Variable (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Modérée (IC: Haut)	Modéré ¹ (IC: Haut)	NS ¹	Modérée ¹ (IC: Moyen)
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	NC	Faible	Faible	Faible
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	Modérée (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	Modérée (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	Haute (IC: Faible)	Modérée (IC: Haut)	Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Modérée (IC: Haut)	Haute (IC: Faible)	NC	Faible	Faible
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	NC	Faible	Faible
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	Modérée (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	Modérée (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Haute	Faible	Faible
1150	Lagunes côtières*										
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible (IC: Moyen)	Très Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	NS ¹	Faible ¹ (IC: Moyen)	Faible ¹ (IC: Faible)
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Modérée (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Haut)	Haute	Faible	Faible
1160	Grandes criques et baies peu profondes										
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Haute (IC: Faible)	Variable (IC: Faible)	Variable (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Haute (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Très haute (IC: Faible)	Très haute (IC: Faible)	Modérée (IC: Moyen)	Très haute (IC: Haut)	Très haute (IC: Haut)	Très haute (IC: Faible)	Haute (IC: Moyen)	AP ¹	Modérée ¹ (IC: Faible)	Haute ¹ (IC: Moyen)
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Modérée (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Haute	Faible	Faible
1170	Récifs										
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	Haute (IC: Haut)	Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Haut)	NC	NC	NC	Faible (IC: Haut)	NC	Faible	Faible

Code N2000	Intitulé Habitat (*habitats prioritaires)	Sensibilité							Sensibilité potentielle		
		Extraction de substrat (M3)	Tassement (M4)	Abrasion superficielle (M5)	Abrasion peu profonde (M6)	Abrasion profonde (M7)	Remaniement (M4)	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)	Diminution de la lumière naturelle (P11)	Modification de la température (P5)	Modification de la salinité (P6)
1170	Récifs (suite)										
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Haut)	NC	NC	NC	Modérée (IC: Moyen)	Modéré	Faible	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Moyen)	Faible (IC: Haut)	NC	NC	NC	Modérée (IC: Moyen)	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Haute (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Faible (IC: Haut)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	NC	Faible (IC: Haut)	AP ¹	Modérée ¹ (IC: Faible)	Modérée ¹ (IC: Faible)
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	Haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Haut)	Haute (IC: Haut)	NC	Modérée (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Faible	Faible	Faible
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Moyen)	Haute (IC: Faible)	NC	Modérée (IC: Faible)	Faible (IC: Moyen)	Faible	Modérée	Modérée
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	Modérée (IC: Moyen)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	NC	Modérée (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Faible	Modérée	Modérée
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	Variable (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	NC	NC	NC	Faible (IC: Moyen)	Variable	Faible	Faible
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	Haute (IC: Haut)	Faible (IC: Faible)	Modérée (IC: Haut)	NC	NC	Modérée (IC: Haut)	Modérée (IC: Faible)	Faible	Faible	Faible
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Haute (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	NC	Haute (IC: Moyen)	NC	Faible	Faible
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Haute (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	NC	Haute (IC: Moyen)	NC	Faible	Faible
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Haute (IC: Moyen)	Faible (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	Haute (IC: Moyen)	NC	Haute (IC: Moyen)	Faible	Modérée	Modérée
	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée). Association à <i>L. byssoïdes</i>	Très haute (IC: Moyen)	Modérée (IC: Moyen)	Variable (IC: Moyen)	Variable (IC: Moyen)	Variable (IC: Moyen)	NC	Très haute (IC: Moyen)	Faible	Modérée	Modérée
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Très haute (IC: Moyen)	Variable (IC: Moyen)	Très haute (IC: Moyen)	Très haute (IC: Moyen)	Très haute (IC: Moyen)	NC	Très haute (IC: Faible)	Variable	Modérée	Modérée
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Haute (IC: Faible)	Très Faible (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	NC	Très Faible (IC: Faible)	Variable	Modérée	Modérée
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Haute (IC: Faible)	Faible (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	Haute (IC: Faible)	NC	Faible (IC: Faible)	Variable	Modérée	Modérée
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Très haute (IC: Faible)	Modérée (IC: Faible)	Haute (IC: Haut)	Très haute (IC: Haut)	Très haute (IC: Haut)	NC	Modérée (IC: Moyen)	Haute	Haute	Modérée

C.3. PERTE D'HABITATS ET AQUACULTURE MARINE

Les deux grandes catégories d'interactions décrites précédemment sont en mesure d'engendrer des changements d'habitats (pour un autre type de fond marin) (M2), voire des pertes habitats (M1), soit par la modification des conditions physiques et biochimiques et/ou par l'emprise des infrastructures sur le milieu⁷⁰. Or, la perte et la dégradation des habitats sont les premières causes de diminution de la biodiversité à l'échelle mondiale (IPBES 2018). Ces pressions étant irréversibles, il est essentiel de les minimiser, voire de les éviter. Cela est encore plus prégnant sur certains habitats d'intérêt majeur pour la biodiversité marine et littorale comme les herbiers, le maërl et les zones fonctionnelles pour l'avifaune. Aussi, ces deux pressions par les conséquences qu'elles engendrent sont un bon exemple de ce que représente la capacité de support écologique du milieu (cf. II.A.3.I).

C.4. INTERACTIONS RELATIVES AU DERANGEMENT

La présence visuelle des activités humaines, l'usage de sources lumineuses, les bruits associés aux élevages aquacoles peuvent affecter les populations sauvages (Callier *et al.* 2009). Le tableau 15 récapitule les types d'interactions possibles en fonction de différentes catégories d'activités.

Tableau 15 : source de dérangement de la faune marine et côtière par les activités aquacoles (modifié d'après Huntington *et al.* (2006) afin d'y intégrer les pressions de l'UMS PatriNat (cf. II.A.4)).

Activité	Emissions sonores (et vibrations) (P8)		Introduction de lumière artificielle (P10)	Dérangement visuel d'espèces (P3)	
	Ponctuel	De fond		A terre	En mer
Construction d'installation	X	X	X	X	X
Alimentation des élevages				X	X
Maintenance	X	X	X	X	X
Dispositifs acoustiques de dissuasion	X				
Récolte/pêche		X	X	X	X

4.a. Bruits

Au même titre que la plupart des activités exercées en milieu marin, l'aquaculture est productrice de sons que ce soit dans le cadre de ses activités courantes ou lors des activités de construction, d'entretien ou de réaménagement / de retrait des installations aquacoles (figure 14.a & b). Les organismes utilisent des sons à des fins de communication et d'alimentation. Aussi, l'eau est un milieu particulièrement susceptible de propager des sons puisque ceux-ci peuvent être entendu à des dizaines de kilomètres, voire des milliers de kilomètres (*e.g.* Hildebrand 2009; Wilcock *et al.* 2014).

Les bruits et sons provoqués par les activités humaines peuvent avoir une influence sur la vie sauvage en provoquant des changements dans les vocalisations, dans la physiologie, dans les déplacements des individus aussi bien que dans les comportements d'alimentation, d'alerte ou de reproduction (pour une revue Shannon *et al.* 2016). Cette influence de la pollution sonore est bien documentée pour les oiseaux et les mammifères marins mais très peu sur les autres espèces ou groupes d'espèce (Radford *et al.* 2014).

⁷⁰ Cela est aussi possible dans le cas de l'introduction d'espèce invasive comme l'huître creuse (cf. II.C.9).

Ainsi, en milieu intertidal et sur le cordon littoral, la fonctionnalité des sites de repos, d'hivernage, de nidification et / ou d'alimentation des oiseaux et des phoques peut être altéré par la présence des activités conchylicoles (Bensettiti & Gaudillat 2002; Becker *et al.* 2011). Il est à noter toutefois que chez les oiseaux ou les mammifères marins, il peut être observé un phénomène d'habituation aux bruits permanents comme c'est le cas pour les dispositifs de dissuasion sonores (cf. II.C.5) (*e.g.* Bishop *et al.* 2003; Schakner & Blumstein 2013), habitude plus ou moins marquée selon les espèces. Par contre, face à des bruits ponctuels aigus et inattendus, ces animaux s'éloignent souvent du secteur où sont produits les sons.



Figure 14 : (a) Travaux conchylicoles. Commune d'Agon-Coutainville, golfe normand-breton (photo : X. Desmier). (b) Chaland ostréicole. Commune de Bourcefranc-le-Chapus. PNM de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : C. Barraud / Office français de la biodiversité).

4.b. Lumière

En pic d'activité de récoltes (*i.e.* période des fêtes de fin d'année pour l'ostréiculture ; période estivale pour la mytiliculture) ou pendant tous autres travaux intervenant pendant la nuit l'utilisation d'une source lumineuse intense peut impacter les comportements des espèces sauvages. La revue de Davies *et al.* (2014) dont est issue la figure 15 récapitule les interactions possibles entre les sources de pollutions lumineuses artificielles et les organismes marins ou côtiers.

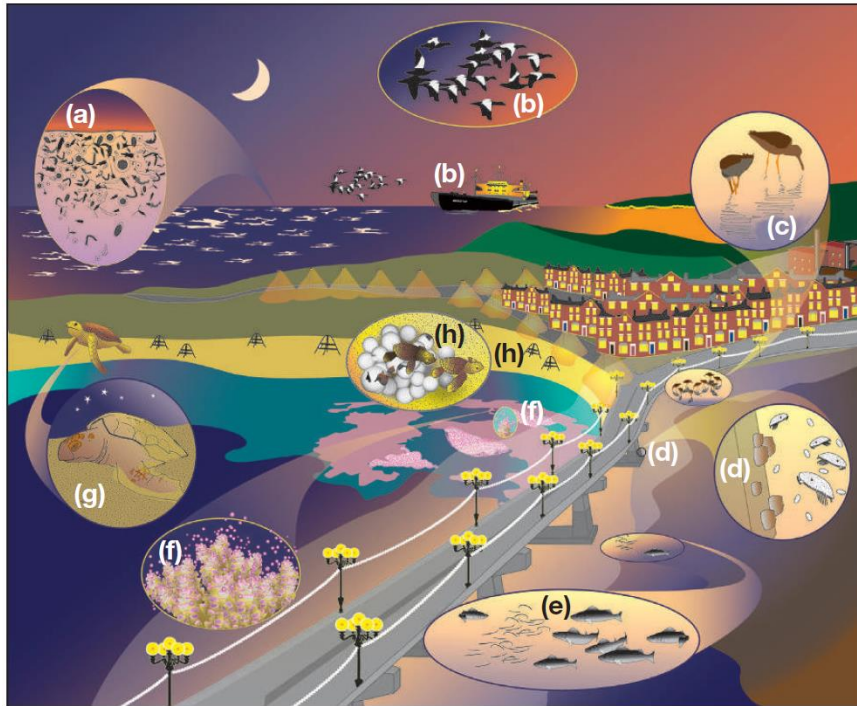


Figure 15 : impacts connus et potentiels de la pollution lumineuse artificielle sur les écosystèmes marins. (a) suppression de la migration verticale nyctémérale du zooplancton à cause du ciel éclairé artificiellement. (b) Les oiseaux heurtent le pont éclairé des navires. (c) Extension du comportement d'alimentation à vue par les oiseaux limicoles durant la nuit. (d) Perturbation dans la sélection des sites de fixation pour les larves d'invertébrés sessiles. (e) Agrégation de poissons sous les jetées éclairées induit une intensification de la prédation. (f) Désynchronisation des pontes calées sur les phases lunaires (relargage des gamètes du corail). (g) Déplacement des zones de ponte des tortues en dehors des zones éclairées artificiellement. (h) Désorientation des migrations des jeunes tortues vers la mer par les lampadaires (traduit de Davies *et al.* (2014)).

4.c. Interactions relatives au dérangement pour les habitats et les espèces Natura 2000

Dans le cas des habitats, la sensibilité au dérangement est sans objet.

Par contre, concernant les espèces Natura 2000, la problématique du dérangement est importante. Les pressions potentielles retenues relatives au dérangement sont :

- Pour la catégorie « substances, déchets et énergie » :
 - Emissions sonores (et vibrations) (P8) ;
 - Introduction de lumière artificielle (P10) ;
- Pour la catégorie des pressions biologiques :
 - Dérangement visuel d'espèces (P3).

A de rares exceptions près – comme dans le cas des goélands argentés qui sont peu farouches quand il s'agit de s'alimenter – les espèces sauvages adoptent un comportement de fuite face à certains stimulus sonores ou visuels (présence d'êtres humains, bruit violent, etc.). Cette fuite intervient à divers degrés en fonction de l'espèce considérée, de la distance, des bruits produits, de l'accoutumance, etc. A l'inverse, la lumière artificielle a tendance à attirer ou à désorienter les espèces.

Ainsi, par rapport au dérangement sonore (P8) ou visuel (P3), les espèces comme la loutre (1355), le phoque gris (1364), le veau marin (1365), le marsouin commun (1351) et le grand dauphin (1349) présentent une exposition élevée en zone côtière. Les phoques y sont particulièrement sensibles sur les zones de reposoirs pendant la période de mue et de

reproduction qui fragilisent les individus (Bensettiti & Gaudillat 2002). L'ensemble des oiseaux peuvent également présenter une sensibilité au dérangement, sur leurs aires d'alimentation, d'hivernage, de stationnement ou de nidification. La tortue caouanne, *Caretta caretta*, dont la sensibilité auditive est la meilleure entre 400 et 100 Hz (Martin *et al.* 2012), peut avoir son comportement perturbé par le bruit des navires (Samuel *et al.* 2005). Les poissons sont en mesure d'entendre les sons entre 50 Hz et 500-1500 Hz. Or, les activités humaines émettant majoritairement des sons en dessous de 1 kHz, ceci engendre des modifications de la communication acoustique des poissons (Radford *et al.* 2014). Néanmoins, sans connaissance précise à ce sujet pour les espèces concernées, il est difficile de statuer sur le niveau de sensibilité. Il n'en demeure pas moins que c'est un sujet de recherche qui ne cesse de se développer (Williams *et al.* 2015).

Concernant l'introduction de lumière artificielle (P10), les poissons présentent des comportements variables en fonction des espèces, du spectre lumineux et de son intensité (e.g. Juell & Fosseidengen 2004; Marchesan *et al.* 2005; Becker *et al.* 2013). Par exemple, les alevins de saumon atlantique montrent des temps de dispersion et des comportements journaliers perturbés sous l'influence des lumières artificielles (Riley *et al.* 2015). De manière générale, les poissons semblent majoritairement attirés par les sources de lumière les rendant plus vulnérables à la prédation. Pour la tortue caouanne (1224), elle peut modifier son comportement quel que soit le stade de vie considéré sous l'influence des lumières artificielles (Witherington & Bjorndal 1991; Kamrowski *et al.* 2014; Thums *et al.* 2016). Les oiseaux marins sont particulièrement sensibles aux lumières artificielles qui les désorientent et provoquent des collisions avec les navires et les infrastructures (Black 2005; Montevecchi 2013; Surman & Dunlop 2015; Rodríguez *et al.* 2017).

Il convient de nuancer la sensibilité de ces espèces au dérangement par les activités aquacoles par le fait que dans la plupart des cas, ce dérangement est plutôt le produit d'effets concomitants d'activités en zone côtière, dont l'aquaculture peut représenter une part significative en fonction des secteurs.

C.5. INTERACTIONS RELATIVES AU CONTROLE DE PREDATEURS

Les élevages aquacoles quels qu'ils soient sont souvent exposés à une prédation plus ou moins importante par des populations sauvages de mollusques, oiseaux, crustacés, poissons et mammifères marins. Il existe en effet un fort potentiel d'interaction entre prédateurs et stocks en élevage, qui dépend beaucoup du système d'élevage et de sa localisation.

La pisciculture en lagunes et bassins est particulièrement vulnérable à la prédation avicole (e.g. Morrison & Vogel 2009; Dorr *et al.* 2012; Craig *et al.* 2016). Les mammifères marins peuvent être attirés par la concentration de proies autour des élevages en cage (Piroddi *et al.* 2011) mais les pinnipèdes sont les plus susceptibles d'avoir un impact direct sur ce type de pisciculture en détériorant les filets et en provoquant des échappements de poissons élevages (Würsig & Gailey 2002; Kemper *et al.* 2003; Price *et al.* 2017). Néanmoins, en France, c'est le grand cormoran qui pose le plus de problèmes (com. pers. J.-C. Raymond). La conchyliculture n'est pas exempte de prédation. Par exemple, en mytiliculture, le perceur des moules ou pourpre (*Nucella lapillus*⁷³⁷¹), le goéland argenté (*Larus argentatus*⁷²), l'eider à duvet (*Somateria mollissima*⁷³), la macreuse noire (*Melanitta nigra*⁷³), les daurades, les étoiles de mer sont des prédateurs naturels (e.g. Mille 2008; Tolon 2013; Varennes *et al.* 2013).

De ce fait, diverses techniques pour lutter contre la déprédation sur les élevages aquacoles ont été développées et sont susceptibles d'être mises en place. Marcotte (2007) les classent en quatre grands types : dissuasion / effarouchement ; exclusion ; enlèvement / abattage ; autres.

- **Dispositifs d'effarouchement / de dissuasion** : ils sont destinés à éviter l'alimentation, le stationnement et le rassemblement des animaux. Ces dispositifs consistent en l'émission de stimuli visuel, sonore ou physique et ils peuvent être passifs ou actifs. Par exemple, il est possible de citer les canons effaroucheurs, la pyrotechnie, les alarmes et bruits électroniques, les effigies et silhouettes (épouvantails), les ballons effaroucheurs, les lumières, les fontaines et gicleurs d'eau ou encore des bateaux autonomes (Marcotte 2007; Price & Hall 2012). Leur efficacité est fonction du nombre, de la manière et de la zone où ils sont utilisés et de la ou des espèces considérées (e.g. Würsig & Gailey 2002; Marcotte 2007; Richman 2013).
 - **Répulsifs acoustiques** : leur objectif est soit d'effrayer les animaux soit de créer un inconfort auditif. Ils peuvent consister à l'imitation de prédateurs naturels (épaulard, rapace, etc.), à des sons d'alarme, stridents, de tirs (canons effaroucheurs), etc. (dispositifs nommés ADDs : *acoustic deterrent devices* ou AHDs : *acoustic harassment devices*). Les sons émis peuvent être continus, déclenchés de manière aléatoire ou quand les prédateurs pénètrent ou sont à proximité des élevages.
 - **Répulsifs visuels** : ils peuvent consister en des systèmes stationnaires ou animés de type épouvantails (oiseaux prédateurs, humains, etc.), des lumières stroboscopiques ou clignotantes.

⁷¹ Appartient à la famille des Muricidés au même titre que d'autres bigorneaux perceurs *Ocenebra erinaceus* (Linnaeus, 1758), *Ocenebra inornata*, Houart et Abreu (1994) et *Urosalpinx cinerea* (Say, 1822) (Sauriau 2002).

⁷² Pontoppidan, 1763.

⁷³ (Linnaeus, 1758).

- **Répulsifs multimodaux** : ils consistent en des moyens pyrotechniques (tirs de fusées, dispositifs incendiaires), des tirs non létaux avec des balles en caoutchouc, l'usage de chiens de garde ou encore la poursuite des individus avec des bateaux rapides.

L'ensemble de ces dispositifs ne sont souvent efficaces qu'un temps, les prédateurs s'y habituant (e.g. Bishop *et al.* 2003; Schakner & Blumstein 2013). La figure 16 schématise les mécanismes comportementaux relatifs à ces systèmes d'effarouchement et de dissuasion.

Pour maintenir une réelle efficacité, il convient de (Ragot 2009; Moisan & Cauvier 2010) :

- les utiliser sur une courte durée, un à trois jours, sinon les prédateurs perdent rapidement leur peur initiale ;
- installer le dispositif avant que les prédateurs n'établissent un comportement régulier d'alimentation dans la zone ;
- modifier régulièrement la localisation des dispositifs, surtout les systèmes sonores ;
- varier les combinaisons et l'alternance des dispositifs.

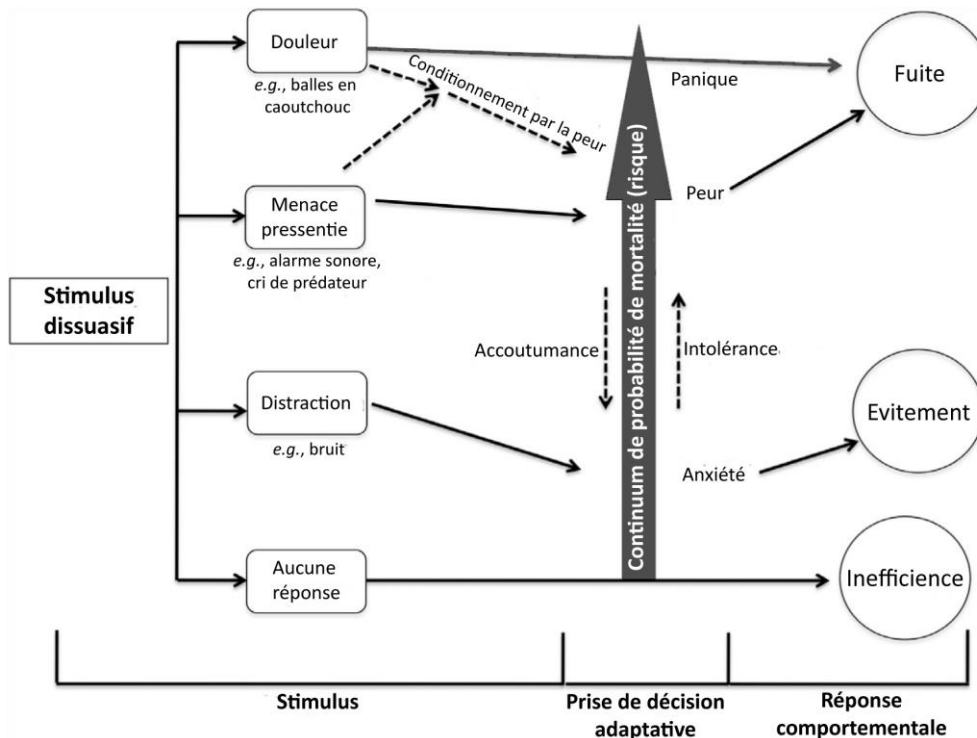


Figure 16 : cadre de la biologie comportementale de la dissuasion. La composante stimulus implique les mécanismes par lesquels les facteurs dissuasifs suscitent l'aversion : douleur ; menace (directe ou pressentie) ; distraction. A la détection, le stimulus d'aversion est évalué en termes de risque de mortalité, il guide la réponse comportementale. Les mécanismes d'apprentissage illustrés (lignes discontinues) se traduisent par une diminution (accoutumance) ou un accroissement (intolérance) de la perception du risque relatif à l'aversion (traduit de Schakner & Blumstein 2013).

- **Dispositifs d'exclusion** : ils concernent toutes les structures limitant l'accès des prédateurs aux élevages. Ces dispositifs peuvent être constitués de filins et de lignes au-dessus des bassins, de filets autour des moules de bouchots (figure 10.b) ou autour des cages à poissons (figure 17), d'écrans aériens et de clôtures. La plupart ont des effets bénins mais les filets suspendus au-dessus ou autour des cages peuvent potentiellement, selon le maillage employé et la tension du filet, capturer les oiseaux plongeurs, les phoques, les tortues et les marsouins (Würsig & Gailey 2002;

Kemper *et al.* 2003; Surman & Dunlop 2015). Ce cas de figure semble restreint en France.

- **Enlèvement / abattage** : cette solution consiste soit en la capture et la relocalisation / destruction des prédateurs, soit la destruction par des tirs létaux, le piégeage, etc.

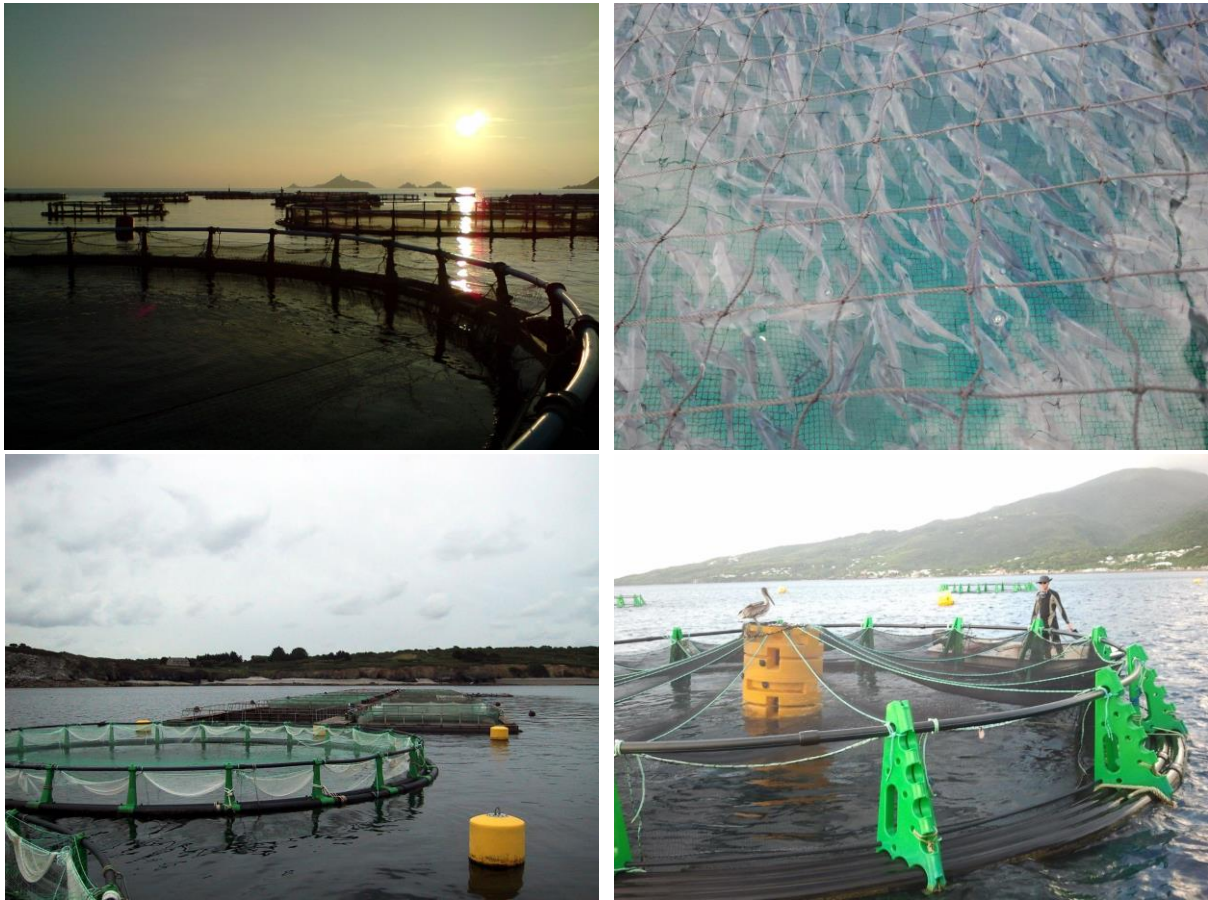


Figure 17 : (a) cages rondes en face de la plage Moorea. Site Natura 2000 Golfe d'Ajaccio (photo : J.-C. Raymond / CNPMEM). (b) Filets de protection contre la prédation dans un élevage de daurades (photo : J.-C. Raymond / CNPMEM). (c) Cages rondes et rectangulaires dans l'anse de Camaret (plus en activité à ce jour). Parc naturel marin d'Iroise (photo : B. Guichard / Office français de la biodiversité). (d) Pélican posé au-dessus d'une cage ronde en Guadeloupe (photo : J.-C. Raymond / CNPMEM).

Les impacts du contrôle des prédateurs se traduisent principalement par la fuite des espèces de la zone et la modification de leurs comportements (alimentation, stationnement, etc.) et par une mortalité directe dans le cas de la destruction des individus.

Cette déprédation sur les sites aquacoles peut s'avérer réellement problématique et mettre en péril la viabilité économique de l'élevage (e.g. Kemper *et al.* 2003; Marcotte 2007). La problématique est double quand les prédateurs sont des espèces protégées comme les cormorans ou les goélands⁷⁴.

5.a. Interactions relatives au contrôle des prédateurs pour les habitats et les espèces Natura 2000

Comme pour le dérangement, la sensibilité des habitats aux techniques de contrôle des prédateurs est sans objet.

⁷⁴ C'est pourquoi l'article 9 de la Directive 79/409, dite « Oiseaux » permet de prendre des mesures pour limiter notamment l'impact des oiseaux prédateurs sur les cultures marines (cf. II.F.6. du tome 1).

Concernant les espèces Natura 2000, le contrôle des prédateurs rejoint les pressions potentielles retenues dans le contexte du dérangement, tout en y ajoutant, celles relatives aux prélèvements d'espèces cibles (bigorneaux perceurs, étoiles de mer, avifaune, etc.) et la mort ou les blessures par collision / interaction dans le cas d'enchevêtrement dans les filets suspendus au-dessus et autour des cages⁷⁵ :

- Pour la catégorie « substances, déchets et énergie » :
- Emissions sonores (et vibrations) (P8) ;
- Introduction de lumière artificielle (P10) ;
- Pour la catégorie des pressions biologiques :
- Dérangement visuel d'espèces (P3) ;
- Prélèvement d'espèces cibles (B5).
- Mort ou blessure par collision/interaction (P2).

En définitive, compte tenu de l'objectif de ces dispositifs, toutes les espèces Natura 2000 sont potentiellement sensibles aux moyens de lutte contre la déprédation. Néanmoins, cette sensibilité intervient à des degrés variables en fonction des espèces ciblées par tel ou tel dispositif.

Ainsi, les espèces de poissons Natura 2000 n'étant pas directement ciblés, seuls les dispositifs acoustiques et les filets de protection immergés sont susceptibles de leur porter atteinte. Les mammifères marins et la loutre sont sensibles aux dispositifs acoustiques d'effarouchement (*e.g.* Olesiuk *et al.* 2010). La tortue ne le serait potentiellement pas vis-à-vis des fréquences utilisées contre les mammifères marins compte tenu de sa gamme d'audition (< 1000 Hz) (Price & Morris 2013). Compte tenu des caractéristiques techniques des élevages en cage en France (mailles de petites tailles, filets de lutte tendus à la fois contre la prédation et les échappements), les filets et enclos les protégeant sont peu susceptibles d'être dommageables aux espèces Natura 2000 (com. pers. J.-C. Raymond, CNPMM). Toutes les espèces d'oiseaux Natura 2000 sont potentiellement sensibles aux dispositifs d'effarouchement acoustiques ou visuels.

⁷⁵ En France, le maillage des filets de cage variant généralement entre 5 mm et 2,4 cm (com. pers. J.-C. Raymond), ce cas est peu probable si la tension des filets est suffisante.

C.6. INTERACTIONS RELATIVES AUX SUBSTANCES CHIMIQUES

Les produits chimiques relatifs à l'aquaculture peuvent avoir plusieurs origines :

- Les navires, engins et machines utilisés dans le cadre de l'exploitation (gasoil, huiles, liquides de refroidissement, etc.) ;
- Les produits utilisés pour le nettoyage et la désinfection des bâtiments, des bassins, etc. ;
- Les antifouling pour protéger les structures d'élevages et les navires ;
- Les aliments ;
- Les traitements fournis sur prescriptions vétérinaires.

Les deux derniers points concernent principalement la pisciculture marine.

Il est impossible d'établir ici une liste exhaustive de ces substances et de leurs effets potentiels sur l'environnement marin. Néanmoins, il est essentiel de s'intéresser aux principaux effets déjà établis pour certains composés.

Price & Morris (2013) s'intéressent à quatre groupes de composés :

- Les produits thérapeutiques (antibiotiques, antiparasitaires, etc.) ;
- Les désinfectants ;
- Les antifouling ;
- Les métaux lourds.

Les antibiotiques disposant d'une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) pour les poissons d'élevage en France sont au nombre de cinq : acide oxolinique, fluméquine, oxytétracycline, triméthoprime-sulfadiazine et florfénicol. Ce sont la plupart du temps des prémélanges médicamenteux, administrés aux poissons par voie orale sous forme d'aliments médicamenteux (Guichard & Licek 2006). D'autres antibiotiques ou formes pharmaceutiques n'ayant pas d'AMM pour les poissons d'élevage en France peuvent être utilisés en pisciculture sur prescription vétérinaire, par injection (pour les géniteurs) ou par balnéation (en alevinage) (méthode engendrant le plus de rejet mais est peu utilisée). La quantité d'antibiotiques relarguée dans l'environnement dépend du mode d'administration, de l'espèce de poisson, de l'antibiotique, et de la température. Certaines publications estiment que, selon le principe actif utilisé, jusqu'à 70 à 99 % des antibiotiques administrés peuvent se retrouver dans l'environnement (e.g. Price & Morris 2013; Watts *et al.* 2017). Ils se dissolvent alors dans la colonne d'eau ou sédimentent sous les cages avec les fèces (figure 18). Certains antibiotiques ont une durée de vie courte dans les sédiments, d'autres peuvent persister pendant des années à des valeurs mesurables. Cette persistance est très dépendante des propriétés géophysiques de l'eau ou des sédiments (intensité lumineuse, taux d'oxygène, pH, température, type de sédiment (Rigos & Troisi 2005)) et des propriétés chimiques des différentes molécules. Par exemple, Armstrong *et al.* (2005) indiquent que, même si l'oxytétracycline diminue largement au bout de quelques semaines, elle demeure détectable dans des sédiments aérobies pendant plus de 18 mois et sa demi-vie dans des sédiments anoxiques est de 419 jours. Néanmoins, les processus de liaison ou de complexation chimique peuvent conduire à une réduction de l'effet de l'antibiotique dans l'environnement (e.g. Lunestad & Goksøyr 1990; Barnes *et al.* 1995; Lunestad & Samuelsen 2001).

Le problème majeur relatif aux antibiotiques utilisés dans les élevages et retrouvés dans l'environnement est la sélection de bactéries résistantes. Celle-ci peuvent aussi bien être les bactéries pathogènes des poissons ciblées – rendant les traitements ultérieurs moins efficaces – que chez d'autres bactéries présentes dans l'écosystème, potentiellement

pathogènes pour l'homme (e.g. FAO *et al.* 2006; BurrIDGE *et al.* 2010; Cabello *et al.* 2016; Watts *et al.* 2017; Okocha *et al.* 2018). En effet, les bactéries peuvent acquérir des résistances aux antimicrobiens à travers des mutations génétiques ou plus communément par les transferts horizontaux de gènes selon plusieurs processus⁷⁶ (Watts *et al.* 2017). Les résistances les plus fréquemment enregistrées concerne l'oxytétracycline, les associations sulfamides – triméthoprimine, l'acide oxolinique, la tétracycline, l'ampicilline⁷⁷ et le florfenicol (Caruso 2016, com. pers. J.-C. Raymond). 90 % des bactéries connues dans l'eau de mer seraient ainsi résistantes à au moins un antibiotique et 20 % à au moins cinq antibiotiques (Watts *et al.* 2017). Aussi, il a pu être montré que certains antibiotiques peuvent par exemple :

- Engendrer une réduction de la capacité de décomposition et de minéralisation des communautés bactériennes présentes dans les sédiments (cf. II.C.1.b) ;
- Etre mesurables dans les organismes vivant à proximité des fermes de saumon (vertébrés et invertébrés : poissons, bivalves, crustacés) comme cela a été le cas avec l'oxytétracycline en Norvège ou en Colombie Britannique (Armstrong *et al.* 2005).

Les systèmes aquacoles usant d'antibiotiques sont ainsi désignés comme des « réacteurs génétiques » ou des « points chauds » pour les gènes de résistance aux antimicrobiens (Armstrong *et al.* 2005). Cependant, l'usage d'antibiotiques est en baisse dans certaines parties du monde (e.g. U.E.) (Lulijwa *et al.* 2019) principalement grâce à l'utilisation de la vaccination et dans une moindre mesure grâce aux probiotiques (e.g. Price & Morris 2013; Caruso 2016), même s'il demeure une grande variabilité entre les pays (e.g. Chili versus Norvège (Watts *et al.* 2017)).

Les autres produits sanitaires sont multiples : antiparasitaires en tant que prescription vétérinaire, eau oxygénée, formol, composés iodés (désinfectants et antiseptiques), etc. Ils arrivent dans l'environnement soit par le biais de la nourriture, des fèces en cas de traitement par voie orale⁷⁸, ou directement dans l'eau lors du nettoyage, de la désinfection ou des traitements antiseptiques des structures d'élevages (Price & Morris 2013). En fonction du produit, les risques pour l'environnement sont multiples : résistance des organismes pathogènes, toxicité chronique, mortalité directe ou indirecte et pour certains bioaccumulation le long de la chaîne trophique (pour une revue détaillée, BurrIDGE *et al.* 2010).

Les taux de métaux lourds comme le cuivre et le zinc peuvent être élevés dans les sédiments proches des sites d'aquaculture (e.g. Dean *et al.* 2007; BurrIDGE *et al.* 2010). Ils sont présents dans les antifouling et dans les aliments de pisciculture (Mendiguchía *et al.* 2006; Creti *et al.* 2010; Turner 2010; Price & Morris 2013). Ces éléments peuvent être létaux à de fortes concentrations pour la vie aquatique, être éventuellement bioaccumulés et sont persistants dans l'environnement. Il convient de préciser qu'en France les moyens mécaniques de nettoyage sont privilégiés.

⁷⁶ Conjugaison : transfert d'ADN d'une bactérie à une autre par contact entre cellules. Transformation : acquisition de matériel génétique extracellulaire (par exemple d'une bactérie morte) par une bactérie. Transduction : transport d'ADN d'une bactérie vers une autre par le biais d'un virus.

⁷⁷ Non utilisée en France.

⁷⁸ Il n'y a pas de traitement antiparasitaire autorisé par voie orale en France.

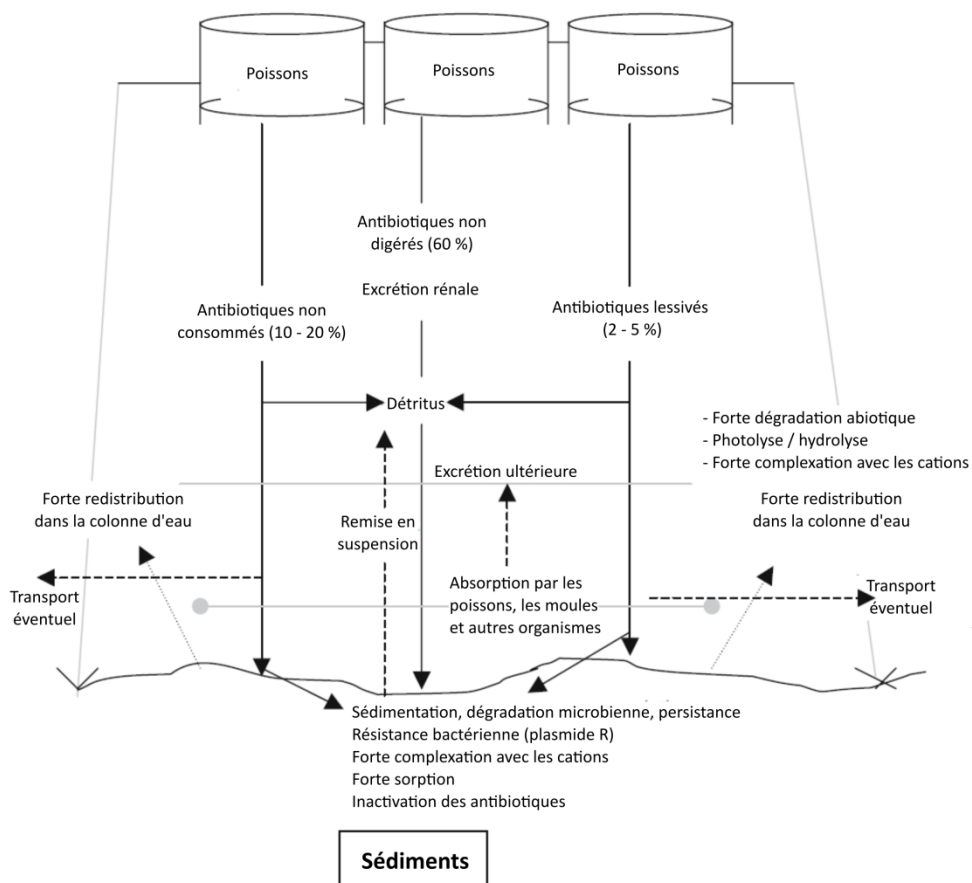


Figure 18 : devenir de l'oxytétracycline administrée oralement dans un site de fermes de poissons euryhalins (traduit de Rigos & Troisi 2005).

6.a. Interactions relatives aux substances chimiques pour les habitats et les espèces Natura 2000

Les pressions potentielles issues de ces interactions correspondent à quatre pressions citées dans le tableau 7, toutes de la catégorie « substances, déchets et énergie » :

- Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) ;
- Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) ;
- Contamination par composés synthétiques (C3) ;
- Introduction de substance à caractère visqueux (C5).

Les effets des composés chimiques sur le milieu marin ont fait l'objet de nombreuses études (pour une revue détaillée concernant les composés utilisés dans les élevages de saumon se référer à Burridge *et al.* 2010). Par exemple, des effets ont été constatés sur les stades larvaires des crustacés et des poissons, les communautés bactériennes et la minéralisation des déchets organiques, etc. Même si les connaissances en la matière restent insuffisantes pour affirmer ou infirmer de manière précise la sensibilité de tel habitat ou telle espèce Natura 2000 à tel ou tel composé chimique, certaines études existent. Par exemple, les herbiers de zostères (1110-1) et de posidonies (1120) peuvent présenter une sensibilité démontrée à certains composés chimiques (Lewis & Devereux 2009; Greco *et al.* 2012). Concernant les autres habitats et espèces Natura 2000, il demeure que ces substances chimiques peuvent avoir des effets lors de leur éventuelle utilisation en fonction de la fréquence et de leur concentration et de la physiologie des organismes. Il convient donc

d'être prudent et de considérer qu'il peut exister un effet potentiel sur les habitats et les espèces Natura 2000.

Toutefois, compte tenu de la dilution et du fort hydrodynamisme inhérent à certains habitats, il est envisageable qu'ils soient moins sensibles à ces substances du fait de la faible concentration et du peu d'accumulation de ces composés chimiques (1110-2, 5, 7, 8, 9 ; 1140-4, 5 ; 1170-3, 5).

C.7. INTERACTIONS RELATIVES A LA TRANSMISSION D'AGENTS PATHOGENES

Les milieux marins présentent peu de barrières aux mouvements des pathogènes et de leurs hôtes. Les mouvements migratoires sont communs chez les poissons et les courants marins peuvent transporter les agents pathogènes et les hôtes sur de longues distances. De plus, les comportements grégaires de nombreuses espèces de poissons hôtes sous formes de bancs peuvent favoriser la dispersion des maladies (Krkošek 2017).

L'introduction de pathogènes dans les populations de poissons et de coquillages peut s'effectuer par l'importation de poissons d'élevages dont des espèces exotiques pour l'aquaculture, le transport d'espèces entre installations et régions de production ou encore par les courants (Murray 2013; Brenner *et al.* 2014). Les oiseaux (Vanpatten *et al.* 2004), les microplastiques (Viršek *et al.* 2017), les eaux de ballast (Altug *et al.* 2012), les containers et autres équipements (Murray *et al.* 2002) sont également des vecteurs d'introduction de pathogènes. Enfin, il existe un risque lié à l'industrie de transformation et au transfert de pathogènes via l'alimentation (*e.g.* Gaughan 2001; Kim *et al.* 2007).

L'augmentation de la virulence d'un pathogène intervient quand l'équilibre entre l'hôte, l'environnement et les agents pathogènes est affecté. Cet équilibre est dépendant des caractéristiques de l'hôte (*e.g.* stade de développement, état de santé), des facteurs abiotiques et biotiques de l'environnement (*e.g.* température, salinité, concentration et composition du phytoplancton, qualité de l'eau, etc.), des pratiques d'élevage (*e.g.* densité, manipulation des individus, qualité des aliments, etc.) (Arzul *et al.* 2017) et de la virulence intrinsèque de l'agent pathogène.

Suite au déclenchement d'une maladie dans un élevage, son risque de transmission est corrélé avec le niveau de proximité avec les populations naturelles (*e.g.* contamination par les fèces, les œufs, etc.), l'état de santé / de stress et la densité des organismes élevés, la connectivité entre les infrastructures d'élevages (fonction de l'hydrodynamisme et de la bathymétrie du milieu) et le transport des individus élevés (Salama & Murray 2011; Jansen *et al.* 2012, 2017; Murray 2013; Pernet *et al.* 2016). La virulence du pathogène s'exprime d'autant plus si les populations locales n'y ont pas été auparavant exposées et n'ont donc pas acquis de résistance immunitaire (Lafferty *et al.* 2015).

De plus, les systèmes d'élevage intensifs sont par leurs densités d'individus plus susceptibles de voir apparaître l'émergence d'agents pathogènes et d'en être des réservoirs (Kennedy *et al.* 2016). Le risque est partiellement réduit en système semi-clos ou en circuit fermé grâce aux conditions biotiques et abiotiques partiellement contrôlées, au traitement de l'eau et à la connectivité restreinte entre le milieu naturel et le milieu d'élevage. Ces systèmes fermés peuvent de plus être assez facilement nettoyés et désinfectés en cas de maladie, ce qui n'est pas le cas des systèmes ouverts ou en mer.

Ces transmissions peuvent se faire des populations naturelles vers les individus élevés et vice versa (figure 19). Les agents pathogènes peuvent être de nature très variables : virus, bactéries et parasites (nématodes, trématodes, amibes, dinoflagellés, champignons, copépodes, isopodes, etc.) (Lafferty *et al.* 2015). Le tableau 16 dresse une liste non exhaustive des principaux pathogènes des mollusques, des crustacés et des poissons

recensés dans les élevages marins en Europe. En fonction de sa spécificité ou non à un hôte, de son mode de dissémination et de sa virulence, la transmission du pathogène peut s'effectuer au sein d'une espèce verticalement (des parents à la progéniture) ou horizontalement (entre populations) ou encore entre espèce soit par contact entre individus ou via la colonne d'eau (Johansen *et al.* 2011; Jansen *et al.* 2017).

D'une manière générale, chaque embranchement, ordre, famille, et jusqu'à chaque espèce d'aquaculture possède une cohorte d'agents pathogènes (bactéries, virus, parasites) plus ou moins spécifiques, qui ne sont pas nécessairement transmissibles à d'autres taxons, même proches. La spécificité parasitaire couramment évoquée, peut être ainsi stricte (une seule espèce) ou large (de nombreuses espèces, parfois éloignées phylogénétiquement). Dans ces conditions la transmissibilité d'une maladie dépendra, en plus des conditions de densité, de proximité et d'exposition, des espèces concernées.

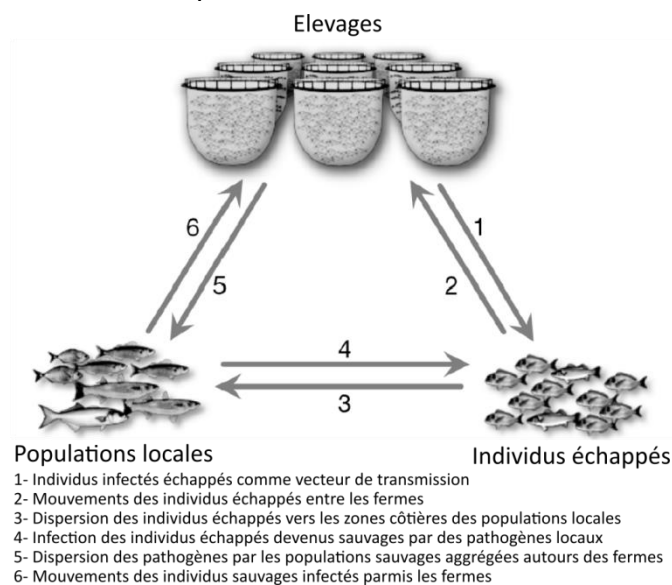


Figure 19 : modalités de transmission des pathogènes entre populations sauvages et individus échappés (traduit d'après Arechavala-Lopez *et al.* (2013))

Ainsi, les installations d'aquaculture peuvent être qualifiées de « points chauds génétiques » pour le transfert horizontal de gènes entre bactéries (Sundberg *et al.* 2016; Watts *et al.* 2017). A ce titre, il est essentiel de souligner que l'usage des antibiotiques doit être réduit au possible pour limiter l'apparition de gènes de résistance dans les populations de microorganismes. En effet, cette résistance microbienne peut être dommageable aussi bien pour les élevages que pour l'environnement et les populations humaines (*e.g.* Ghittino *et al.* 2003; Kennedy *et al.* 2016; Okocha *et al.* 2018) (cf. II.C.6).

Il y a peu de connaissance sur les maladies des populations sauvages même si elles peuvent occasionnellement être observées (Bakke & Harris 1998; Gaughan 2001; Skall *et al.* 2005; Travers *et al.* 2015; Tett *et al.* 2018b). En effet, ces individus sont moins accessibles et moins suivis que les populations d'élevage et sont rapidement victimes de prédation si leur état de santé les rendent vulnérables (Johansen *et al.* 2011). De plus, ils sont le plus souvent porteurs sains, hébergeant un ou plusieurs agents pathogènes sans présenter de signes cliniques. Du fait d'une moindre densité, la transmission aux autres individus est aussi plus réduite.

En définitive, selon Assefa & Abunna (2018) les meilleures approches pour prévenir les risques d'infection et améliorer la lutte contre les agents pathogènes doivent faire appel à

différentes stratégies de biosécurité (e.g. Kesarcodi-Watson *et al.* 2008; Jones *et al.* 2015; Kennedy *et al.* 2016; Assefa & Abunna 2018) :

- L'usage de pratiques aquacoles adaptées (surveillance, mise en quarantaine, assecs, jachère, etc.) ;
- La restriction et le contrôle des déplacements d'individus élevés ;
- Le recours à des stocks génétiquement résistants ;
- L'usage de traitements prophylactiques (non envisageable en conchyliculture) : compléments alimentaires, stimulants immunitaires non spécifiques, vaccins, probiotiques et prébiotiques, produits issus de plantes médicinales ;
- Le contrôle biologique de l'eau : filtration voire désinfection de l'eau (UV, ozone) (usage possible que dans des petits volumes à traiter : système recirculé, éclosion) ;
- L'usage ciblé d'antibiotiques.

Jones *et al.* (2015) indiquent qu'il y a deux échelles à prendre en compte pour réduire les maladies : celle à l'échelle de la zone d'élevage (e.g. fjord hébergeant plusieurs fermes) et celle à l'échelle de la ferme d'élevage (*i.e.* ensemble de cages sur une zone restreinte).

Tableau 16 : liste des agents pathogènes ayant déjà infectés ou susceptibles d'infecter les élevages aquacoles de France métropolitaine (traduit et modifié d'après Lafferty *et al.* (2015))⁷⁹.

Hôte connu	Agent infectieux - Maladie	Région d'infection identifiée	Impact observé
Mollusques			
Virus			
Huîtres (<i>Magallana</i> (= <i>Crassostrea</i>) <i>angulata</i>)	<i>Magallana</i> (= <i>Crassostrea</i>) <i>angulata</i> iridovirus	France	Mortalité
Huîtres (<i>Magallana</i> (= <i>Crassostrea</i>) <i>gigas</i>)	Ostreid herpesvirus 1 (including μ Var)	Europe, Asie, Nouvelle zélande, Australie, Ouest des Etats-unis (Californie)	Mortalité
Bactéries			
Ormeaux (variable)	Organismes du genre <i>Rickettsia</i> - Syndrome de dépérissement	Amérique du nord, Asie, Europe, Islande, Amérique du sud	Mortalité
Ormeaux (<i>Haliotis tuberculata</i>)	<i>Vibrio harveyi</i> - Vibriose	France	Mortalité
Huîtres (<i>Magallana</i> (= <i>Crassostrea</i>) <i>gigas</i>)	<i>Vibrio tubiashii</i> - Vibriose	Amérique du nord, Europe	Mortalité
Huîtres (<i>Magallana</i> (= <i>Crassostrea</i>) <i>gigas</i>)	<i>Nocardia crassostreae</i>	Etats-Unis, Japon, Europe	Mortalité
Palourdes (variable)	<i>Vibrio tapetis</i> - Maladie de l'anneau brun	Europe	Croissance
Protistes			
Mollusques (variable)	<i>Perkinsus olseni</i> - Dinophagellés	Régions tempérées et tropicales	Mortalité
Huîtres (<i>Ostrea edulis</i>)	<i>Bonamia exitiosa</i> - Bonamiose	Océan austral, Europe	Mortalité
Huîtres (<i>Ostrea edulis</i>)	<i>Bonamia ostreae</i> - Bonamiose	Amérique du nord, Europe	Mortalité
Bivalves (variable)	<i>Marteilia refringens</i> - Marteiliose	Afrique du nord, Europe	Mortalité
Unknown			
Palourdes (variable)	QPX (quahog parasite unknown)	Amérique du nord, Europe	Croissance
Crustaceans			
Virus			
Crevette (penaeid)	<i>Whispovirus</i> spp. - Syndrome des tâches blanches (White spot syndrome (WSS))	Asie, Inde, Moyen orient, Méditerranée, Amériques	Mortalité
Poissons			
Virus			
Poissons (marin)	Nodavirus - Encéphalopathie et rétinopathie virale	A l'échelle mondiale	Mortalité
Daurades rouges	Iridovirus de daurades rouges (Red Sea bream Iridoviral disease (RSI))	Japon, Méditerranée	Mortalité
Saumon	Virus de l'anémie infectieuse du saumon (Infectious Salmonid Anaemia (ISA))	Atlantique nord, Chili	Mortalité
Saumon	Virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse (Infectious Haematopoietic Necrosis (IHN))	Etats-Unis, Europe, Japon	Mortalité
Saumon	Piscine orthoreovirus (Heart and Skeletal Muscle Inflammation (HSMI))	A l'échelle mondiale	Mortalité
Poissons (variable)	Virus du Genre <i>Novirhabdovirus</i> – Septicémie hémorragique virale (Viral Haemorrhagic Septicaemia (VHS))	Atlantique nord, Pacifique nord	Mortalité

⁷⁹ Les sites suivants ont été consultés pour compléter et préciser ce tableau :

<https://thefishsite.com/disease-guide>

<https://www2.gov.scot/Topics/marine/Fish-Shellfish/aquaculture/diseases>

<http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/search/en>

Hôte connu	Agent infectieux - Maladie	Région d'infection identifiée	Impact observé
Poissons (suite)			
Virus (suite)			
Poissons (variable)	Aquabirnavirus (Infectious Pancreatic Necrosis (IPN))	A l'échelle mondiale	Mortalité
Bactéries			
Poissons (marin)	<i>Vibrio</i> spp. - Vibriose	A l'échelle mondiale	Mortalité
Poissons (marin)	<i>Mycobacterium</i> spp. - Mycobactériose / Tuberculose du poisson	A l'échelle mondiale	Mortalité
Poissons (marin)	<i>Streptococcus</i> spp.	A l'échelle mondiale	Mortalité
Poissons (marin)	<i>Vibrio (Listonella) anguillarum</i> - Vibriose	A l'échelle mondiale	Mortalité
Poissons (marin)	<i>Moritella viscosa</i> - Maladie des ulcères hivernaux (Winter ulcer disease)	Atlantique nord	Morbidité
Poissons (marin)	<i>Photobacterium damsela</i> - Pasteurellose	Etats-unis, Japon, Europe	Mortalité
Poissons (marin)	<i>Tenacibaculum maritimum</i> - Tenacibaculose	Etats-unis, Japon, Europe	Mortalité
Saumon	<i>Renibacterium salmoninarum</i> - Rénebactériose (Bacterial kidney disease (BKD))	A l'échelle mondiale	Mortalité
Saumon	<i>Vibrio salmonicida</i> - Vibriose	Holarctique	Mortalité
Saumon	<i>Aeromonas salmonicida</i> - Furonculose	Holarctique	Mortalité
Poissons (marin)	Bactéries de type <i>Chlamydia</i>	A l'échelle mondiale	Croissance
Protistes			
Poissons (marin)	<i>Ichthyophonus hoferi</i>	Holarctique	Mortalité
Poissons (marin)	Dinoflagellés - <i>Amyloodinium ocellatum</i>	A l'échelle mondiale	Mortalité
Saumon	<i>Neoparamoeba perurans</i> - Amibiase de branchies (Amoebic gill disease (AGD))	Océanie, Europe, Amérique du Nord	Mortalité
Métazoaires			
Saumon	<i>Parvicapsula</i> spp. - Myxosporidiose	Norvège	Mortalité
Poissons (marin)	<i>Enteromyxum</i> spp. - Myxosporidiose digestive	Méditerranée, Japon	Mortalité
Poissons (marin)	Larves de Nématodes anisakidés (endoparasites) – <i>Anisakis</i> spp., <i>Pseudoterranova</i> spp., dont les hôtes définitifs sont des mammifères marins	A l'échelle mondiale	Commercialisation
Poissons (marin)	Plathelminthes trématodes (endoparasites) <i>Cryptocotyle lingua</i>	A l'échelle mondiale	Croissance, Mortalité
Poissons (marin)	Plathelminthes monogènes (ectoparasites) - e.g. <i>Gyrodactylus salaris</i> chez le saumon	A l'échelle mondiale	Croissance, Mortalité
Saumon	Plathelminthes cestodes (endoparasites) - <i>Eubothrium</i> spp.	Europe	Croissance
Poissons (marin)	Isopodes (ectoparasites) - <i>Ceratothoa oestroides</i> ; <i>Nerocilla orbigny</i> ; <i>Anilocra physoides</i>	A l'échelle mondiale	Croissance, commercialisation
Poissons (marin)	Copépodes (ectoparasites) - <i>Lepeophtheirus salmonis</i> et <i>Caligus elongatus</i> - poux du poisson (Sea lice)	A l'échelle mondiale	Croissance, commercialisation

7.a. Interactions relatives à la transmission de pathogènes pour les habitats et les espèces Natura 2000

L'introduction de pathogènes (B3) est une pression susceptible de s'exercer sur les habitats et espèces Natura 2000.

Toutefois, la sensibilité des habitats à la transmission de pathogènes a été considérée comme négligeable pour la majorité des habitats, sauf dans le cas d'habitat où l'espèce structurante est une espèce élevée (e.g. récifs de moules ou d'huîtres) ou susceptible d'être infectée, soit par sa proximité taxonomique, soit à cause d'un agent pathogène présentant une large gamme d'hôte. En effet, seule une atteinte majeure à une espèce caractéristique (i.e. espèce ingénieur) d'un habitat donné pourrait le mettre en péril dans son ensemble. Or, la probabilité de survenue d'un tel événement demeure particulièrement faible.

Parmi les espèces Natura 2000, seules les espèces élevées et présentes à l'état sauvage dans les eaux françaises, à savoir le saumon (1106) et l'esturgeon (1101), présentent une sensibilité avérée aux pathogènes pouvant être issus des élevages aquacoles. Ces types d'élevage même s'ils sont peu nombreux en France peuvent constituer des réservoirs potentiels de pathogènes pour les populations sauvages (Kennedy *et al.* 2016).

De ce fait, même si l'élevage d'esturgeon est réalisé en bassin fermé (principalement en Nouvelle-Aquitaine), la présence de la dernière population d'esturgeon européen sauvage d'Europe de l'ouest (*Acipenser sturio*) au niveau de l'estuaire de la Gironde (Williot *et al.* 1997) invite à prendre toutes les précautions pour éviter les transmissions. En effet, l'esturgeon européen ne survit plus que dans le bassin de la Garonne, les dernières reproductions naturelles ayant eu lieu en 1994. Les zones de frayères sont localisées en aval des barrages et des seuils à une distance comprise entre 100 et 200 km de l'embouchure de l'estuaire de la Gironde (Williot *et al.* 2011). Les juvéniles relâchés vont principalement se localiser sur les habitats sablo-argileux mésohalins à une profondeur comprise entre 2 et 8 m (Acolas *et al.* 2017).

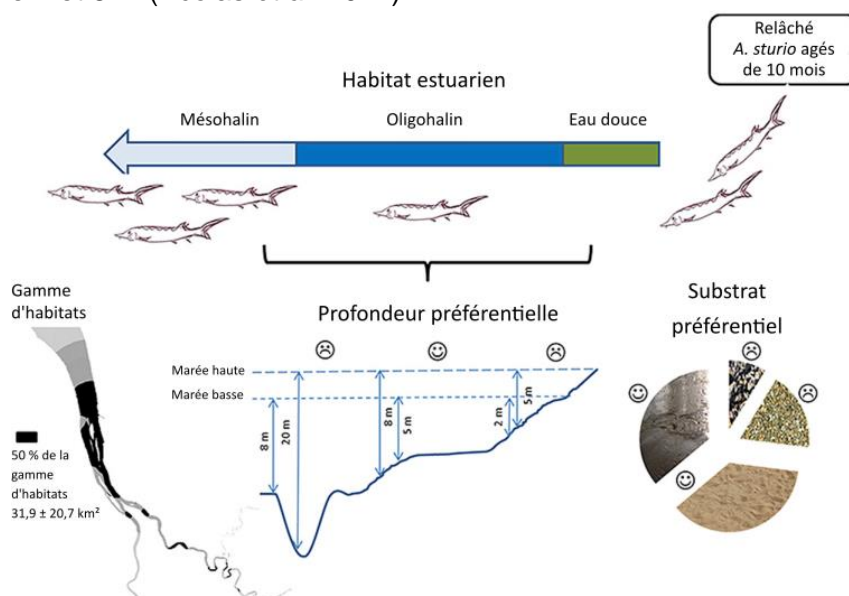


Figure 20 : résumé graphique des habitats préférés des juvéniles de l'esturgeon européen (*Acipenser sturio*) relâchés dans l'estuaire de la Gironde.

Dans le cas d'élevages de saumon atlantique, la transmission d'agents pathogènes aux populations sauvages de saumon du Pacifique (*Oncorhynchus* spp.) a pu être mise en évidence pour le piscine orthoreovirus (PRV) et pour les poux de mer pour lesquels une corrélation entre la distance aux fermes et le niveau d'infection des saumons sauvages

existe (Rees *et al.* 2015; Morton *et al.* 2017). Madhun *et al.* (2015)⁸⁰ et Nylund *et al.* (2019)⁸¹ ont aussi montré de possibles transmissions entre individus élevés et sauvages de saumons atlantiques en Norvège.

Concernant les autres poissons, les lamproies (1095 et 1099), les aloses (1102 et 1203) et l'aphanius de Corse (1152), certains agents pathogènes ont un spectre d'hôte très large et pourraient potentiellement se transmettre d'une espèce d'élevage à une autre espèce sauvage (Lafferty *et al.* 2015). Néanmoins, les connaissances sont insuffisantes pour établir la sensibilité des lamproies, aloses et de l'aphanius de Corse aux multiples agents pathogènes qui peuvent être amenés à se propager par le biais de l'aquaculture marine.

Concernant les mammifères marins, les anisakidés sont des parasites hétéroxènes (plusieurs hôtes successifs au cours du cycle parasitaire) dont les hôtes définitifs sont des cétacés ou des pinnipèdes, notamment le grand dauphin, le marsouin, les phoques gris et veaux-marins. Les larves parasitent différentes catégories d'hôtes intermédiaires, dont un grand nombre d'espèces de poissons et de céphalopodes (plus de 75 pour *Anisakis* sp. et *Pseudoterranova* sp., (ANSES 2010)). La contamination de ces espèces se fait par ingestion de proies de petites tailles, elles-mêmes contaminées en se nourrissant de crustacés planctoniques (crevettes, copépodes...) infectées par les premiers stades larvaires. Les poissons d'élevage étant exclusivement nourris au moyen d'aliments artificiels, la probabilité qu'ils ingèrent des larves de parasites est très faible. Inversement, ils ne constituent donc pas un risque de contamination pour les mammifères marins.

C.8. INTERACTIONS GENETIQUES ET ECOLOGIQUES ENTRE POPULATIONS D'ELEVAGE ET POPULATIONS SAUVAGES

Les interactions entre les populations d'élevage et les populations sauvages peuvent avoir lieu à deux niveaux : au niveau écologique, avec une modification des équilibres préexistants (maladies, compétition intra / interspécifique, etc.) (cf. aussi II.C.7 et II.C.9) ; au niveau génétique, si l'espèce élevée est aussi présente à l'état sauvage dans les écosystèmes locaux et que les deux populations sont en mesure de se reproduire (Glover *et al.* 2017).

Compte tenu de son importance dans la révolution bleue, l'élevage du saumon atlantique (*Salmo salar*) avec sa production mondiale de 2,36 millions de tonnes en 2017 (FAO 2018) est une activité particulièrement étudiée sur de nombreux aspects (e.g. Juell & Fosseidengen 2004; Mente *et al.* 2006; Ford & Myers† 2008; Thorstad *et al.* 2008; Bendiksen *et al.* 2011; Jones *et al.* 2015; Glover *et al.* 2017; Tett *et al.* 2018). A ce titre, les interactions des saumons d'élevage avec les populations sauvages sont bien documentées. En effet, depuis les années 1970, les estimations indiquent que ce n'est pas moins de dix millions de saumons d'élevage qui se sont échappés dans les eaux norvégiennes (Glover *et al.* 2017).

Concernant la conchyliculture, compte tenu des techniques majoritaires de captage du naissain dans le milieu, ce sont les hybridations dans les secteurs d'élevage entre les espèces élevées et les espèces autochtones et leurs conséquences qui sont le plus développées dans la littérature (e.g. Wonham 2004; Dias *et al.* 2011; Crego-Prieto *et al.* 2015; Habtemariam *et al.* 2015; Lapègue *et al.* 2016). Néanmoins, cela peut aussi concerner

⁸⁰ Salmon alphavirus (SAV) and piscine reovirus (PRV).

⁸¹ Infectious salmon anaemia virus (ISAV).

des hybridations entre les individus issus d'écloserie et les individus sauvages de la même espèce (e.g. Carlsson et al. 2008; Thompson et al. 2017).

8.a. Interactions génétiques

Par rapport aux espèces de poissons élevées, même si les individus échappés ne sont pas tous en mesure de se reproduire et par conséquent, de s'hybrider avec les populations locales (triploïdes, périodes de migration / de reproduction différentes, etc.), les exemples de reproduction en milieu naturel sont courants que ce soit pour le saumon (pour une revue, voir Glover *et al.* 2017), le bar (e.g. Brown *et al.* 2015; Bodur *et al.* 2017) ou la daurade (e.g. Šegvić-Bubić *et al.* 2014). La résultante de ces hybridations est l'introgression qui correspond au transfert de gènes d'une espèce vers le pool génétique d'une population ou d'une autre espèce génétiquement proche. Il faut signaler que ce cas existe aussi dans un contexte de réensemencement volontaire des populations sauvages, comme pour le turbot en mer du nord (*Scophthalmus maximus*) (Prado *et al.* 2018) ou le saumon en Espagne (Ayllon *et al.* 2006). Ainsi, Karlsson *et al.* (2016) montrent une introgression significative pour la moitié des populations sauvages de saumon atlantique étudiées et des niveaux d'introgression supérieure à 10 % dans 27 des 109 rivières norvégiennes étudiées. Tett *et al.* (2018) indiquent que lorsqu'il y a une introgression, la population native sauvage va subir des changements de son phénotype et de ses traits d'histoire de vie. La revue de Glover *et al.* (2017) couplée avec les éléments cités dans Tett *et al.* (2018) permet de recenser des paramètres pour lesquels des différences ont été observées entre populations sauvages et populations élevées :

- La croissance et ses paramètres (taux de conversion alimentaire, régulation endocrinienne) que ce soit en eau douce ou dans les eaux marines ;
- La durée de développement et l'âge à différentes étapes du cycle biologique (*i.e.* temps de développement embryonnaire ; âge de smoltification⁸² / de maturité ; etc.) ;
- Les caractéristiques comportementales (*i.e.* période de migration des smolts ; agressivité ; dominance ; comportement face à la prédation ; etc.) ;
- La plasticité (*i.e.* mortalité après un transfert dans l'eau salée ; stress induisant une réduction de la croissance) ;
- La morphologie et la physiologie (*i.e.* forme du corps ; caractéristiques commerciales ; performance de nage ; etc.) ;
- La tolérance aux maladies (*i.e.* poux du poisson ; furonculose ; vibriose ; etc.).

La valeur sélective⁸³ des individus échappés qui définit le niveau d'introgression est très variable dans le temps et l'espace. Elle est corrélée avec le stade de vie des échappés et le niveau de compétition sur les zones de pontes, celui-ci étant dépendant du nombre d'individus et des caractéristiques morphologiques, physiologiques et comportementales de chaque population. Cependant, certaines conséquences de l'introgression sont régulièrement observées du fait que l'adaptation au milieu d'élevage tend à réduire la pression de sélection pour les caractéristiques nécessaires à leur survie dans l'environnement, qu'une sélection anthropique pour des raisons économiques (e.g. gain de

⁸² Stade de vie des jeunes saumons (parrs) au cours duquel ils s'adaptent par une série de changements physiques et physiologiques à leur future vie dans l'eau de mer et qui se termine par la dévalaison. Ce processus métabolique se nomme la smoltification, elle concerne les salmonidés anadromes.

⁸³ = Fitness : Espérance de la contribution relative aux générations ultérieures d'une classe (allèle, génotype, classe phénotypique d'individus). Elle est estimée, suivant les situations, par une ou plusieurs composantes (survie, fertilité, nombre de descendants à la génération suivante, etc.) associées à la classe considérée.

croissance) (Gjedrem 2000) soit pratiquée ou non, comme dans le cas de programme de repeuplement (e.g. Araki *et al.* 2007; Christie *et al.* 2012).

Dans le cas du saumon atlantique, il a été montré que les femelles des fermes d'élevage ont un meilleur succès reproducteur que les mâles qui en sont issus, ce qui favorise la naissance d'hybrides avec un flux de gènes venant des femelles (Fleming *et al.* 2000). Or, même s'ils ont un meilleur taux de survie que les individus exclusivement issus d'élevage, les hybrides sont moins performants que les populations sauvages et tendent à réduire la moyenne globale de la valeur sélective⁸³ (McGinnity *et al.* 2003). De plus, en fonction de l'espace d'habitat disponible et compte tenu de leur croissance supérieure, les individus avec des gènes d'élevage sont en mesure d'exclure les juvéniles sauvages des zones de nurseries (McGinnity *et al.* 1997; Fleming *et al.* 2000). Ainsi, des échappements répétés d'individus d'élevage dans une proportion relativement importante par rapport à la population sauvage peuvent amener à réduire considérablement la valeur sélective⁸³ des populations sauvages et dans les cas extrêmes à entrer dans un « vortex d'extinction » (McGinnity *et al.* 2003; Grant *et al.* 2017). Bert *et al.* (2007) mentionnent trois types d'effets sur les populations sauvages :

- Altération de la diversité génétique,
- Baisse de la valeur sélective⁸³,
- Réduction de la taille effective de la population.

Néanmoins, ce domaine de recherche nécessite encore des études pour mieux comprendre les impacts potentiels sur le long terme de l'hybridation entre populations élevées et populations sauvages (figure 21).

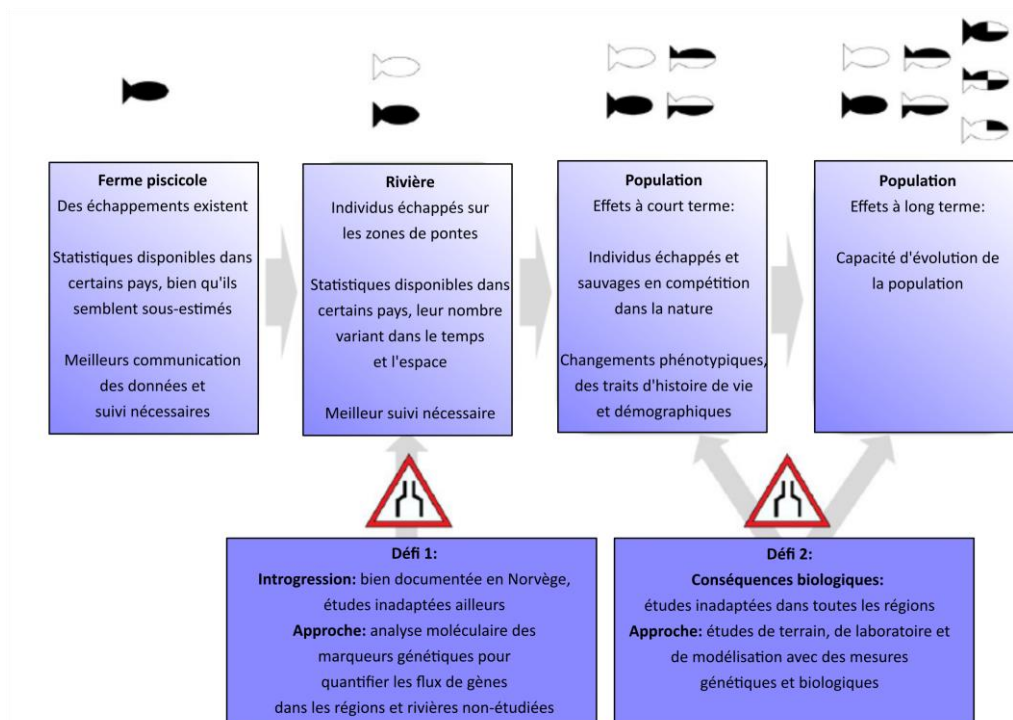


Figure 21 : les deux défis majeurs limitant la documentation sur les impacts génétiques des individus échappés de saumon atlantique sur les populations sauvages (traduit de Glover *et al.* (2017)).

Vis-à-vis des espèces de bivalves cultivées, des hybridations entre différentes espèces sont largement constatées. Par exemple, en Ecosse, des hybrides de différentes espèces de

moules entre *Mytilus trossulus*⁸⁴, *M. galloprovincialis*⁸⁵ et *M. edulis*⁸⁶, cette dernière étant l'espèce initialement cultivée, engendrent des pertes de production allant jusqu'à 50 % à cause de la fragilité de la coquille de *M. trossulus* (Dias *et al.* 2011). Sur la côte ouest des Etats-Unis et du Canada, des études génétiques montrent que les allèles de *M. galloprovincialis*, espèce importée à la fois pour l'aquaculture et par les navires de transport venant principalement d'Asie, sont présents dans la population locale de *M. trossulus* (Shields *et al.* 2010). Le constat est le même au sud de l'Amérique latine entre *M. galloprovincialis* et *M. platensis*⁸⁷ (Zbawicka *et al.* 2018). Ces introgressions sont dépendantes de la densité de fermes et de ports présents (Wonham 2004; Crego-Prieto *et al.* 2015). Le transfert de naissain est aussi visible dans les profils génétiques des moules d'élevages françaises entre Charente et Normandie (Bierne *et al.* 2003; Michalek *et al.* 2016) (figure 22). En Espagne, l'utilisation de *Ruditapes philippinarum*⁸⁸ pour le renouvellement des populations locales de *R. decussatus*⁸⁹ ont engendré une introgression de l'espèce non indigène vers l'espèce locale (Habtemariam *et al.* 2015). La sélection en écloserie réduit aussi la variabilité génétique des bivalves cultivés comme cela a été constaté pour plusieurs espèces d'huitres (e.g. Appleyard & Ward 2006; Lallias *et al.* 2010; In *et al.* 2016).

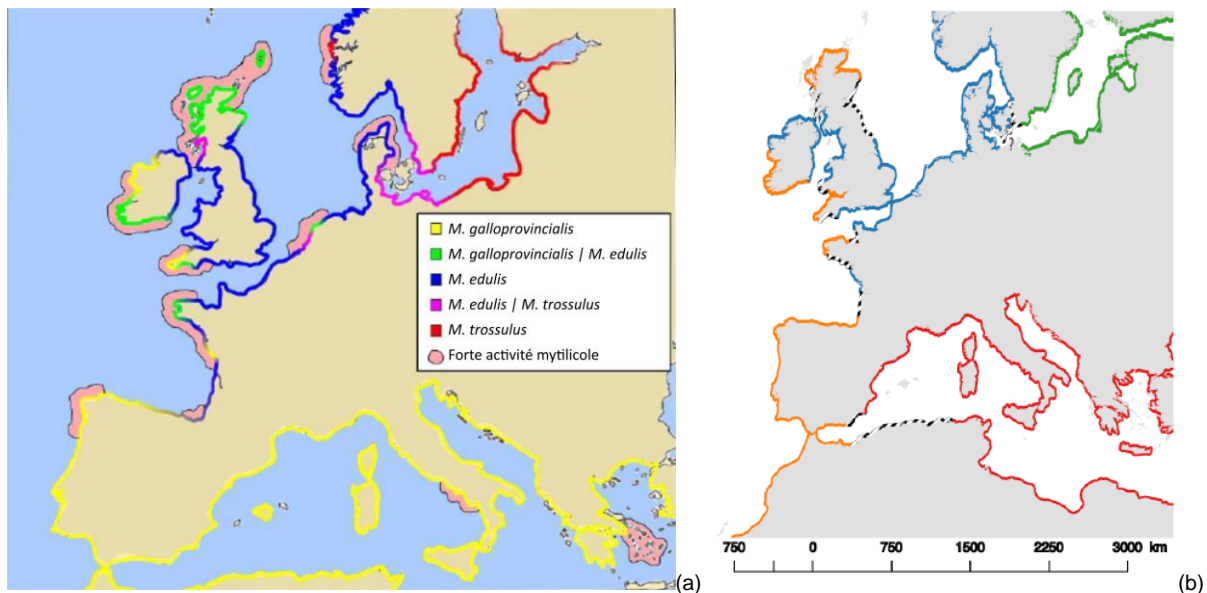


Figure 22 : (a) carte de l'Europe montrant la distribution naturelle des génotypes des différentes espèces de moules : *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis* et *Mytilus trossulus* et les occurrences de leurs hybrides (Michalek *et al.* 2016). (b) Distribution des espèces de *Mytilus edulis* (bleu), *Mytilus galloprovincialis* (atlantique en orange et méditerranéenne en rouge), *Mytilus trossulus* (vert) et des zones hybrides (noir hachuré) en Europe. Le complexe d'espèces *Mytilus edulis* présente une structure particulière mosaïque hybride (Bierne *et al.* 2003).

Les cultures d'algues ne sont pas exemptes de ces problématiques d'introgression génétique (e.g. Niwa *et al.* 2009; Loureiro *et al.* 2015) avec des programmes de sélection (Zhang *et al.* 2007) comme en Chine où 40 000 ha de *Saccharina japonica*⁹⁰ incluant des

⁸⁴ Gould, 1850.

⁸⁵ Lamarck, 1819.

⁸⁶ Linnaeus, 1758.

⁸⁷ D'Orbigny, 1842.

⁸⁸ (Adam & Reeve, 1850).

⁸⁹ (Linnaeus, 1758).

⁹⁰ (J.E. Areschoug) C.E.Lane, C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders, 2006.

traits de résistance aux maladies sont déjà cultivés (Cottier-Cook *et al.* 2016a). Ainsi, ces hybridations entre populations sélectionnées et populations sauvages ou entre deux espèces proches issues d'une sélection naturelle peuvent poser à la fois des problèmes pour l'aquaculture et pour la pérennité des espèces naturellement présentes dans le milieu. En effet, la richesse de la diversité génétique au sein d'une population et entre populations d'une même espèce est l'une des conditions pour une meilleure résilience des populations face aux perturbations qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Elle détermine la valeur sélective de la descendance. A long terme, une baisse de variabilité peut affecter de façon négative la capacité d'une espèce à faire face aux changements environnementaux (Waples *et al.* 2012; Grant *et al.* 2017), ce processus étant plus prégnant dans le cas d'une sélection réalisée par l'homme. En effet, dans le cas du captage de naissain, la sélection naturelle suite aux hybridations peut apporter des caractéristiques bénéfiques aux populations naturelles comme la résistance aux maladies, le taux de survie des larves, etc. (Michalek *et al.* 2016).

8.b. Interactions écologiques et trophiques

Les autres interactions relatives à l'échappement de poissons d'élevage, à la présence d'hybrides ou aux organismes élevés dans le milieu sont la prédation et la compétition pour l'espace, la nourriture, l'accouplement, avec des conséquences possibles sur la viabilité des populations sauvages (*e.g.* McGinnity *et al.* 1997; Fleming *et al.* 2000; Troost 2010). A ce titre, la filtration peut aussi potentiellement réduire le recrutement des populations d'autres organismes marins à travers la consommation directe des œufs et des larves en suspension. Cette pression étant dépendante de la surface et de la densité des exploitations, du comportement des larves et de l'hydrodynamisme local, elle demeure difficilement évaluable (Gibbs 2004; Keeley *et al.* 2009; Troost *et al.* 2009). Ce type de pression n'est pas référencé dans le tableau 7.

8.c. Interactions entre populations d'élevage et populations sauvages pour les habitats et les espèces Natura 2000

Les pressions concernant ces interactions sont incluses dans la catégorie des pressions biologiques :

- Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) ;
- Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7).

Pressions auxquelles il faut rajouter toutes les formes de compétitions qui peuvent intervenir entre les organismes élevés et les populations sauvages : trophiques, spatiales, etc.

Que ce soit en termes d'interactions génétiques, spatiales ou trophiques entre les animaux en élevage et les populations sauvages, seule une atteinte importante à des espèces structurantes ou caractéristiques d'un habitat donné peut mettre en péril l'habitat dans son ensemble. Ainsi, la sensibilité des habitats à des interactions génétiques / écologiques relatives aux individus échappés ou/et à des hybridations entre espèces est considérée comme négligeable sauf dans le cas : des récifs biogéniques constitués d'espèces similaires ou proches de celles élevées (*e.g.* récifs de moules ou d'huîtres) ; des habitats comprenant les mêmes espèces d'algues que celles cultivées ; et, d'un point de vue écologique, si l'espèce élevée est considérée comme invasive (cf. II.C.9).

Pour les espèces Natura 2000, compte tenu des éléments développés en amont, le saumon atlantique (1106) présente une sensibilité aux interactions génétiques, spatiales et/ou trophiques avec les élevages aquacoles de la même espèce. Cependant, les élevages commerciaux de saumon étant limités en France, ces interactions génétiques concernent

avant tout les programmes de réintroduction / maintien des populations dans les fleuves (e.g. Garonne, Dordogne, Loire, etc.). Concernant l'esturgeon (1101), le fait que la population sauvage soit en danger critique d'extinction et que le programme de conservation doivent s'appuyer sur des individus élevés, les interactions génétiques sont inhérentes à ce cas bien particulier (Chèvre *et al.* 2019). Cet exemple montre l'appui de l'aquaculture dans une tentative de restauration d'une espèce en danger. Par rapport à l'aphanius de Corse (1152), il semble potentiellement sensible aux interactions écologiques avec les animaux d'élevage échappés pour lesquels il peut constituer une proie.

C.9. INTERACTIONS RELATIVES A L'INTRODUCTION D'ESPECES NON-INDIGENES

Une espèce non-indigène est soit une espèce exotique, c'est-à-dire dont l'aire de répartition naturelle est située ailleurs, soit une espèce localement absente, c'est dire non présente dans la totalité de son aire de répartition pour des raisons biogéographiques⁹¹. Ces espèces non-indigènes peuvent devenir invasives si elles s'accordent avec cette définition :

« Une invasion biologique consiste en une espèce qui acquiert des avantages compétitifs suite à la disparition d'obstacles naturels à sa prolifération qui lui permet une extension rapide et conquiert de nouvelles zones au sein des écosystèmes destinataires dans lesquels elle devient la population dominante » (Valéry *et al.* 2008). Cette définition englobe donc aussi une espèce locale qui, sous certaines conditions, peut devenir invasive. Cependant, dans le cadre de ce document, seul le cas des espèces non-indigènes est développé.

Les conséquences des espèces invasives peuvent être aussi bien dommageables aux services écosystémiques qu'à la biodiversité, même si des effets positifs peuvent être observés (Katsanevakis *et al.* 2014) (figures 23 et 24). Leurs impacts représentent un coût très élevé pour nos sociétés que ce soit à cause des pertes occasionnées pour les élevages, du coût de destruction des populations, etc. (e.g. Lovell *et al.* 2006). L'extension des espèces invasives tout autour du monde tend à homogénéiser la biodiversité et représente une perte de biodiversité à l'échelle globale (Millennium Ecosystem Assessment 2005a). C'est la deuxième cause d'extinction d'espèces au cours de ces 500 dernières années après la destruction d'habitats (Bellard *et al.* 2016).

L'aquaculture marine est la seconde cause d'introduction d'espèces invasives à travers le monde après le transport maritime (41 % vs 69 %) (e.g. Naylor *et al.* 2001; Bax *et al.* 2003; Molnar *et al.* 2008; Wolf *et al.* 2018). Par exemple, en Californie, Grosholz *et al.* (2015) ont montré que sur 126 espèces non-indigènes associées avec l'aquaculture, 106 sont maintenant établies, les études démontrant principalement des effets négatifs sur les espèces locales. Les vecteurs d'introduction sont l'import direct d'espèces d'élevages hors de l'aire de répartition à des fins de production (e.g. *Magallana* (= *Crassostrea*) *gigas*, *Mercenaria mercenaria*⁹² et *Ruditapes philippinarum*), celles-ci apportant leur biote associé pouvant être des parasites, des maladies et autres espèces nuisibles pour les écosystèmes locaux et les cultures marines (e.g. *Crepidula fornicata*⁹², *Tritia neritea*⁹² et *Anomia chinensis*⁹³) (Dupont 2004; Minchin *et al.* 2009; James & Shears 2016). C'est le cas avec *M. galloprovincialis* et l'ascidie *Ciona intestinalis* (figure 13.a) (Rius *et al.* 2011), ou encore dans le bassin de Thau ou celui d'Arcachon au sein desquels la majorité des macroalgues non-indigènes proviennent de la région Pacifique par le biais du transfert d'huitres (Verlaque

⁹¹ Règlement (CE) N°708/2007 DU CONSEIL du 11 juin 2007 relatif à l'utilisation en aquaculture des espèces exotiques et des espèces localement absentes.

⁹² (Linnaeus, 1758).

⁹³ Philippi, 1849.

2001; Verlaque *et al.* 2007). L'introduction d'espèces invasives peut aussi se faire via les déchets flottants issus des élevages (Rech *et al.* 2016, 2018; Campbell *et al.* 2017) (cf. II.C.2.b).

A ce titre, les moules de l'espèce *M. galloprovincialis* ou des haplotypes non-indigènes de l'espèce (cf. aussi II.C.8.a) sont présentes sur les côtes est du Pacifique (Canada, Chili, Etats-unis), en Afrique du sud et en Australie (Wonham 2004; Westfall & Gardner 2010; Rius *et al.* 2011; Dias *et al.* 2014; Crego-Prieto *et al.* 2015; Zardi *et al.* 2018; Zbawicka *et al.* 2018). L'huître creuse, *Magallana* (= *Crassostrea*) *gigas*, est dorénavant répandue sur une grande partie des côtes mondiales, Herbert *et al.* (2016) parlent même de l'un des invertébrés les plus « mondialisés ». L'huître creuse peut présenter un fort impact écologique en perturbant de multiples espèces, de larges fonctions de l'écosystème, et/ou les espèces clefs ou des espèces menacées (3 sur une échelle de 4 dans Molnar *et al.* 2008). Néanmoins, elle peut aussi jouer un rôle dans le maintien de la biodiversité dans des écosystèmes avec une population déclinante d'une espèce locale comme c'est le cas en Irlande avec l'huître européenne, *Ostrea edulis* (Zwerschke *et al.* 2016).

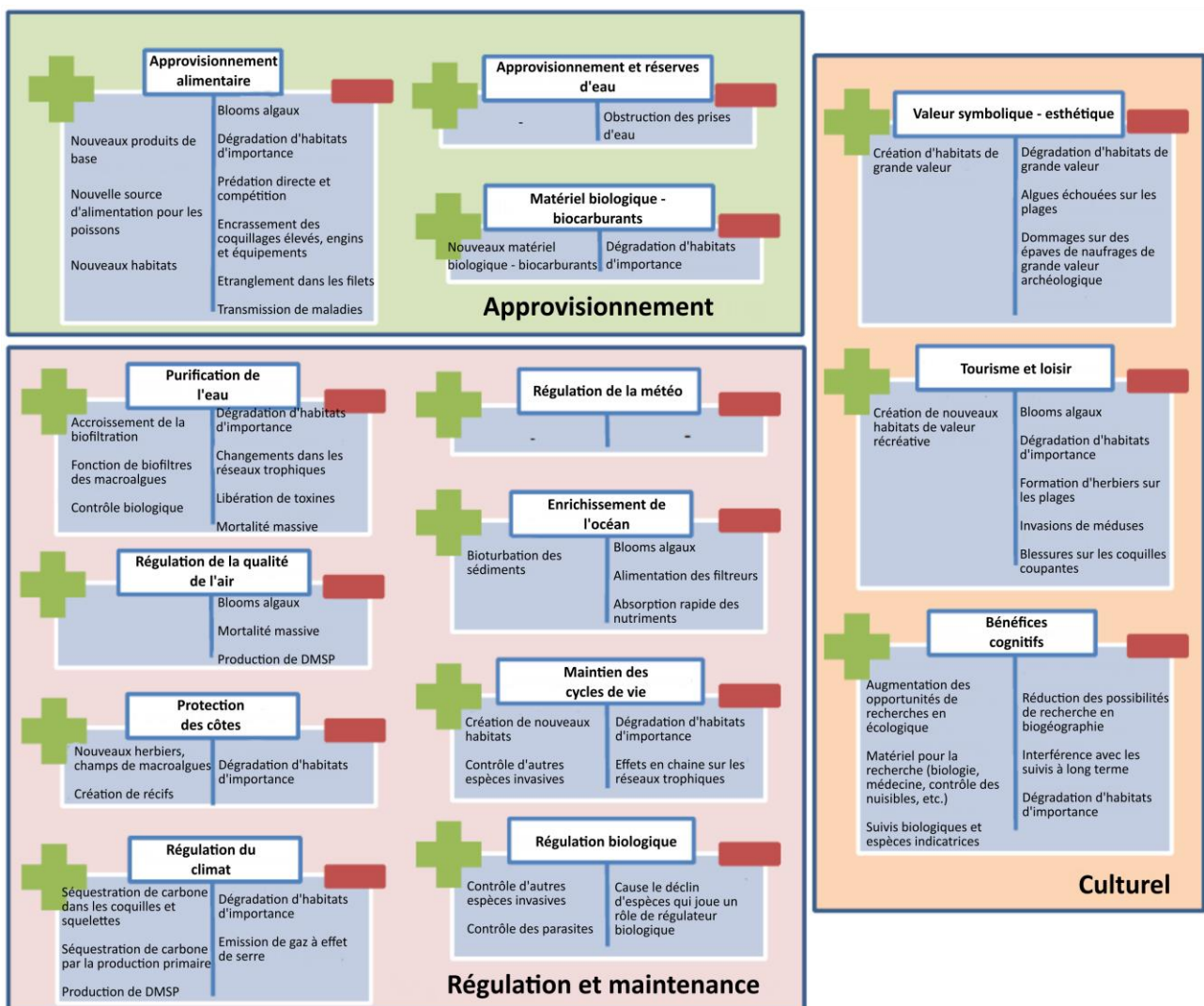


Figure 23 : principaux mécanismes à travers lesquels les espèces invasives impactent les services écosystémiques (d'approvisionnement, de régulation et de maintenance, culturels). Croix verte : impact positif ; signe négatif rouge : impact négatif (traduit d'après Katsanevakis *et al.* 2014).

En Italie, *Ruditapes philippinarum* qui a été introduite pour l'aquaculture en 1983 s'est rapidement substituée à la palourde italienne (*Chamelea gallina*⁹⁴), elle est dorénavant la première espèce en valeur pour l'aquaculture italienne, second producteur mondial (Sicuro *et al.* 2016). Les échappés de saumon atlantique en font une espèce non-indigène au Chili, aux Etats-Unis, au Canada et en Australie. Cependant, à ce jour, le saumon atlantique ayant une piètre capacité de colonisation en dehors de son aire naturelle de répartition, il ne semble pas être en mesure de s'adapter aux conditions locales même si quelques reproductions en milieux naturels ont pu être observées (Thorstad *et al.* 2008). Ce qui n'est pas le cas pour la truite arc-en-ciel dont les populations naturalisées se maintiennent au Chili et deviennent une menace pour les écosystèmes (Sepúlveda *et al.* 2013), à l'inverse de la France, où celle-ci ne s'est établie que dans le réservoir artificiel des Bouillouses et le ruisseau d'Estibère malgré de nombreuses introductions (Stanković *et al.* 2015).

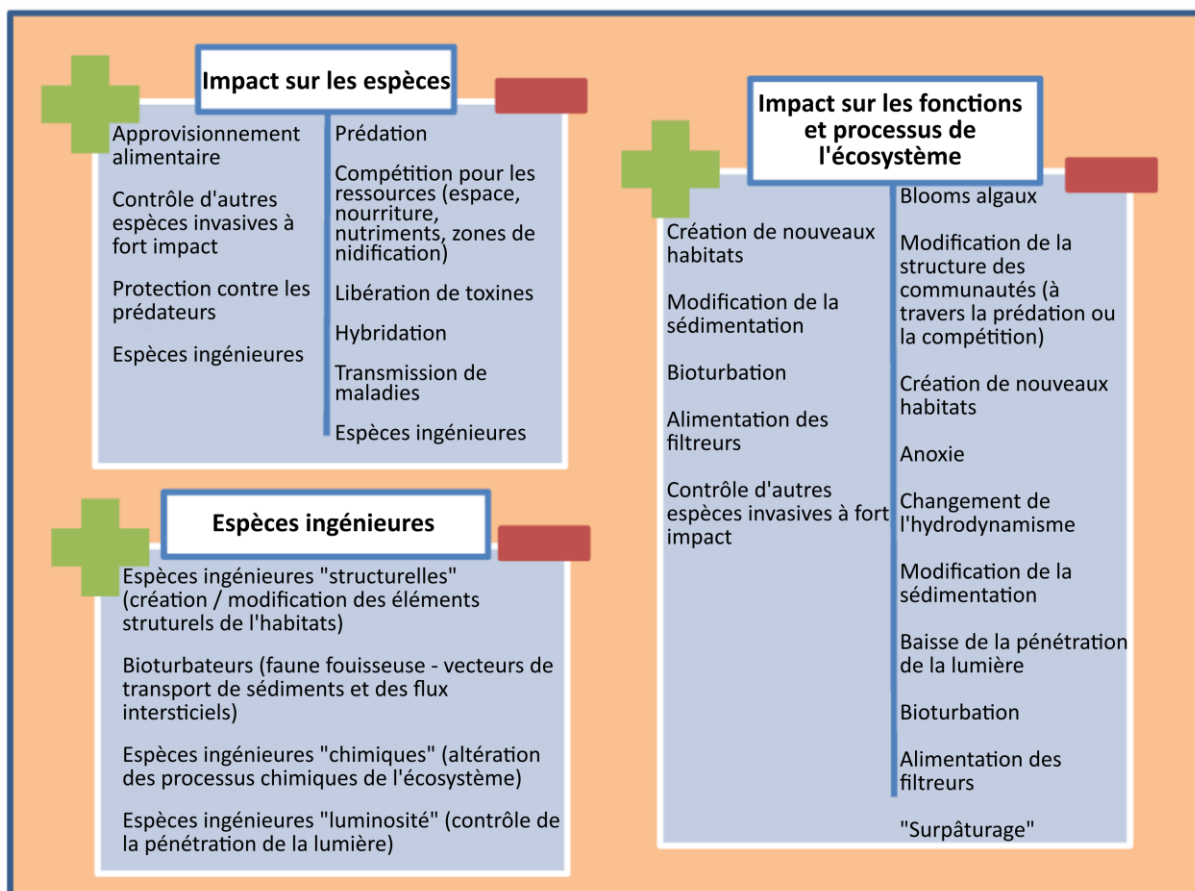


Figure 24 : principaux mécanismes à travers lesquels les espèces invasives impactent la biodiversité. Croix verte : impact positif ; signe négatif rouge : impact négatif (traduit d'après Katsanevakis *et al.* 2014).

⁹⁴ Linnaeus, 1758.

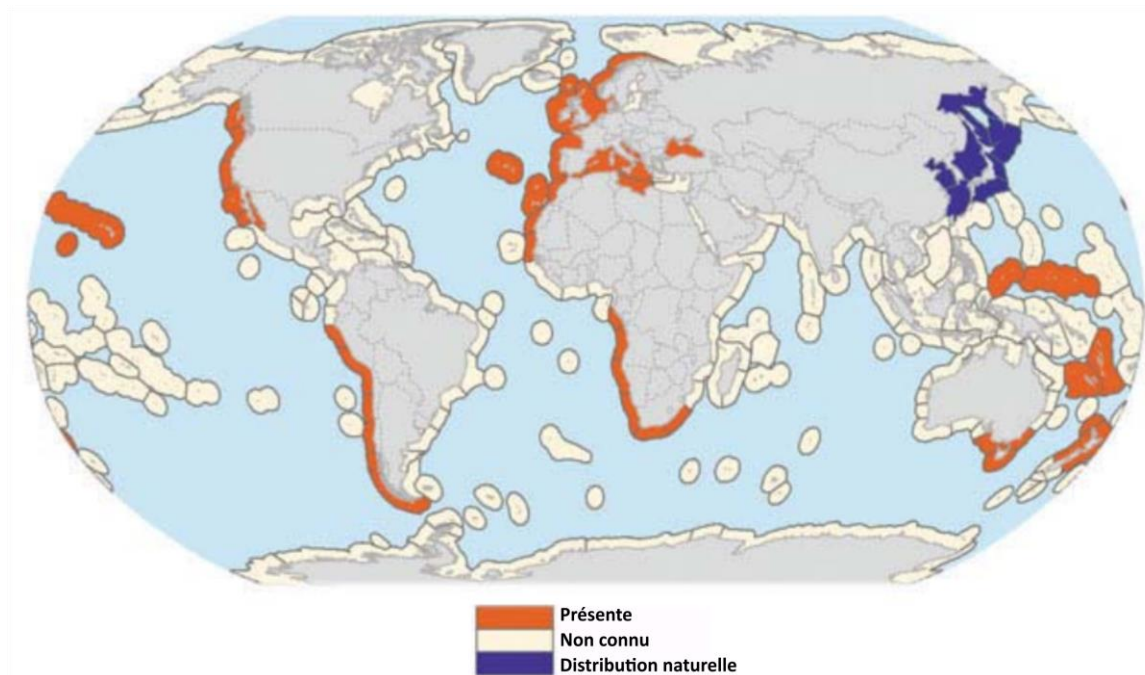


Figure 25 : l'huître creuse japonaise *Magallana* (= *Crassostrea*) *gigas* a été intentionnellement libérée et cultivée dans les eaux côtières autour du monde. Elle peut dominer et détruire des habitats. La carte montre la distribution de l'espèce ; sa distribution en tant qu'espèce invasive est en orange, son aire de répartition naturelle en bleu (traduit de Molnar *et al.* 2008).

Concernant l'algoculture, deux espèces font l'objet de nombreuses études suites à leur expansion mondiale. *Sargassum muticum*⁹⁵ ou sargasse japonaise qui fut probablement introduite par les transports d'huîtres creuses japonaises des années 1970 du Japon vers l'Europe et les Amériques où elle est maintenant largement établie (e.g. Critchley 1983; Grizel 1983; Schwartz *et al.* 2016). A titre d'exemple, son caractère invasif rend même possible son impact sur les herbiers de *Zostera marina* par le biais de coquilles sur lesquelles elle se fixe, réduisant la lumière accessible à l'herbier et rentrant en compétition pour l'espace (White & Orr 2011). *Undaria pinnatifida*⁹⁶, plus connue sous le nom de wakame, a été introduite il y a plus de 30 ans pour l'algoculture et est maintenant largement répandue en Europe (figure 26) et à travers le monde (Thornber *et al.* 2004; Schiel & Thompson 2012; Sfriso & Facca 2013; Arnold *et al.* 2016). Elle peut induire une baisse de biodiversité drastique comme cela est observée en Patagonie dans les zones colonisées (Casas *et al.* 2004, 2008) et, se fixant facilement sur les structures artificielles (Minchin 2007), l'aquaculture peut largement participer à son expansion comme c'est le cas en Nouvelle-Zélande où l'espèce est particulièrement reproductive et persistante sur les filières mytilicoles (James & Shears 2016).

⁹⁵ (Yendo) Fensholt, 1955.

⁹⁶ (Harvey) Suringar, 1873.

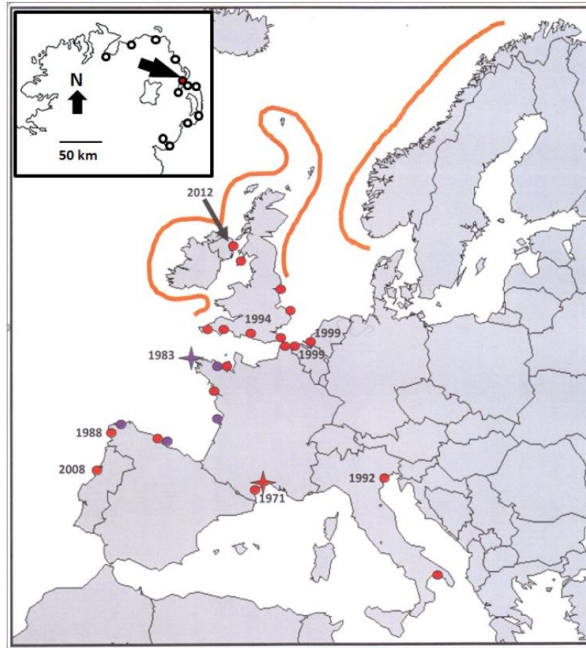


Figure 26 : distribution du wakamé (*Undaria pinnatifida*) indiquant les dates des premières présences enregistrées dans chaque pays dans lesquels elle est invasive. Points bleus : cultures d'*U. pinnatifida*, points rouges : autres populations, étoile rouge : premier enregistrement en Méditerranée ; étoile bleue : premier enregistrement en Atlantique. La flèche indique sa première occurrence connue en Irlande. Les lignes oranges indiquent la probable répartition future d'*Undaria pinnatifida* (Minchin 2007).

Afin de définir les risques que représentent une espèce non-indigène, plusieurs approches de l'évaluation du risque relatif aux espèces non-autochtones existent (GB NNRA : *Great Britain Non-Native Risk Assessment* ; EPPO DSS : *European and Mediterranean Plant Protection Organisation Decision Support Scheme* ; ENSARS : *European Non-native Species in Aquaculture Risk Assessment Scheme*, *Harmonia*⁺, etc.). Une liste de quatorze standards minimums pour ces protocoles est établie dans Roy *et al.* (2013). Par exemple, *Harmonia*⁺ rassemble une multitude de scores (introduction, établissement, expansion, impacts sur les plantes / les animaux / les hommes, etc.) pour définir ce risque d'impact (D'hondt *et al.* 2015).

En plus de la classification de l'espèce non-indigène dans une catégorie de risque d'impact, le stade d'invasion doit aussi être pris en considération pour prioriser les actions sur le terrain (Branquart 2009) :

- **Espèce sur liste d'alerte** : espèce non encore naturalisée dans la région concernée mais invasive dans les régions adjacentes. Seules les espèces avec un fort impact environnemental parmi les espèces non encore établies sont prises en compte. Les réglementations du commerce et des importations sont des outils pertinents pour éviter une introduction intentionnelle.
- **Espèce en cours de naturalisation (populations isolées)** : espèce qui est au premier stade d'invasion dans la région considérée, elle ne forme que de récentes et petites populations isolées, localisées à proximité de leurs lieux d'introduction. Ces espèces ne colonisent que quelques-uns de leurs habitats potentiels dans la région et peuvent être encore éradiquées à une échelle régionale à un coût faible en comparaison des dommages qu'elles peuvent causer dans le futur en cas d'inaction.
- **Espèce naturalisée avec une aire de répartition restreinte** : espèce dont les populations sont en forte expansion et forment de nouvelles populations loin de leurs

lieux d'introduction après une phase de dispersion, mais dont la distribution est encore limitée à certaines zones de la région. Ces espèces peuvent potentiellement être contenues dans certaines parties de la région si des mesures de contrôles sont prises.

- **Espèce naturalisée largement répandue** : espèce répartie dans toute la région et qui a déjà colonisé la majorité des sites appropriés à son établissement.

Le risque d'impact et le stade de colonisation permettent ensuite de placer l'espèce considérée sur un graphique afin de déterminer les besoins en termes de gestion (figure 27).

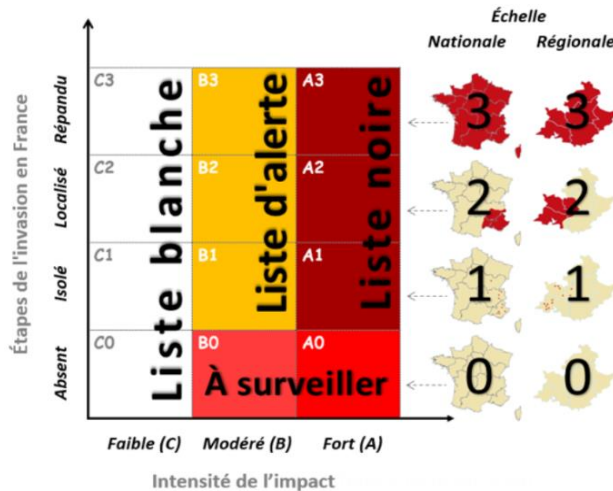


Figure 27 : présentation schématique du croisement entre risque d'impact et stade d'invasion (modifié d'après Branquart (2009) et Cottaz (2016)).

9.a. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes pour les habitats et les espèces Natura 2000

Ces interactions concernent l'une des pressions biologiques :

- Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)

Dans le cas de l'introduction d'une espèce non-indigène ingénier, cette pression peut engendrer un « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2) » si celui-ci est irréversible (e.g. récifs d'huitres creuses).

L'introduction d'une espèce non-indigène constitue un danger majeur pour les écosystèmes marins puisqu'elle peut potentiellement se montrer invasive avec de nombreuses conséquences possibles (figures 23 et 24). Une fois que l'espèce introduite s'établit, son éradication est impossible, l'exemple de la crépidule en est un exemple probant (e.g. Blanchard 1995; Dupont 2004). Les conséquences sur les habitats et les espèces sont rarement prévisibles et peuvent être extrêmement dommageables. Les habitats Natura 2000 sont donc tous considérés comme sensibles à l'introduction d'espèces non-indigène, à l'exception des habitats supralittoraux.

Concernant le saumon atlantique, aucune espèce de salmonidés non-indigènes n'est élevée en France. Ainsi, même si le saumon atlantique peut s'hybrider par exemple avec la truite commune, mais sans succès pour la descendance ultérieure (Garcia-Vazquez *et al.* 2002; Adams *et al.* 2014), cela est le fait d'interactions naturelles entre les deux espèces (celles-ci pouvant être accentuées en cas de présence d'élevage (Adams *et al.* 2014)). Pour l'esturgeon européen, il peut être considéré comme potentiellement sensible dans le cas d'élevages d'espèces voisines, comme l'esturgeon russe. Cependant, il faudrait qu'il soit exposé à ces autres espèces sur les mêmes sites de ponte. Or, à ce jour, les effectifs

d'esturgeons européens demeurent très faibles et aucune présence d'une autre espèce n'a été documentée en milieu naturel. La probabilité est donc très réduite.

Pour l'ensemble des espèces Natura 2000, dès lors qu'elles sont inféodées à des habitats spécifiques pour s'alimenter, la dénaturaion de ces habitats par des espèces invasives peut avoir des conséquences très néfastes pour les populations. Par exemple, la transformation d'une vasière intertidale en récifs d'huîtres engendrera la perte d'une zone d'alimentation potentielle pour certains oiseaux limicoles et oiseaux plongeurs se nourrissant sur le fond, limitant ainsi leur capacité de survie.

C.10. FOCUS SUR CERTAINS HABITATS NATURA 2000 SENSIBLES ET ZONES FONCTIONNELLES D'INTERET POUR LES ESPECES NATURA 2000

10.a. Récifs d'hermelles⁹⁷

Ces récifs biogéniques sont formés par des annélides marins polychètes, sédentaires et tubicoles. L'espèce la plus connue de nos côtes et celle se développant majoritairement en zone intertidale, *Sabellaria alveolata*. Par les structures créées et leur physiologie, ces espèces ingénieurs peuvent modifier la distribution locale des sédiments, l'hydrodynamisme, filtrer une grande quantité d'eau et augmenter la production primaire benthique (Dubois *et al.* 2006; Jones *et al.* 2018). Ces récifs hébergent une grande diversité d'espèces typiques de multiples habitats (substrats rocheux, sableux et vaseux ; milieu intertidal, subtidal et terrestre) en formant des structures complexes enrichissant des milieux parfois monotones (*e.g.* vasière intertidale) (*e.g.* Porras *et al.* 1996; Dias & Paula 2001; Dubois *et al.* 2006). Cette diversité est fonction du stade de développement du récif : structures en boules ; platiers ; récifs dégradés (Porras *et al.* 1996; Dubois *et al.* 2002) (figure 28). Dans Dubois *et al.* (2006), la présence d'huîtres sur les récifs influe positivement sur la richesse spécifique en complexifiant le milieu mais, même si elles peuvent participer à augmenter la probabilité de captage des larves d'hermelles, la compétition spatiale (et potentiellement trophique⁹⁸) peut à long terme porter atteinte aux structures.

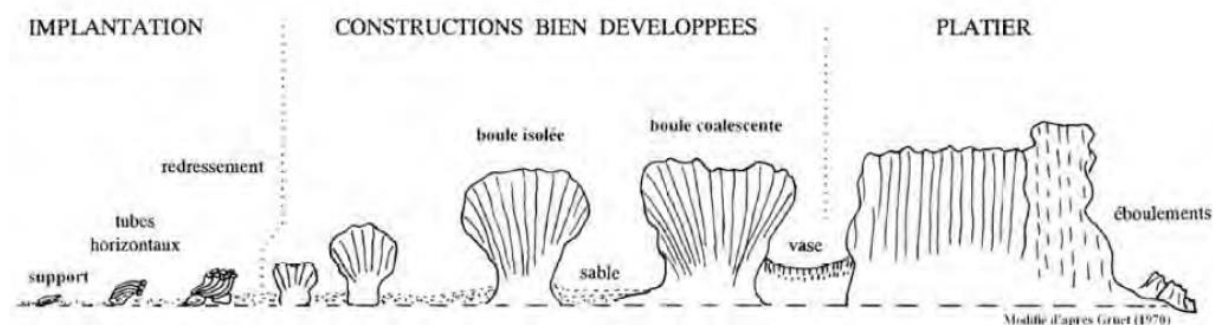


Figure 28 : dynamique d'un récif d'hermelles (Dubois 2003).

⁹⁷ 1170-4 Les récifs d'hermelles (façade atlantique).

⁹⁸ *Magallana (Crassostrea) gigas* et *Sabellaria alveolata* s'alimentent dans la même gamme de taille de particules (Dubois *et al.* 2003). Néanmoins, l'analyse isotopique des organismes suspensivores en baie des Veys et à Lingreville-sur-mer (Lefebvre *et al.* 2009) montrent que les modes d'alimentation et la sélection des particules diffèrent, limitant cette compétition trophique.



Figure 29 : massifs d'hermelles, *Sabellaria alveolata*. (a) Baie du Mont Saint-Michel. Commune de Champeaux. Site Natura 2000 Baie du Mont Saint-Michel (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité). (b) Plage de Cameros. Commune d'Argol. Parc naturel marin d'Iroise (photo : C. Lefeuvre / Office français de la biodiversité).

10.a. Herbiers de zostères et de posidonies⁹⁹

Les herbiers de phanérogames marines (zostères, posidonies, cymodocées, etc.) fournissent un ensemble de fonctions et de services écosystémiques comme la stabilisation des sédiments, la séquestration du carbone et de l'azote, la production primaire et des zones refuges contre les prédateurs, pour la reproduction, etc. (e.g. Hily 2006; Schmidt *et al.* 2011; Tuya *et al.* 2014; Campagne *et al.* 2015; Nordlund *et al.* 2018).

La méta-analyse menée par (Ferriss *et al.* 2019) (125 études) concernant les effets de l'aquaculture de bivalves sur les herbiers de *Zostera* sp. montre que les élevages sur filières ou sur tables influencent négativement la densité, le pourcentage de couverture et la reproduction de l'herbier considéré. Néanmoins, certains résultats analysés ne concordent pas nécessairement et sous-entendent donc des interactions complexes, reflétant de multiples mécanismes, conditions environnementales et agencements des structures d'élevage (Ferriss *et al.* 2019).

Concernant les herbiers de posidonies, le facteur influençant majoritairement leur distribution et leur densité est la lumière (Boudouresque *et al.* 2012), leur vitalité étant plus élevée dans des eaux oligotrophes ou mésotrophes (Tunesi & Boudouresque 2012). Les élevages en cages de poissons vont influencer négativement les herbiers de posidonies (e.g. tableau 17) :

- Par la réduction de la quantité de lumière à la fois à cause de la turbidité provoquée par les rejets en raison de l'ombre portée (Pergent 2012) ;
- Par une augmentation de la teneur en matière organique (eutrophisation) ;
- Dans la colonne d'eau qui induit un développement des épiphytes sur les feuilles (Holmer *et al.* 2008; Pérez *et al.* 2008) ;
- Dans les sédiments qui engendre une anoxie du substrat, une réduction des sulfates (Holmer & Frederiksen 2007) et une modification du ratio entre production primaire et respiration (perte de la fonction de puit de carbone) (Apostolaki *et al.* 2011).

⁹⁹ 1110-1 Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de *Zostera marina* (façade atlantique) ; 1120-1 Herbiers à Posidonies (Méditerranée) ; 1140-3 Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à *Zostera noltei*.

Tableau 17 : densité des herbiers de *Posidonia oceanica* (nombre de pousses par m²). Valeurs moyennes ± intervalle de confiance à 95 % (Pergent 2012).

Sites	Distance des cages				
	Sous les cages	1 m	20 m	80 m	300 m
Figari (-10 m) - Corse	0	63 ± 11	108 ± 16	250 ± 28	313 ± 41
St Paul (-12 m) – Malte	0			225 ± 20	310 ± 30
Golfe d'Aranci (-23 m) - Sardaigne	0	110 ± 16		175 ± 29	200 ± 32

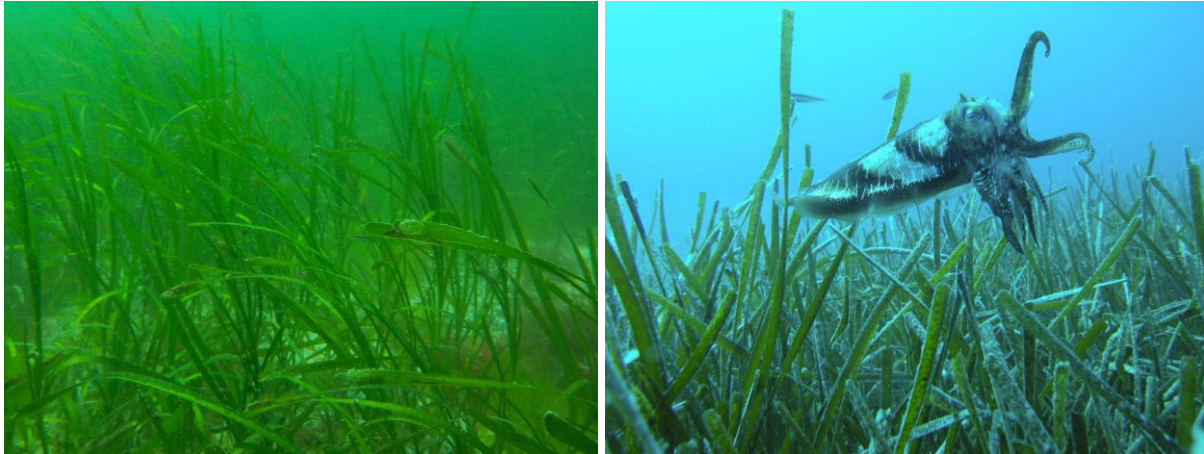


Figure 30 : (a) Herbiers de *Zostera marina*. Commune de Fouesnant. Site Natura 2000 Archipel des Glénan (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité). (b) Herbiers de *Posidonia oceanica*. Golfe de de la Revellata. Commune de Calvi. Parc naturel marin du cap Corse et de l'Agriate (photo : A. Chery / Office français de la biodiversité).

10.b. Maërl¹⁰⁰

Le terme breton maërl désigne une accumulation d'algues calcifiées non fixées vivantes ou mortes. Les principales espèces formant cet habitat biogénique sont *Lithothamnion corallioides*¹⁰¹ et *Phymatolithon calcareum*¹⁰² (Grall & Hall-Spencer 2003). La structure tridimensionnelle de cet habitat induit une richesse spécifique exceptionnelle qui sert de zones de nurseries par exemple pour les oursins, les ormeaux, les praires et les coquilles Saint-Jacques (Bensettiti *et al.* 2004). Ainsi, Hall-Spencer (1998) a déterminé pas moins de 150 espèces de mollusques dans du maërl écossais. Au-delà des impacts liés à son extraction ou aux arts trainants de la pêche professionnelle, la prolifération de l'espèce invasive *Crepidula fornicata*¹⁰³ largement disséminée par la conchyliculture (cf. II.C.9) a recouvert plusieurs zones de maërl tout au long de la côte atlantique (Grall & Hall-Spencer 2003). Aussi, l'eutrophisation et l'apport de sédiments riche en matériel organique qu'ils soient liés aux effluents terrestres ou à l'aquaculture marine impactent très négativement le maërl en réduisant les échanges entre l'organisme et le milieu (e.g. Grall & Hall-Spencer 2003; Wilson *et al.* 2004; Hall-Spencer *et al.* 2006; Sanz-Lázaro *et al.* 2011).

¹⁰⁰ 1110-3 Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique) ; 1110-7 Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.

¹⁰¹ (P.L.Crouan & H.M.Crouan) P.L.Crouan & H.M.Crouan, 1867.

¹⁰² (Pallas) W.H.Adey & D.L.McKibbin ex Woelkerling & L.M.Irvine, 1986.

¹⁰³ (Linnaeus, 1758).



Figure 31 : banc de maërl vivant (*Phymatolithon calcareum*). Archipel de Molène. Parc naturel marin d'Iroise (photo : L. Schweyer / Office français de la biodiversité). Container d'élevage sur un banc de maërl. Anse de Poulmic, commune d'Argol. Site Natura 2000 Rade de Brest, estuaire de l'Aulne (photo : A. Pibot / Office français de la biodiversité).

10.c. Zones fonctionnelles pour l'avifaune

Toutes les espèces d'oiseaux (à l'exception des plus opportunistes) nécessitent des zones spécifiques pour satisfaire à leurs besoins¹⁰⁴ : alimentation, mue, nidification et repos (MEDDTL 2012) sur lesquels l'aquaculture marine peut se développer. L'emprise des activités humaines sur les habitats intertidaux et littoraux peut engendrer des pertes d'habitats et de forts dérangements (cf. II.C.4) pour l'avifaune pouvant mettre en danger des populations locales ou migratrices (e.g. Eybert *et al.* 2003; Catry *et al.* 2011). Par exemple, en ce qui concerne les espèces migratrices, l'absence d'environnement adapté¹⁰⁵ sur les voies migratoires (e.g. figure 32) peut avoir des conséquences catastrophiques sur les populations comme c'est le cas sur les côtes chinoises en mer jaune (Melville *et al.* 2016). Ainsi, même si certaines espèces d'oiseaux peuvent bénéficier des élevages marins (e.g. Caldow *et al.* 2003; Žydelis *et al.* 2009; Jiménez *et al.* 2013; Tolon 2013), les conséquences de pressions potentielles comme l'altération d'habitats et le dérangement peuvent impacter négativement les populations si les surfaces d'environnement adapté sont trop restreintes (e.g. Eybert *et al.* 2003; Godet *et al.* 2009; Catry *et al.* 2011).

¹⁰⁴ e.g. la macreuse noire (groupe des plongeurs benthiques) possède un régime alimentaire principalement composé de mollusques, en particulier de *Donax vittatus* (da Costa, 1778) ce qui explique sa présence sur les côtes normandes (Aulert 1997).

¹⁰⁵ i.e. habitats nécessaires aux besoins de l'espèce et suffisamment isolés pour limiter le dérangement et la prédation.

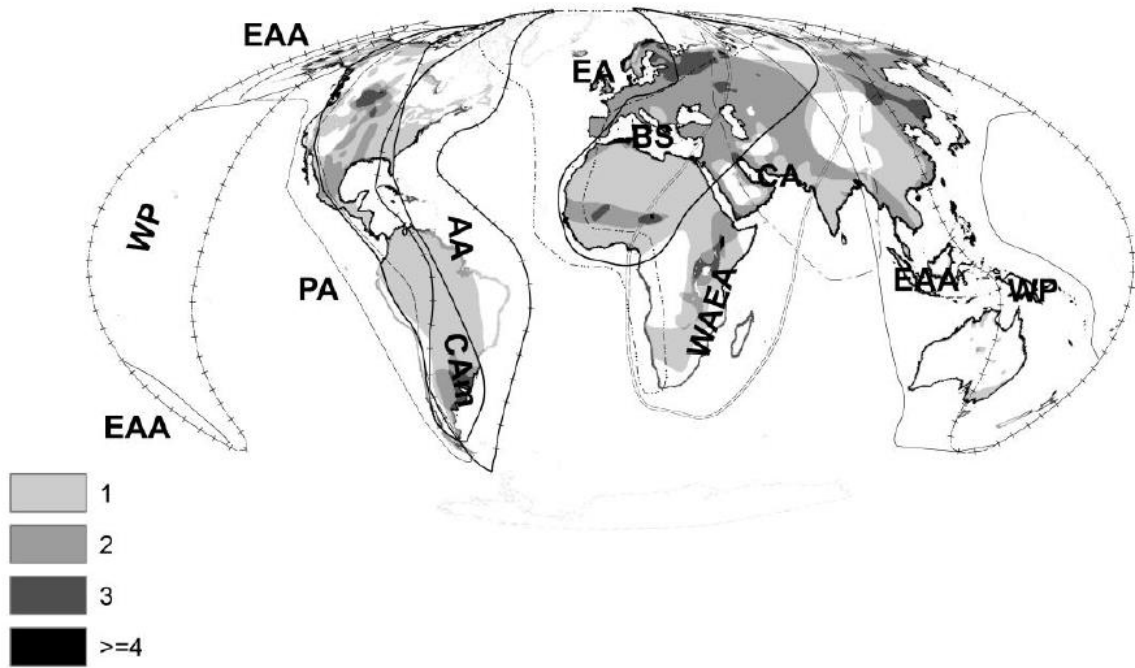




Figure 32 : voies migratoires (Wetlands International 2014) superposées sur la richesse spécifique des Numeniini¹⁰⁶ à partir de polygones venant de BirdLife International. Les zones blanches sont en dehors de l'aire de répartition des Numeniini. Les voies migratoires sont abrégées comme suit (PA, Pacific Americas; CAM, Central Americas; AA, Atlantic Americas; EA, East Atlantic; BS, Black Sea; WAEA, West Asian; CA, Central Asian; EAA, East Asian-Australasian; WP, West Pacific).


¹⁰⁶ Tribu paraphylétique hautement menacée du sous-ordre Scolopacédés. Un groupe est paraphylétique quand il ne rassemble pas tous les descendants d'une espèce souche qu'il contient. Les reptiles en sont un exemple puisqu'ils ont un ancêtre commun avec les oiseaux mais que ces derniers ne font pas partie de groupe paraphylétique des reptiles.

II.D. SYNTHÈSE DES PRESSIONS POTENTIELLES EN FONCTION DU TYPE D'AQUACULTURE

Les tableaux suivants synthétisent les pressions potentielles générées par les différents types d'aquaculture. **Les amplitudes (II.A.3.c) de ces pressions sont présentées de manière relative entre les différents types d'aquaculture** (cf. définition ci-dessous de la qualification de la pression). Un tableau est proposé pour les catégories de pressions suivantes : « physiques », « substances, déchets et énergie » et « biologiques ». Les codes couleurs correspondant sont :

 **Pression faible** : pression d'amplitude réduite n'impliquant pas un risque d'impact potentiel élevé sur les habitats et les populations.

 **Pression modérée à forte** : pression d'amplitude significative impliquant un risque d'impact potentiel significatif, voire élevé, sur les habitats et les populations.

 **Pression favorable** pouvant générer des effets positifs sur une espèce, un habitat ou une composante des écosystèmes marins

 Pression négligeable ou inexistante

Ces tableaux ne doivent pas être utilisés et interprétés sans prendre connaissance de la description générale des pressions et des explications associées à chacun d'entre eux.

D.1. PRESSIONS PHYSIQUES

Le tableau 18 résume le niveau d'amplitude relatif des pressions physiques potentiellement générées par chaque type d'aquaculture.

Concernant l'installation des infrastructures d'élevage, en fonction des travaux engagés, elle peut générer un large panel de pressions physiques avec des amplitudes variables mais dont la fréquence et la durée sont restreintes dans le temps.

A l'exception des élevages à terre, tous les autres formes d'aquaculture présentent une « Modification des conditions hydrodynamiques (M11) » en entravant de manière plus ou moins significative les courants.

Du fait de l'usage de herse ou de drague, la conchyliculture au sol présente des pressions faibles à fortes en ce qui concerne les différents degrés d'« Abrasion (M5, M6 et M7) » engendrant de fait un « Remaniement (M8) » potentiel du substrat, une « Modification de la charge en particules (M12) » et un possible « Dépôt de faible quantité de matière (M9) ».

Le « Tassement (M4) » concerne les activités d'aquaculture qui peuvent nécessiter l'usage de tracteurs pour l'exploitation des élevages.

Les degrés d'« Abrasion (M5, M6 et M7) », la « Modification de la charge en particules (M12) » et le « Remaniement (M8) » pour les différentes formes de conchyliculture vont être la résultante soit du passage des engins (tracteurs et hélices des barges quand la profondeur est faible), soit des « Modifications des conditions hydrodynamiques (M11) » relatives aux structures d'élevages. Les corps morts¹⁰⁷ nécessaire à l'amarrage des filières et des cages à poissons ainsi que les chaînes et cordages vont être en mesure de provoquer une « Abrasion profonde (M7) ».

Les « Dépôts de matériel (M9 et M10) » plus ou moins importants concernent aussi bien les conséquences de ces pressions que la sédimentation des fèces ou des pseudo-fèces, des coquilles des organismes, des thalles d'algues ou encore des excédents alimentaires de la pisciculture.

Enfin, la pression favorable relative à la « Modification de la charge en particules (M12) » est une conséquence de la capacité de filtration des organismes filtreurs élevés.

Les « Changements d'habitats (pour un autre type de fond marin) (M2) » vont intervenir si les pressions physiques concomitantes à une activité de cultures marines modifient de manière permanente le substrat ou l'étagement. Ainsi, les types d'aquaculture marine situés sur des habitats généralement peu exposés et/ou présentant un ensemble de pression influençant de manière significative le substrat (e.g. tassement et abrasion pour la conchyliculture au sol ; modifications de la charge en particules et des conditions hydrodynamiques pour l'ostréiculture intertidale sur table ; etc.) vont présenter une amplitude plus forte pour cette pression.

¹⁰⁷ La modification de substrat suite à l'installation des corps morts intervenant sur une surface très restreinte, il a été décidé de représenter ce changement par la pression « abrasion profonde » et non par « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) » qui est une pression permanente.

Tableau 18 : pressions physiques potentielles en fonction du type d'aquaculture considéré (suite). **Cases gris clair** : pressions négatives de faibles amplitudes ; **cases gris foncé** : pressions négatives d'amplitudes modérées à fortes ; **cases gris très clair hachurées** : pressions favorables pouvant générer des effets positifs.

Activité/pratique commune	Phase	Perte physique (due à une modification permanente du substrat ou de la morphologie des fonds marins ou à l'extraction de substrat)		Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins								Modification des conditions hydrologiques		
		Perte d'un habitat (M1)	Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2)	Extraction de substrat (M3)	Tassement (M4)	Abrasion superficielle (M5)	Abrasion peu profonde (M6)	Abrasion profonde (M7)	Remaniement (M8)	Dépôt faible de matériel (M9)	Dépôt important de matériel (M10)	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)	Modification de la charge en particules (M12)	
Aquaculture - marine, y compris les infrastructures	Installation / Enlèvement													
Algoculture en bassins	Fonctionnement	–		–	–	–	–	–	–		–	–		
Algoculture sur filières	Fonctionnement	–		–	–	–	–				–			
Aquaculture en bassins (in)submersibles	Fonctionnement	–		–	–	–	–	–	–		–	–		
Conchyliculture au sol	Fonctionnement	–		–							–			
Conchyliculture en lagunes méditerranéennes	Fonctionnement	–		–	–									
Conchyliculture sur filières	Fonctionnement	–		–	–	–	–							
Mytiliculture intertidale sur bouchots	Fonctionnement	–		–							–			
Ostréiculture intertidale surélevée	Fonctionnement	–		–										
Pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)	Fonctionnement	–		–	–	–	–	–	–			–		
Pisciculture en cages en mer ou en lagunes côtières	Fonctionnement	–		–	–	–	–		–					

D.2. PRESSIONS « SUBSTANCES, DECHETS ET ENERGIE »

Les tableaux 19 et 20 résument le niveau d'amplitude relatif des pressions de la catégorie « substances, déchets et énergie » potentiellement générées par chaque type d'aquaculture.

Concernant la « Diminution de la lumière naturelle (P11) », à l'exception de la conchyliculture au sol, toutes les structures d'élevages en mer et/ou les élevages peuvent potentiellement limiter la lumière incidente dans la colonne d'eau. Les rejets de matière dans la colonne d'eau participent aussi à cette pression. Les bivalves filtreurs ayant une capacité à clarifier l'eau, la conchyliculture présente aussi une pression favorable limitant la turbidité.

En fonction des modalités d'exploitation (durée des travaux d'exploitation en mer, période de l'année, exigence des acheteurs, etc.), les « Introductions de lumières artificielles (P10) » peuvent potentiellement concerner toutes les formes d'aquaculture, avec une pression potentielle d'amplitude plus forte pour les activités devant travailler à marée basse quelle que soit la période de la journée. Par exemple, la période des fêtes de Noël pour l'ostréculture est particulièrement concernée.

La « Modification de la température (P5) » ne concerne que les types d'aquaculture rejetant potentiellement des effluents en mer.

Les « Contaminations par des éléments traces métallique (ETM) », métalloïdes et organo-métaux (C1) vont concerner les formes d'aquaculture nécessitant des navires, des cages (anti-fouling) et des tables (oxydation des fers à béton) ainsi que l'aquaculture utilisant des intrants alimentaires.

Les « Contaminations par hydrocarbures et HAP (C2) » et l'« Introduction de substance à caractère visqueux (C5) » vont concerner les formes d'aquaculture nécessitant des navires, des tracteurs et toutes autres machines (pompe, tambour de tamisage, etc.) fonctionnant aux énergies fossiles et / ou présentant des mécanismes nécessitant des graisses et des huiles. Compte tenu du caractère exclusivement terrestre d'une partie des élevages, en fonction de la proximité / échanges avec la mer et des modalités d'exploitation (usage ou non de véhicules, de pompes, etc.), les pressions potentielles peuvent largement varier. Elles sont donc indiquées négligeable (ou nul) et faible.

Les « Contaminations par des composés synthétiques (C3) » vont être relatives à toutes les formes d'aquaculture faisant appel à des produits désinfectants ou vétérinaires. La pression potentielle est plus élevée quand l'élevage est en contact avec le milieu ou si les effluents ne sont pas traités.

Par rapport aux « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », tous les types d'aquaculture nécessitant des engins de transports et des machines (pompe, tambour de tamisage, etc.) sont concernés ainsi que l'installation des structures d'élevage. Les élevages / cultures à terre ont une amplitude moins forte que ceux devant nécessairement faire appel à des tracteurs ou des navires pour une exploitation en mer ou sur l'estran. Dans le cas de l'usage de dispositifs acoustiques de dissuasion (tirs, alarmes, etc.), la pression potentielle doit être considérée comme modérée à forte.

Les « Modifications des apports en nutriments (C6) et en matériel organique (C7) » concernent tous les types d'aquaculture marine en contact avec le milieu marin que ce soit directement ou indirectement (émissaires des bassins à terre). Par rapport, à l'installation des infrastructures, le « Remaniement (M8) » des sédiments va remettre en suspension les nutriments et la matière organique séquestrés. En fonction des écosystèmes et de l'aquaculture considérés, les pressions potentielles peuvent être de nature très variable. Par exemple, les algues vont consommer les nutriments ; les intrants alimentaires peuvent

potentiellement eutrophiser le milieu mais fournissent aussi une source alimentaire à certains organismes ; les structures d'élevages en fournissant des supports de fixation aux organismes sessiles modifient aussi les apports en nutriments et en matière organique les rendant attractives pour de nombreuses espèces ; etc.

Par rapport aux « Déchets solides (P4) », plus l'activité considérée nécessite de matériel susceptible d'être perdu dans le milieu, plus les pressions potentielles inhérentes sont élevées.

Enfin, la « Désoxygénation (C8) » va être influencée par la matière organique émise et sa décomposition. La capacité des bivalves filtreurs à remobiliser des nutriments pour le phytoplancton peut avoir l'effet inverse, le phytoplancton comme les algues oxygénant la colonne d'eau.

Tableau 19 : pressions « substances, déchets et énergie » potentielles en fonction du type d'aquaculture considéré (suite). Cases gris clair : pressions négatives de faibles amplitudes ; cases gris foncé : pressions négatives d'amplitudes modérées à fortes ; cases gris très clair hachurées : pressions favorables pouvant générer des effets positifs.

Activité/pratique commune	Phase	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur)				Apports de substances dangereuses (substances synthétiques, substances non synthétiques, radionucléides) – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques, phénomènes aigus						
		Champs électromagnétiques (P9)	Diminution de la lumière naturelle (P11)	Introduction de lumière artificielle (P10)	Modification de la température (P5)	Contamination par les radionucléides (C4)	Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1)	Contamination par hydrocarbures et HAP (C2)	Contamination par composés synthétiques (C3)	Introduction de substance à caractère visqueux (C5)		
Aquaculture - marine, y compris les infrastructures	Installation / Enlèvement	–			–	–			–			
Algoculture en bassins	Fonctionnement	–	–			–	–	–		–		
Algoculture sur filières	Fonctionnement	–			–	–			–			
Aquaculture en bassins (in)submersibles	Fonctionnement	–	–			–	–	–	–	–		
Conchyliculture au sol	Fonctionnement	–			–	–			–			
Conchyliculture en lagunes méditerranéennes	Fonctionnement	–			–	–			–			
Conchyliculture sur filières	Fonctionnement	–			–	–			–			
Mytiliculture intertidale sur bouchots	Fonctionnement	–			–	–			–			
Ostréiculture intertidale surélevée	Fonctionnement	–			–	–			–			
Pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)	Fonctionnement	–	–			–		–		–		
Pisciculture en cages en mer ou en lagunes côtières	Fonctionnement	–			–	–						

Tableau 20 : pressions « substances, déchets et énergie » potentielles en fonction du type d'aquaculture considéré (suite). **Cases gris clair** : pressions négatives de faibles amplitudes ; **cases gris foncé** : pressions négatives d'amplitudes modérées à fortes ; **cases gris très clair hachurées** : pressions favorables pouvant générer des effets positifs.

Activité/pratique commune	Phase	Apports de sons anthropiques (impulsionnels, continus)		Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques		Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles		Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)		Apports de déchets (déchets solides, y compris les déchets microscopiques)			
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)		Modification des apports en nutriments (C6)		Modification des apports en matériel organiques (C7)		Modification de la salinité (P6)	Modification du pH (P7)	Déchets solides (P4)		Désoxygénation (C8)	
Aquaculture - marine, y compris les infrastructures	Installation / Enlèvement							–	–				
Algoculture en bassins	Fonctionnement								–				
Algoculture sur filières	Fonctionnement							–	–				
Aquaculture en bassins (in)submersibles	Fonctionnement								–				
Conchyliculture au sol	Fonctionnement							–	–				
Conchyliculture en lagunes méditerranéennes	Fonctionnement							–	–				
Conchyliculture sur filières	Fonctionnement							–	–				
Mytiliculture intertidale sur bouchots	Fonctionnement							–	–				
Ostréiculture intertidale surélevée	Fonctionnement							–	–				
Pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)	Fonctionnement								–				
Pisciculture en cages en mer ou en lagunes côtières	Fonctionnement							–	–				

D.3. PRESSIONS BIOLOGIQUES

Le tableau 21 donne le niveau d'amplitude relatif des pressions biologiques potentiellement générées par chaque type d'aquaculture.

Pour les points suivants, il est considéré que les effluents traités des bassins fermés ne contiennent ni d'espèces non-indigènes ni d'individus génétiquement différents des espèces indigènes, ni d'individus sélectionnés. Pour les pathogènes, il semble plus difficile d'obtenir des effluents totalement exempts de microorganismes.

Concernant le « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) », il concerne tous les formes d'aquaculture faisant appel à des individus issus de populations génétiquement modifiées (cas inexistant en France¹⁰⁸) ou génétiquement différents (zones géographiques différentes / sélection génétique).

Par rapport à l'« Introduction ou à la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » et à l'« Introduction de pathogènes (B3) », dès que des déplacements d'individus ont lieu entre zones géographiquement éloignées (e.g. naissains), il est possible que des espèces non-indigènes ou des pathogènes soient transportés (larves / spores / fragments dans les eaux, faune et flore sessiles sur les coquilles / le matériel, etc.). Compte tenu du risque encouru pour les écosystèmes dans le cas d'espèces non-indigènes devenant invasives, les pressions potentielles sont considérées comme modérées à fortes. Pour les pathogènes, les élevages en milieu clos ou semi-fermés sont plus à même de favoriser le développement de microorganismes pathogènes, pour ces types d'aquaculture marine, les pressions peuvent être considérées comme modérées à fortes, mais sont dépendantes des caractéristiques de filtration et de désinfection de l'eau recirculée en système clos.

Au sujet de l'« Appauvrissement génétique des populations naturelles (B7) », les types d'aquaculture élevant, pour tout ou partie, des individus non issus de captage ou de capture dans le milieu naturel (e.g. alevinage) sont susceptibles d'être à l'origine de cette pression en cas d'échappement puis de croisement.

Concernant le « Prélèvement d'espèces cibles (B5) », il concerne les formes d'aquaculture devant faire face à de la déprédation réalisée par des espèces pouvant être légalement détruites avec ou sans dérogation.

Le « Prélèvement d'espèces non-cibles (B6) » ne concerne que la conchyliculture au sol lorsqu'il y a usage de dragues ou de herses.

Par rapport aux risques de « Mort / blessures par collision / interaction (P2) », elles concernent les captures faites dans les filets de protection qu'ils soient aériens ou immergés et aux activités nécessitant des embarcations pour leur fonctionnement.

Les « Obstacles au mouvement (P1) » ne concernent que les activités présentant des structures d'élevages ayant une grande emprise spatiale sur un site donné. L'entrave au mouvement est dépendante de la structuration verticale et horizontale des infrastructures d'élevage ainsi que de la bathymétrie et des variations tidales. Néanmoins, comme indiqué dans le descriptif des pressions, l'aquaculture marine n'est qu'en de très rares cas à l'origine d'obstacles infranchissables pour les espèces marines.

Par rapport au « Dérangement visuel des espèces (P3) », toutes les activités hormis celles s'effectuant dans des bassins sont concernées. Les cultures marines s'effectuant sur l'éstran présentent des pressions potentielles modérées à fortes, du fait qu'elles partagent un milieu

¹⁰⁸ Les huîtres triploïdes ne sont pas des OGM puisque leur patrimoine génétique n'est pas affecté par le croisement entre les souches diploïdes et tétraploïdes qui génèrent les triploïdes.

spatialement restreint dans le temps et l'espace avec des espèces inféodées à ces milieux pour tout ou partie de leur cycle de vie (reproduction, alimentation, etc.).

Tableau 21 : pressions biologiques potentielles en fonction du type d'aquaculture considéré (suite). **Cases gris clair** : pressions négatives de faibles amplitudes ; **cases gris foncé** : pressions négatives d'amplitudes modérées à fortes ; **cases gris très clair hachurées** : pressions favorables pouvant générer des effets positifs.

Activité/pratique commune	Phase	Introduction d'espèces génétiquement modifiées et transfert ou translocation d'espèces indigènes	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Disparition ou altération des communautés biologiques naturelles due à l'élevage d'espèces animales ou à la culture d'espèces végétales	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées (par la pêche commerciale et récréative et d'autres activités)			Perturbation des espèces (aires de reproduction, de repos et d'alimentation, par exemple) due à la présence humaine	
		Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7)	Prélèvement d'espèces cibles (B5)	Prélèvement d'espèces non-cibles (B6)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Obstacle au mouvement (P1)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Aquaculture - marine, y compris les infrastructures	<i>Installation / Enlèvement</i>	–	–	–	–	–	–		–	
Algoculture en bassins	<i>Fonctionnement</i>					–	–	–	–	
Algoculture sur filières	<i>Fonctionnement</i>					–	–			
Aquaculture en bassins (in)submersibles	<i>Fonctionnement</i>					–	–		–	
Conchyliculture au sol	<i>Fonctionnement</i>					–			–	
Conchyliculture en lagunes méditerranéennes	<i>Fonctionnement</i>					–	–			
Conchyliculture sur filières	<i>Fonctionnement</i>						–			
Mytiliculture intertidale sur bouchots	<i>Fonctionnement</i>						–			
Ostréiculture intertidale surélevée	<i>Fonctionnement</i>						–			
Pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)	<i>Fonctionnement</i>					–	–		–	
Pisciculture en cages en mer ou en lagunes côtières	<i>Fonctionnement</i>					–	–		–	

III. FICHES ACTIVITES

III.A.METHODOLOGIE POUR LES MATRICES DE RISQUES D'IMPACT (=VULNERABILITE) ET DE RISQUE D'INTERACTION EN FONCTION DU TYPE D'AQUACULTURE

A.1. HABITATS NATURA 2000

1.a. Evaluation du risque d'impact (= vulnérabilité ou vulnérabilité potentielle)

Pour chaque type d'aquaculture, afin d'évaluer les risques d'impact (= *vulnérabilité* ou *vulnérabilité potentielle*, cf. II.A.3.j) pour les habitats soumis aux pressions potentiellement générées, il a été nécessaire de croiser les tableaux 19, 20 et 21, établis pour définir l'amplitude des pressions, avec la *sensibilité* (ou *sensibilité potentielle*, cf. II.A.3.h) des habitats Natura 2000.

Ce croisement se base sur les travaux relatifs à l'analyse risque pêche (AFB *et al.* 2019 – en cours de publication). Le tableau 22 indique les valeurs du risque d'impact en fonction de la sensibilité et de l'amplitude de la pression engendrée par l'activité.

Compte tenu du fait qu'une même pression potentiellement négative, pour un type d'aquaculture donné, puisse avoir une amplitude plus ou moins élevée en fonction du contexte local, des adaptations ont été nécessaires. En effet, les valeurs d'amplitude recensées dans les tableaux 19, 20 et 21 se limitent à trois valeurs « nulle », « faible » et « modérée à forte » pour les effets négatifs, alors que la méthode d'analyse de risque « pêche » (AFB *et al.* 2019) distinguait « modérée » et « forte » (tableau 22). Ainsi, pour les fiches activités et la production d'une évaluation de risques nationale, l'échelle semi-quantitative de la méthodologie d'analyse de risques a été adaptée en supprimant la colonne « amplitude forte » et en ne retenant qu'une colonne « modérée à forte » (tableau 22). Le cas échéant, l'analyse locale pourra réévaluer à la hausse ou la baisse ce niveau de risque. Par ailleurs, les effets potentiellement positifs de certains types d'aquaculture ne sont pas pris en compte dans le tableau de synthèse de l'évaluation du risque d'impact de chaque activité (cf. tableaux 19, 20 et 21), les conséquences des effets antagonistes ne pouvant être évaluées sans d'incertaines approximations. Ainsi, il convient pour l'évaluation locale de se reporter également aux tableaux des sections précédentes pour bien identifier les potentiels effets bénéfiques et les prendre en considération dans l'analyse.

De plus, les valeurs de sensibilité notée comme « variable » ont pris cette même dénomination pour le risque d'impact. Aussi, les catégories de pressions « Apports de substances dangereuses » et « Apports de déchets (déchets solides, y compris les déchets microscopiques) » qui peuvent s'exercer sur les habitats n'ont pu être évaluées précisément dans le cadre de ce document compte tenu de la complexité des pressions en jeu (nombre d'espèces animales et végétales exposés, nombre de matériaux / molécules possibles) et ne sont donc pas traitées.

En ce qui concerne les pressions « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2) » et « Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2) », la vulnérabilité et la vulnérabilité potentielle des habitats sont systématiquement considérées comme fortes. Ces pressions ne sont donc pas renseignées dans les tableaux de synthèse.

Dans l'application, lorsque le risque d'impact est faible (ou nul), celui-ci n'est pas significatif et la pression (ou la catégorie de pressions) n'est pas susceptible de porter atteinte aux objectifs de conservation du site Natura 2000. Lorsque le risque est modéré ou fort, il est

susceptible d'engendrer des effets significatifs sur l'état de conservation des habitats ou des espèces.

Tableau 22 : échelle semi-quantitative de qualification du risque d'impact d'un habitat par une activité d'aquaculture marine définie par la combinaison des scores de sensibilité de l'habitat à la pression considérée et de l'amplitude de cette pression engendrée par l'activité étudiée (adapté de AFB *et al.* 2019). Au regard de la connaissance disponible, il n'est pas possible d'évaluer au niveau national une différence entre une amplitude modérée et une amplitude forte (très dépendante des pratiques d'élevages), la colonne amplitude forte n'a donc pas été conservée et est donnée à titre indicative.

		Amplitude de la pression engendrée par l'activité			
		Fort	Modérée à forte	Faible	Nulle
Sensibilité	Très haute	Fort	Fort	Modéré	Nul
	Haute	Fort	Fort	Modéré	Nul
	Modérée	Fort	Modéré	Faible	Nul
	Faible	Modéré	Faible	Faible	Nul
	Très faible	Modéré	Faible	Faible	Nul

A.2. ESPECES NATURA 2000

2.a. Evaluation du risque d'interaction

Compte tenu de l'absence d'évaluation de la sensibilité des espèces Natura 2000 aux différentes pressions, la méthode retenue consiste à : (a) prendre en considération si l'espèce est exposée ou non aux pressions engendrées par ce type d'aquaculture (cf. II.B) puis (b) en fonction des éléments développés dans la revue bibliographique (cf. II.C) de qualifier le *risque d'interaction* selon les définitions suivantes : **RIN, risque d'interaction non prouvé** ; **RIP, risque d'interaction potentiel**, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; **RIE, risque d'interaction élevé**, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

2.b. Eléments généraux relatifs à certaines pressions

Concernant les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) » (cf. II.C.4.a), le « Dérangement visuel d'espèces (P3) » (cf. II.C.4, II.C.5 et II.C.10.c), l'« Introduction de lumière artificielle (P10) » (cf. II.C.4.b) ainsi que les « Obstacles au mouvement (P1) », seules les espèces présentes dans les zones d'activité de cultures marines sont susceptibles d'être affectées.

Par rapport aux « Apports de substances dangereuses (C1, C2 C3 et C5) » (cf. II.C.6), ces pressions étant diffuses et concernant un vaste panel de molécules, toutes les espèces avec tout ou une partie de leur cycle de vie en mer sont susceptibles d'y être exposées avec des conséquences difficilement évaluables. Celles-ci sont effectivement dépendantes de la physiologie des espèces, des molécules considérées, de leurs concentrations et du temps d'exposition.

Vis-à-vis des « Déchets solides (P4) » (cf. II.C.2.b), compte tenu des capacités de dispersion de certains déchets flottants (e.g. plastique), toutes les espèces avec tout ou une partie de leur cycle de vie en mer sont susceptibles d'y être exposées.

Le « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et l'« Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) » (cf. II.C.8) ne concernent que les espèces Natura 2000 élevées, soit uniquement le saumon.

Pour l'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) », compte tenu des risques relatifs aux invasions biologiques (e.g. modifications des réseaux trophiques et des habitats, cf. II.C.9), toutes les espèces marines peuvent être potentiellement affectées.

Concernant l'« Introduction de pathogènes (B3) », la diversité et les cycles de vie parfois particulièrement complexes de certains agents pathogènes (e.g. parasites, cf. II.C.7) ne peuvent permettre de statuer sur leur innocuité complète vis-à-vis des espèces Natura 2000. Toutes les espèces marines peuvent donc être potentiellement affectées.

Le « Prélèvement d'espèces cibles (B5) » ne concerne que les activités de cultures marines qui font face à de la déprédation (bigorneaux perceurs, goélands argentés, dorades, etc.) (cf. II.C.5).

La « Mort ou blessure par collision / interaction » va concerner à la fois les activités nécessitant des navires pour l'exploitation, celles présentant des structures dans lesquels les individus peuvent potentiellement s'enchevêtrer (filets de protection et cordages) que ce soit ou non des moyens passifs de lutte contre la déprédation (cf. II.C.2.e).

Le « Prélèvement d'espèces non-cibles (B6) » ne concerne que la conchyliculture au sol qui lors de la récolte peut être amenée à prélever des espèces non recherchées.



III.B. PISCICULTURE EN CAGES EN MER OU EN LAGUNES COTIERES

B.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

La pisciculture marine demeure peu développée en France métropolitaine en comparaison d'autres pays européens avec seulement 35 entreprises (FranceAgriMer 2018). En 2015, la production était de 5100 tonnes toutes espèces confondues pour une valeur de 41,4 millions euros (pisciculture marine en cages et en bassins). Les élevages de bars et de dorades (alevinage et nurserie compris) représentent 73 % du volume et 70 % de la valeur (STECF 2018). Plusieurs produits de ces élevages peuvent faire l'objet de label rouge (cf. II.E. du tome 1) comme le saumon ou la daurade dont les cahiers des charges peuvent comporter des exigences réduisant les pressions exercées sur les écosystèmes marins (e.g. : densité d'élevage ne devant dépasser des valeurs seuils ; absence de traitement antibiotique six mois avant l'abattage / strictement interdit en cage en mer¹⁰⁹ ; qualité des aliments ; etc.).

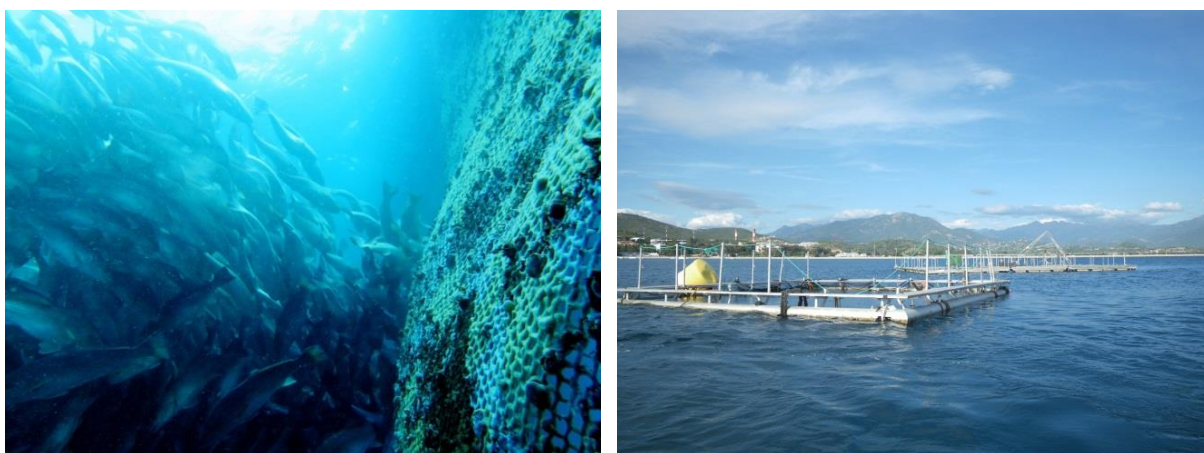


Figure 33 : (a) élevage d'ombrines ocellées (*Sciaenops ocellatus*¹¹⁰) Commune de Longoni. Parc naturel marin de Mayotte (photo : P. Giannasi / Office français de la biodiversité). (b) Ferme aquacole. Site Natura 2000 Golfe d'Ajaccio (photo : A. Chery / Office français de la biodiversité).

La figure 34 montre la répartition des exploitations le long des côtes métropolitaines, il est constaté que ces entreprises sont principalement basées sur la côte méditerranéenne et sur les côtes nord et extrême ouest de la Bretagne. Seuls les départements de l'Hérault¹¹¹, des Alpes-Maritimes¹¹², des Bouches-du-Rhône¹¹³ et du Var¹¹⁴ possèdent des schémas des structures des exploitations de cultures marines (SSECM) (cf. II.A.2. du tome 1) relatif partiellement ou totalement à la pisciculture marine.

Que les cages soient situées dans des eaux côtières abritées ou en zones plus exposées, la houle et les différentes intempéries nécessitent des infrastructures robustes sous lesquelles la profondeur de la colonne d'eau permet un amarrage au sol. En métropole, les espèces élevées, le plus souvent en intensif, sont des poissons pélagiques et épipélagiques, saumon,

¹⁰⁹ <https://www.inao.gouv.fr/produit/13304>

¹¹⁰ (Linnaeus, 1766).

¹¹¹ Arrêté n°DDTM34-2014-06-04069 du 19 juin 2014 portant schéma des structures des autorisations d'exploitation de cultures marines situées dans le département de l'Hérault.

¹¹² Arrêté n°2016-605 du 2 août 2016 portant schéma des structures des exploitations de cultures marines du département des Alpes-Maritimes.

¹¹³ Projet d'arrêté portant schéma des structures des exploitations de cultures marines du département des Bouches-du-Rhône.

¹¹⁴ Arrêté du 12 février 2016 portant schéma des structures des exploitations de cultures marines du département du Var.

bar, dorade et maigre. Les sites d'implantation requièrent des conditions hydrodynamiques suffisantes pour le renouvellement de la masse d'eau.

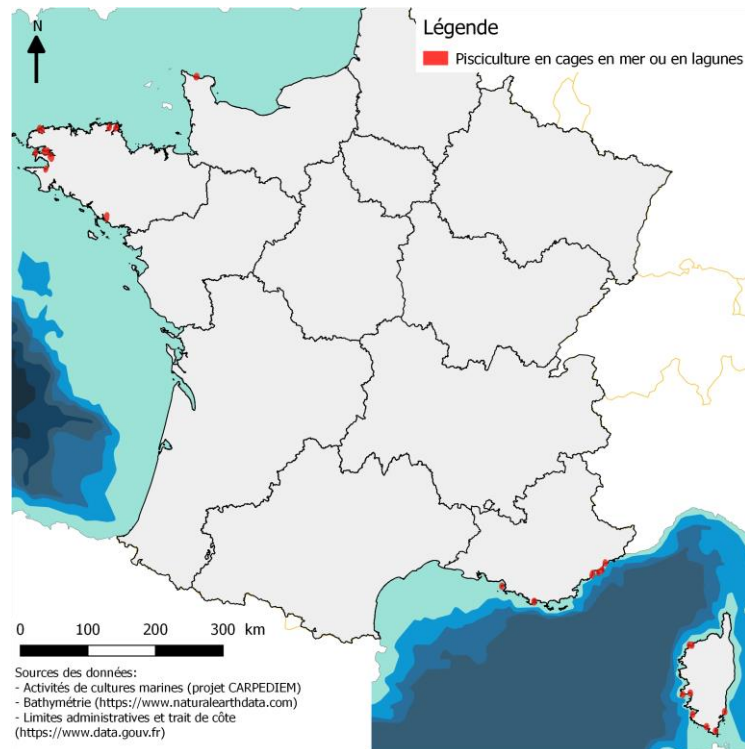


Figure 34 : répartition des élevages piscicoles en cage en mer ou en lagune côtière en France métropolitaine (données issues du projet CARPE DIEM³⁰). Cette carte est donnée à titre indicatif et n'est pas exhaustive concernant l'ensemble des concessions de cultures marines à l'échelle nationale.

Les caractéristiques majeures de la pisciculture en cage à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Système totalement ouvert sur le milieu marin et uniquement séparé du milieu extérieur par des enclos métalliques ou des filets formant la partie immergée des cages. Contrôle des rejets possible uniquement en amont par une maîtrise des intrants (aliments, traitements vétérinaires, nettoyage des infrastructures, etc.) ;
- Exploitation nécessitant un trafic maritime régulier ;
- Système d'élevage intensif aux densités d'élevage élevées nécessitant des intrants, apports et additifs alimentaires, traitements vétérinaires, etc.
- Elevages consommateurs d'espace vertical dans la colonne d'eau, avec influence possible sur l'hydrodynamisme local et sur le substrat sous-jacent (enrichissement en matière organique, ancrage, etc.).

B.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

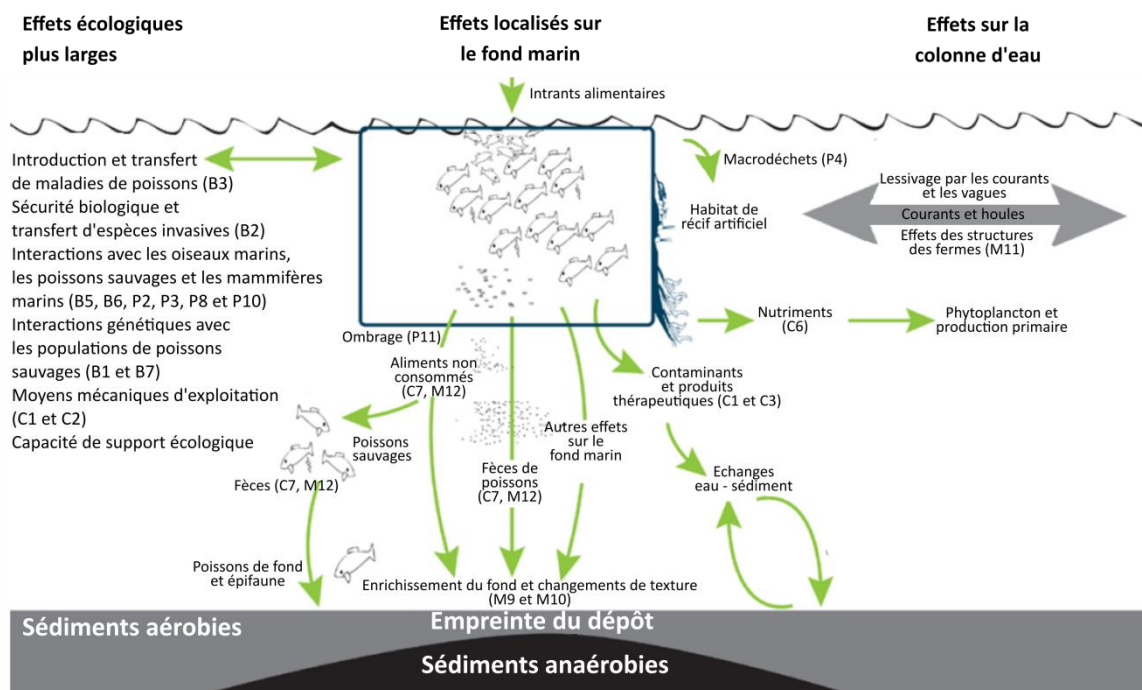


Figure 35 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de la pisciculture en cage (traduit et modifié de Ministry for Primary Industries of New Zealand (2013) basé sur Forrest *et al.* (2007)).

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Compte tenu des caractéristiques de ces élevages (intrants, fortes densités, haut niveau trophique des espèces élevées), les pressions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments donnés sont un aspect prépondérant de ce type d'élevage (cf. II.C.1). Elles ont trait aux modifications « De la charge en particules (M12) », « Des apports en nutriments (C6) » et « Des apports en matériel organique (C7) »¹¹⁵. Le tableau 23 issue du travail de revue bibliographique de Price *et al.* (2015) résume les impacts environnementaux des fermes marines piscicoles en cages sur la qualité de la colonne d'eau à différentes échelles.

Il s'ensuit un « Dépôt de matériel faible à important sur le fond (M9 et M10) »¹¹⁶. Cette augmentation de la matière organique dans les sédiments peut engendrer une « Désoxygénation (C8) » du substrat suite à la consommation d'oxygène par les bactéries et la faune benthique qui la dégradent. Ce processus conduit à une modification des conditions physico-chimiques et des communautés (figure 6, tableau 11) susceptible d'amener à un « Changement d'habitat (M2) ».

Ces pressions sont à évaluer localement en fonction des caractéristiques de l'élevage (pratiques d'exploitation : densité d'élevage, espèce, qualité des aliments ; l'hydrodynamisme ; la profondeur ; etc.). Ces pressions potentiellement fortes peuvent entrer en interaction avec tous les habitats benthiques non intertidaux au-dessus desquels les

¹¹⁵ Modification des apports en nutriments (C6) ; Modification des apports en matériel organiques (C7) ; Modification de la charge en particules (M12).

¹¹⁶ Dépôt faible de matériel (M9) ; Dépôt important de matériel (M10).

cages sont installées (1110, 1120, 1130, 1160 et 1170)¹¹⁷. Les habitats oligotrophes et/ou présentant un hydrodynamisme modérée y sont plus sensibles. Sauf dans le cas de pressions diffuses de fortes intensités, par les zones d'implantation connues ou potentielles de ces élevages, les replats boueux ou sableux exondés à marée basse (1140) et les lagunes en mer à marées (1150-1) sont exclus de toute interaction avec la pisciculture en cage. Une attention particulière doit être portée aux habitats sensibles au « Dépôt de matériel (M9 et 10) », à savoir les herbiers de *Zostera marina* (1110-1) et de posidonies (1120), la roche infralittorale à algues photophiles (1170-13), le coralligène (1170-14) la roche médiolittorale inférieure à association à *L. byssoïdes* et les bancs de maërl (1110-3, 1160-2 et 1110-7) (tableau 13), ces trois derniers y étant particulièrement sensibles. Il faut aussi noter que les apports par les rejets de nutriments (aliments, urée et fèces) peuvent avoir un effet positif sur le réseau trophique (cf. II.C.2.c), c'est « l'effet éponge » décrit par Díaz-López *et al.* (2005).

Tableau 23 : résumé des impacts environnementaux des fermes marines piscicoles sur les paramètres de la qualité de l'eau à différentes échelles (traduit de Price *et al.* (2015)).

Impact environnemental	Détection au niveau des fermes	Détection en dehors des fermes	Détection d'impacts cumulés de différentes fermes	Facteurs influant pour la gestion des fermes
Accroissement des taux d'azote et de phosphore dissous	Absente à modérée. Souvent confinée à moins de 100 mètres des fermes	Absente à faible	Absente à très faible. Difficile à attribuer aux fermes	Type d'aliments Espèces élevées Gestion des aliments Profondeur Hydrologie
Baisse du taux d'oxygène dissous	Absente à faible. Confinée dans la zone immédiate des fermes	Absente à très faible	Absente	Biomasse Température Densité des stocks Courant
Accroissement de la turbidité	Absente à faible. Confinée dans la zone immédiate des fermes	Absente à très faible	Absente	Type d'aliments Composition des aliments Courant
Accroissement de la production primaire	Absente à significative. Très variable	Absente à significative. Difficile à attribuer aux fermes	Largement méconnue. Difficile à attribuer aux fermes	Statut trophique de la masse d'eau Niveau d'enrichissement en nutriment Champ de dispersion Assimilation par la chaîne alimentaire

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

Les pressions associées aux infrastructures des élevages piscicoles en mer sont variables en fonction de la phase de vie de la concession (installations, exploitation, démantèlement), de la taille des fermes et de la densité des cages.

A terre, elles concernent les voies d'accès, les cales de mise à l'eau et les bâtiments. Les pressions sont limitées à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1140-7, 1140-8, 1170-1, 1170-10 et 1170-11) et intertidaux (1140). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion

¹¹⁷ 1110 - Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine ; 1120 - Herbiers à Posidonies (*Posidonia oceanicae*)* ; 1130 - Estuaires ; 1160 - Grandes criques et baies peu profondes ; 1170 – Récifs.

superficielle à profonde (M5, 6 et 7) », « Dépôt faible à important (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.).

En mer, les infrastructures peuvent entraîner des pressions négatives pour les organismes photosynthétiques fixés sur le substrat présent sous les cages par une baisse de la luminosité (e.g. Ruiz & Romero (2001)) « Diminution de la lumière naturelle (P11) » et, en fonction du site d'implantation, réduire l'espace d'alimentation disponible pour les oiseaux « Marins de surface », les « Plongeurs pélagiques » et les « Plongeurs benthiques ». Néanmoins, compte tenu du développement restreint de l'activité en France, l'amplitude de ces pressions demeurent très minimales.

Par ailleurs, les cages sont aussi en mesure de générer des effets bénéfiques puisqu'elles peuvent constituer des abris et des récifs artificiels fournissant un support de fixation, une protection et/ou une source de nourriture pour la faune et la flore (cf. II.C.2.c) (pour une revue Callier *et al.* (2018)). Cet aspect positif peut aussi avoir des effets antagonistes lors du nettoyage des structures qui peut alors « libérer » des individus qui vont se disperser et coloniser d'autres milieux comme c'est le cas pour les cultures d'algues en Chine (Keesing *et al.* 2011; Jin *et al.* 2018).

Les navires d'exploitation sont susceptibles de participer à la pression « Mort ou blessure par collision / interaction (P2) » mais cela demeure anecdotique.

Les macrodéchets (plastiques, morceaux de filet, etc.) peuvent potentiellement affecter la tortue caouanne (1224) et les oiseaux « Plongeurs pélagiques » par ingestion (« Déchets solides (P4) ») (e.g. Derraik 2002; Codina-García *et al.* 2013; Tanaka *et al.* 2013). Les autres espèces présentent un risque d'interaction potentiel avec les produits de la dégradation des plastiques (cf. II.C.2.b).

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) »¹¹⁸ et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». Les phoques (1364 et 1365) sont particulièrement sensibles au dérangement visuel sur leurs zones de repos et de reproduction (cf. II.C.4). Cependant, compte tenu de l'implantation des élevages en cage sur des habitats non exondés, seule une forte proximité (< 100 m) (cf. II.B) entre zones intertidales de repos et les exploitations en mer peut amener à une réelle exposition. Les « Oiseaux marins de surface » et les « Oiseaux plongeurs benthiques » peuvent être exposés aux trois pressions relatives au dérangement (P3, 8 et 10), ainsi que les « Oiseaux plongeurs pélagiques » dans le cas de cages présentes en haute mer.

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

Ces élevages étant vulnérables aux prédateurs aquatiques et aviens (cf. II.C.5), le contrôle peut générer des déplacements voire des mortalités d'individus. Néanmoins, cela ne constitue pas une problématique majeure compte tenu du niveau de développement limité de la pisciculture marine française et des interactions avec les grands prédateurs aquatiques (en comparaison du Canada par exemple). De ce fait, les solutions de protection vont essentiellement être constituées de filets contre la déprédation (85 % des sites d'élevages français de pisciculture marine y ont recours (MAA 2011)). Si les mailles sont de petites tailles et les filets suffisamment tendus et/ou rigides, les filets ne sont que peu

¹¹⁸ Dans le cas des activités de cultures marines ne nécessitant pas une exploitation à marée basse, cette pression peut être considérée comme nulle sauf dans certains cas précis (e.g. nécessité de fournir une production de première fraîcheur aux acheteurs en début de journée).

dommageables aux populations sauvages même si les cas d'enchevêtrements existent (e.g. Ministry for Primary Industries of New Zealand 2013; Price *et al.* 2017). Cette pression est relative à la « Mort ou blessure par collision/interaction (P2) » et peut concerner potentiellement la tortue caouanne (1224), le grand dauphin (1349), le marsouin commun (1351), les phoques (1364 et 1365) et les oiseaux des groupes « Marins de surface », « Plongeurs benthiques » et « Plongeurs pélagiques ».

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par la pisciculture marine en cages peuvent être issus de tout ce qui concerne les engins d'exploitation (e.g. gasoil, huile), le nettoyage des cages et des infrastructures, les résidus d'aliments, les antifouling des cages et les substances médicamenteuses (e.g. antibiotiques). Ils concernent quatre types de pressions : « Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) » ; « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; « Contamination par composés synthétiques (C3) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (antibiotiques, métaux lourds, désinfectants, etc.) et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique.

Il faut cependant noter que des évolutions importantes ont été menées par la profession et par les pouvoirs publics (législatif) ces dernières décennies en matière d'utilisation raisonnée de produits chimiques, d'alimentation plus adaptée (réduction des farines et huiles de poissons, aliments extrudés plutôt que pressés), d'emploi de nouvelles substances moins nocives pour l'environnement ou de la mise en œuvre de solutions alternatives moins impactantes (vaccinations, traitements par injection, etc.) (e.g. Lautraite & Le Breton 2006; Vandeputte *et al.* 2011; Medale *et al.* 2013; Le Gouvello & Simard 2017). Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par des bonnes pratiques.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

L'« Introduction de pathogènes (B3) » se faisant d'abord entre les espèces élevées et sauvages du même type, le saumon atlantique est de ce fait l'espèce Natura 2000 avec le risque d'interaction le plus élevé¹¹⁹. Néanmoins, certains pathogènes, comme des poux de mer du poisson ou les *Vibrio* spp., présentent une large gamme d'hôtes et peuvent se transmettre d'une espèce à l'autre (tableau 16). Ainsi, l'Aphanius de Corse présente un risque d'interaction potentiel, ce qui est bien moins probable pour les autres espèces Natura 2000 possiblement exposées à la pisciculture marine en cage (tortues, pinnipèdes, cétacés, loutres).

¹¹⁹ L'esturgeon (1101) n'étant pas exposé à ce type d'aquaculture du fait de son élevage en bassins à terre.

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Ces interactions sont relatives aux pressions « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) », elles ne concernent que le saumon atlantique (1106)¹¹⁹. Pour *Salmon salar*, les risques d'impact sont prouvés (cf. II.C.8.a), les échappements étant inévitables en systèmes ouverts du fait des manipulations à la récolte, de la vulnérabilité des cages aux intempéries, etc.

L'aphanius de Corse, dont la répartition est limitée à quelques étangs, lagunes et marais littoraux corses, présente également une vulnérabilité potentielle par prédation des individus échappés.

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en pisciculture marine est très limitée compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Néanmoins, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par le transport de matériel, d'individus, la perte de matériel, etc. (cf. II.C.9) (e.g. Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

Tableau 24 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à la **pisciculture marine en cages en mer ou en lagunes côtières**. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. ^{“1”} vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

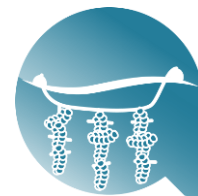
Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la pisciculture marine en cages en mer ou en lagunes côtières		Perturbations physiques des fonds marins			Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Abrasion profonde (M7) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P1) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine									
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée ¹	Modérée ¹	Modérée ¹	NS ¹
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Modérée
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Modérée	Fort	Modérée	Fort	Fort	AP ¹	NS ¹	Fort ¹	Fort ¹
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Modérée	Variable	Modérée	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Modérée	Faible	Modérée	Fort	Fort	AP ¹	NS ¹	Fort ¹	Fort ¹
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*									
1120-1	Herbiers à Posidonies*	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Variable	Modérée	Variable	Variable	Variable
1130	Estuaires									
1130-1	Slikke en mer à marées	Variable	Variable	Variable	Faible	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la pisciculture marine en cages en mer ou en lagunes côtières (suite)		Perturbations physiques des fonds marins			Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Abrasion profonde (M7) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse									
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	NC	Modérée	Modérée	NC	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	NC
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	NC	Faible	NC	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	NC	Faible	Modérée	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	NC	Modérée	Modérée	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	NC	Modérée	Faible	NC	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	NC
1150	Lagunes côtières*									
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	NS ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Fort	Fort	Fort
1160	Grandes criques et baies peu profondes									
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Modérée	Fort	Modérée	Fort	Modérée	AP ¹	NS ¹	Fort ¹	Fort ¹
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée
1170	Récifs									
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	NC	Variable	Modérée	Faible	NC	NC	NC	NC	NC
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	NC	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Modérée	Variable	Variable	Faible	Faible	AP ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Variable

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la pisciculture marine en cages en mer ou en lagunes côtières (suite)		Perturbations physiques des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques			Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Abrasion profonde (M7) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	Fort	NC	NC	NC	NC	NC
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	Fort					
	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	Fort					
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée). Association à <i>L. byssoides</i>	Variable	Fort	Modérée	Fort	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Variable	Modérée	Fort	Fort	Variable	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	NC	Variable	Variable	Variable	Faible
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Modérée	Variable	Modérée	Modérée	Variable	Modérée	Fort	Fort	Faible

Tableau 25 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la **pisciculture marine en cages en mer ou en lagunes côtières**. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la pisciculture marine en cages en mer ou en lagunes côtières		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Apports de déchets	Introduction d'espèces génétiquement modifiées et transfert ou translocation d'espèces indigènes	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Disparition ou altération des communautés biologiques naturelles due à l'élevage d'espèces animales ou à la culture d'espèces végétales	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/ blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées	Perturbation des espèces
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	(C1, C2, C3 et C5)	Déchets solides (P4)	Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)											
Code N2000	Intitulé de l'espèce										
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIE	RIN	RIE	RIE	NC	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIP	NC	NC	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	RIE	RIE	RIP	RIE	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIP
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIP
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIE
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	NC	NC	RIP	RIP	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIE
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIE
Espèces d'intérêt communautaire (DO)											
Groupes d'oiseaux											
Oiseaux herbivores		NC	NC	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
Échassiers		NC	NC	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		RIE	RIE	RIP	RIE	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIE



III.C. CONCHYLICULTURE SUR FILIERES

C.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

Avant toute chose, il faut distinguer une forme spécifique de conchyliculture sur filière propre aux lagunes méditerranéennes qui fait l'objet d'une fiche spécifique.

En France, par l'usage traditionnel des tables et des bouchots, la conchyliculture sur filière représente une part limitée de la production totale alors que c'est la pratique la plus commune à travers le monde (Mille 2012). Elle concerne principalement l'élevage de moules (figure 38) mais les élevages d'huîtres, voire d'autres bivalves, tendent à se développer (e.g. Gervasoni *et al.* 2009; Mille & Blachier 2009; Louis 2010; Mille 2012).



Figure 36 : (a) filière mytilicole en mer. Parc naturel marin du golfe du Lion (photo : M. Foulquié). (b) champs de filières mytilicoles dans le Pertuis breton. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité).

Les élevages sur filière sont constitués de cordages immergés en mer entre des flotteurs et arrimés sur les fonds marins par des corps morts. Les structures d'élevage sont fixées sur ces cordages principaux. Les filières peuvent être en fonction des conditions des zones de production de surface, sub-flottante ou de sub-surface (Bompais *et al.* 1991) (figure 37). La profondeur des sites de production varie entre 7 et 35 mètres de fond. Les structures d'élevage peuvent prendre des formes variées : boudins de moules, cordages portant des contenants variés (« pearl nets », lanternes japonaises, paniers australiens, poches à huîtres, etc.), cages métalliques posées directement sur le fond ou encore des cordages portant directement des huîtres collées (Mille 2012, 2017).

Les principales caractéristiques de ce type d'élevage aquacole, à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Elevage d'organismes filtreurs, ne nécessitant aucun intrant ;
- Elevage totalement ouvert sur le milieu marin ;
- Exploitation nécessitant un trafic maritime assez régulier ;
- Elevages consommateurs d'espace dans la colonne d'eau avec influence possible sur l'hydrodynamisme local et sur le substrat sous-jacent (enrichissement en matière organique, ancrage, etc.).

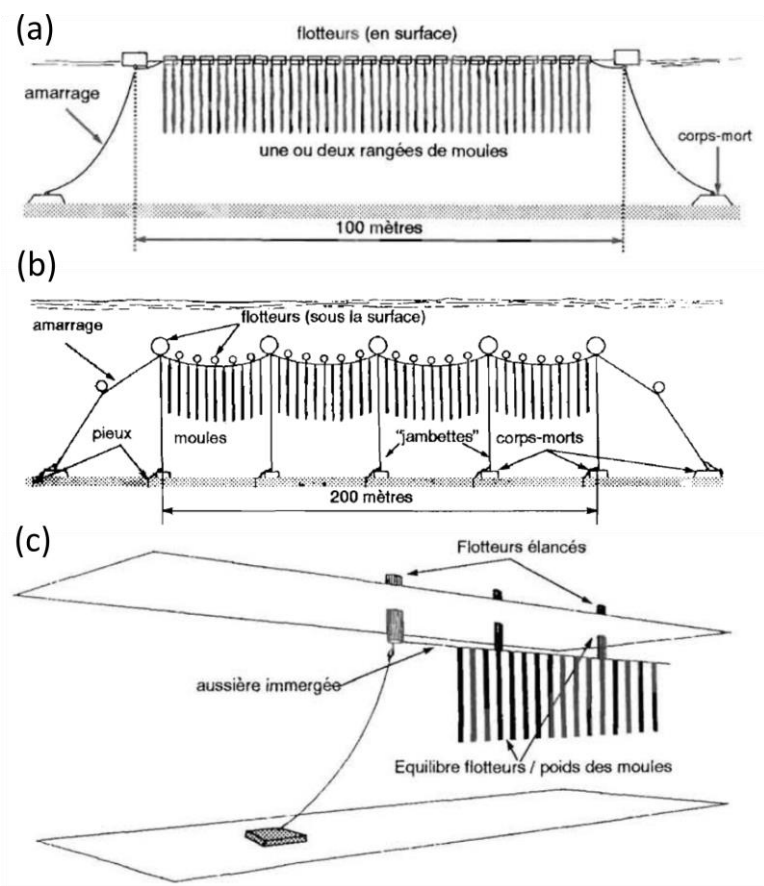


Figure 37 : (a) filières flottantes ; (b) filières de sub-surface ; (c) filières sub-flottantes (Bompais *et al.* 1991).

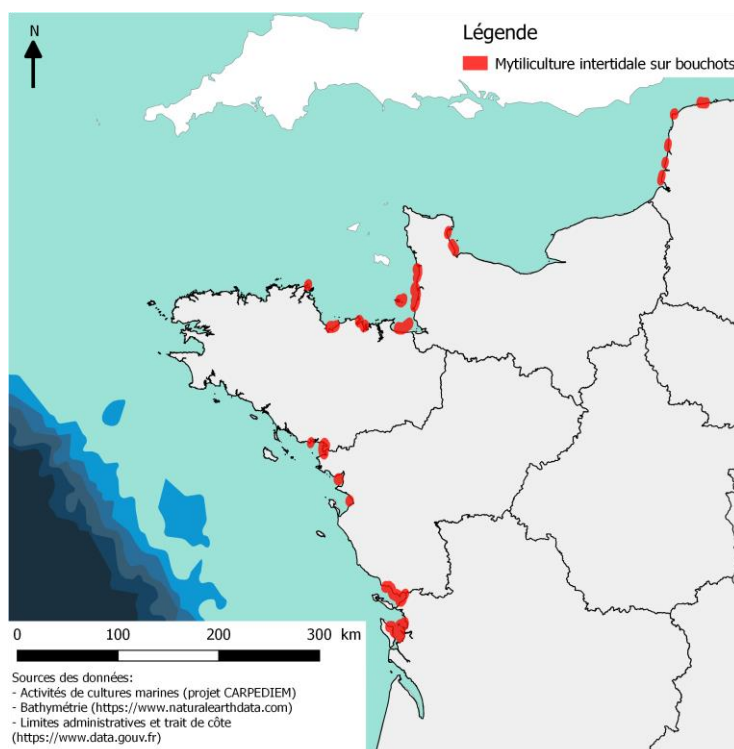


Figure 38 : répartition des élevages mytilicoles sur filières en France métropolitaine (données issues du projet CARPE DIEM³⁰). Cette carte est donnée à titre indicatif et n'est pas exhaustive concernant l'ensemble des concessions de cultures marines à l'échelle nationale.

C.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

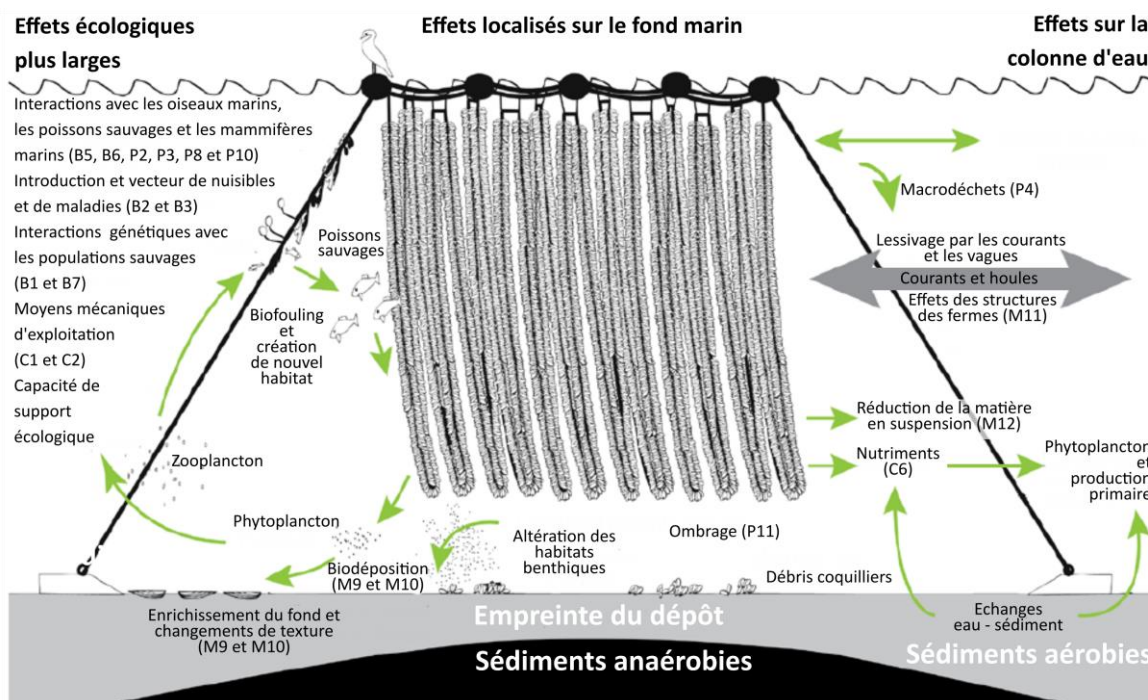


Figure 39 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de la mytiliculture sur filière (traduit de Ministry for Primary Industries (2013) basé sur Keeley *et al.* (2009)).

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Les pressions potentielles relatives à ce type d'interactions vont concerner le « Dépôt faible à important de matériel (M9 et M10) » et les modifications « De la charge en particules (M12) », « Des apports en nutriments (C6) » et « Des apports en matériel organique (C7) ». Pour les modifications des concentrations en particules, nutriments et matériel organique celles-ci peuvent augmenter à cause des rejets provenant des organismes élevés (fèces ; pseudo-fèces, urée, coquilles) mais être aussi réduites par la filtration des bivalves (cf. II.C.1.a). Ces rejets au même titre que les organismes se développant sur les structures participent à la création d'un « effet éponge » pour d'autres organismes marins (cf. point suivant ci-dessous).

Le « Dépôt faible de matériel (M9) » peut être assez élevé (*e.g.* Alonso-Pérez *et al.* 2010), dépassant dans certains cas les 80 g.m^{-2} par jour (McKindsey *et al.* 2011), mais ne semble pas constituer une problématique majeure en France, ces élevages étant souvent situés dans des zones à fort hydrodynamisme. Ces pressions pouvant amener à une augmentation de la sédimentation, elles sont en mesure d'impacter tous les habitats benthiques sensibles du 1110, 1120, 1160 et 1170 présentant un faible hydrodynamisme. Sauf dans le cas de pressions diffuses de fortes intensités, par les zones d'implantation connues ou potentielles de ces élevages, les replats boueux ou sableux exondés à marée basse (1140) et les lagunes en mer à marées (1150-1) sont exclus de toute interaction avec la conchyliculture sur filières. Une attention particulière doit être portée aux habitats sensibles au « Dépôt de faible à important de matériel (M9 et 10) », à savoir les herbiers de *Zostera marina* (1110-1) et de posidonies (1120), la roche infralittorale à algues photophiles (1170-13), le coralligène (1170-14) la roche médiolittorale inférieure à association à *L. byssoïdes* et les bancs de maërl (1110-3, 1160-2 et 1110-7) (tableau 13), ces trois derniers y étant particulièrement sensibles. Il faut aussi noter que les apports par les rejets de nutriments (urée et fèces)

peuvent avoir un effet positif sur le réseau trophique (cf. II.C.2.c), c'est « l'effet éponge » décrit par Díaz-López *et al.* (2005).

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

A terre, les interactions relatives aux infrastructures concernent les voies d'accès, les cales de mise à l'eau et les bâtiments. Les pressions sont limitées à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1140-7, 1140-8, 1170-1, 1170-10 et 1170-11) et intertidaux (1140). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.).

En mer, les filières peuvent entraîner une réduction de la vitesse des courants de 20 à 55 % (Grant & Bacher 2001; O'Donncha *et al.* 2013), ce qui peut augmenter la sédimentation à proximité des élevages et le risque de « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) » (M2). Les corps morts associés à ces structures génèrent également une « Abrasion profonde (M7) » sur l'espace dédié aux ancrages. En fonction du site d'implantation, les filières peuvent également réduire l'espace d'alimentation disponible pour les oiseaux « Marins de surface », les « Plongeurs pélagiques » et les « Plongeurs benthiques ».

Néanmoins, les filières sont en mesure de générer des effets bénéfiques puisqu'elles peuvent constituer des abris et des récifs artificiels fournissant un support de fixation, une protection et/ou une source de nourriture pour la faune et la flore (cf. II.C.2.c) (pour une revue Callier *et al.* (2018)). En effet, certains vertébrés (phalacrocoracidae, laridés et alcidés, dauphins, plies) et invertébrés (étoiles de mer, homards) peuvent profiter de ces structures et y sont plus nombreux qu'ailleurs (Roycroft *et al.* 2004; Drouin *et al.* 2015; Díaz López & Methion 2017). Cet aspect positif peut aussi avoir des effets antagonistes lors du nettoyage des structures qui peut alors « libérer » des individus qui vont se disperser et coloniser d'autres milieux comme c'est le cas pour les cultures d'algues en Chine (Keesing *et al.* 2011; Jin *et al.* 2018).

Les navires d'exploitation sont susceptibles de participer à la pression « Mort ou blessure par collision / interaction (P2) » mais cela demeure anecdotique.

Les macrodéchets (cordages, filet de protection des « boudins ») peuvent potentiellement affecter la tortue caouanne (1224) et les oiseaux « Plongeurs pélagiques » par ingestion (« Déchets solides (P4) ») (e.g. Derraik 2002; Codina-García *et al.* 2013; Tanaka *et al.* 2013). Les autres espèces présentent un risque d'interaction potentiel avec les produits de la dégradation des plastiques (cf. II.C.2.b).

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) »¹²⁰ et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». Les phoques (1364 et 1365) sont particulièrement sensibles au dérangement visuel sur leurs zones de repos et de reproduction (cf. II.C.4). Cependant, compte tenu de l'implantation des filières sur des habitats non exondés, seule une forte proximité (< 100 m) (cf. II.B) entre zones intertidales de repos et les exploitations en mer peut amener à une réelle exposition. Les oiseaux « Marins de surface » et les

¹²⁰ Dans le cas des activités de cultures marines ne nécessitant pas une exploitation à marée basse, cette pression peut être considérée comme nulle sauf dans certains cas précis (e.g. nécessité de fournir une production de première fraîcheur aux acheteurs en début de journée).

oiseaux « Plongeurs benthiques » peuvent être exposés aux trois pressions relatives au dérangement (P3, 8 et 10), ainsi que les oiseaux « Plongeurs pélagiques » dans le cas de filières installées assez loin de la côte.

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

Les daurades (Mille & Blachier 2009) et les oiseaux « Plongeurs benthiques » malacophages (e.g. eider à duvet, garrot à œil d'or, macreuse noire) (Moisan & Cauvier 2010) sont les principales prédateurs des bivalves en culture sur filières, même si des étoiles de mer ou des bigorneaux perceurs peuvent y être parfois observés surtout sur les cages reposant sur le fond (Mille *et al.* 2008). Ces déprédations peuvent amener à différentes pressions en fonction du (des) type(s) de dispositif(s) de contrôle choisi(s) et des espèces impactées (effarouchement / dissuasion, exclusion, enlèvement / abattage) (cf. II.C.5) : « Prélèvement d'espèces cibles (B5) », « Mort ou blessure par collision/interaction (P2) », « Dérangement visuel d'espèces (P3) », « Emissions sonores (et vibrations) (P8) » et « Introduction de lumière artificielle (P10) ».

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par la conchyliculture sur filières se limitent à ceux issus des navires d'exploitation et de leurs engins de levage (e.g. gasoil, huile, antifouling). Ils peuvent concerner trois types de pressions : « Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) » ; « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (métaux lourds, hydrocarbures, etc.) et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par un entretien régulier.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

Pour la conchyliculture sur filières, un risque lié à l'« Introduction de pathogènes (B3) » ne peut être exclu et cette transmission serait sans doute d'abord dommageable pour les exploitations elles-mêmes ainsi que pour les récifs biogéniques formés par des bivalves (cf. Michez *et al.* 2014, 2019). Les pratiques culturelles notamment les transferts de naissain entre les différents bassins de production sont des facteurs de risque de transmission de nombreux organismes pathogènes (Brenner *et al.* 2014) : bactéries, virus, protozoaires, trématodes, etc. (cf. tableau 16).

Les élevages sont aussi en mesure d'héberger des agents pathogènes auxquels ils ne sont pas vulnérables mais qui peuvent présenter un large spectre d'hôtes potentiels (cf. II.C.7). De ce fait, le risque ne peut être entièrement écarté.

Concernant les espèces Natura 2000, appartenant toutes à l'embranchement des vertébrés, il est moins probable qu'un agent pathogène des bivalves en élevage puisse se transmettre directement. Cependant, compte tenu de la diversité des agents pathogènes, ces transmissions sont bien réelles comme dans le cas de certaines relations hôtes-parasite (e.g. Laffargue *et al.* 2004; Durieux 2007). Par exemple, les métacercaires de *Prosorhynchus*

spp.¹²¹, qui peuvent causer des maladies chez les moules (castration et mortalité), ont comme second hôte la sole (Laffargue *et al.* 2004). En conséquent, au sein des nourriceries côtières des pertuis charentais, les niveaux d'infestation élevés chez les soles sont essentiellement restreints aux zones mytilicoles de bouchots (Durieux 2007).

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Les pressions relatives à ces interactions concernent le « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) ». La première pression (B1) peut impacter l'ensemble des récifs biogéniques (*e.g.* récifs de moules ou d'huîtres) dès lors que l'espèce élevée est génétiquement différentes de la population sauvage mais qu'elles sont interfécondes (hybridation) (cf. II.C.8.a). Dans le cas de la conchyliculture sur filières, la seconde pression (B7) n'intervient potentiellement que si l'exploitant fait appel à du naissain issu d'écloserie qui présente de manière prépondérante moins de diversité génétique que du naissain issu de captage naturel (cf. II.C.8.a) (*e.g.* Appleyard & Ward 2006; Lallias *et al.* 2010; In *et al.* 2016).

Aussi, en fonction des habitats hébergeant les cultures, il peut y avoir une compétition trophique entre les bivalves élevés et les autres filtreurs sauvages s'ils consomment la même fraction du seston¹²² présent dans la colonne d'eau. Cette compétition trophique constitue une pression potentielle issue de ces interactions écologiques. De plus, l'augmentation potentielle de la mortalité naturelle des œufs et des larves à cause de l'ingestion par les organismes en élevage demeure une hypothèse probable mais difficile à évaluer (cf. II.C.8.b) (*e.g.* Gibbs 2004; Keeley *et al.* 2009; Troost *et al.* 2009; Gallardi 2014).

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en conchyliculture sur filières est normalement exclu compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Néanmoins, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par le transport de matériel, d'individus, la perte de matériel, etc. (cf. II.C.9) (*e.g.* Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

¹²¹ Odhner, 1905.

¹²² Le seston inclut de la matière organique (bactérie, phytoplancton, détritux organiques, micro/mésozooplancton) et inorganique (minéraux, limons, sables).

Tableau 26 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à la **conchyliculture sur filières**. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. "1" vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions potentielles relatives à la conchyliculture sur filières		Perturbations physiques des fonds marins			Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques		Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes
		Abrasion profonde (M7) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P1) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2) [#]
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine										
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹	NS ¹	Fort
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Modérée	Fort	Modérée	Fort	Fort	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹	Fort
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Modérée	Variable	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Modérée	Faible	Modérée	Fort	Fort	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹	Fort
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidionion oceanicae</i>) [*]										
1120-1	Herbiers à Posidonies [*]	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Variable	Modérée	Variable	Variable	Variable	Fort
1130	Estuaires										
1130-1	Slikke en mer à marées	Variable	Variable	Variable	Faible	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible	Fort
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse										
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions potentielles relatives à la conchyliculture sur filières (suite)		Perturbations physiques des fonds marins			Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques		Introduction ou propagation d'espèces non indigènes
		Abrasion profonde (M7) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2) [#]
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse (suite)										
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Fort
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	NC	Modérée	Modérée	NC	Modérée	Faible	Faible	Faible	NC	Fort
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	NC	Faible	NC	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Fort
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Fort
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Fort
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	NC	Faible	Modérée	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	NC	Modérée	Modérée	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Fort
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	NC	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Fort
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	NC	Modérée	Faible	NC	Faible	Modérée	Faible	Faible	NC	Fort
1150	Lagunes côtières*										
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	NS ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹	Fort
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Fort
1160	Grandes criques et baies peu profondes										
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Modérée	Fort	Modérée	Fort	Modérée	AP ¹	Modérée ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Fort
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Fort
1170	Récifs										
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	NC	Variable	Modérée	Faible	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	NC	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Modérée	Variable	Variable	Faible	Faible	AP ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹	Fort
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Variable	Fort
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions potentielles relatives à la conchyliculture sur filières (suite)		Perturbations physiques des fonds marins			Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques		Introduction ou propagation d'espèces non indigènes
		Abrasion profonde (M7) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P1) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (E2) [#]
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	Fort	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	Fort	NC	NC	NC	NC	NC	NC
	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	Fort	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée). Association à <i>L. byssoïdes</i>	Variable	Fort	Modérée	Fort	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Variable	Modérée	Fort	Fort	Variable	Variable	Variable	Faible	Fort
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Faible	Fort
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	NC	Variable	Variable	Variable	Faible	Fort
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Modérée	Variable	Modérée	Modérée	Variable	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Fort

Tableau 27 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la **conchyliculture sur filières**. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la conchyliculture sur filières		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Apports de déchets	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées		Perturbation des espèces due à la présence humaine	
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	(C1, C2, C3 et C5)	Déchets solides (P4)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Prélèvement d'espèces cibles (B5)	Obstacle au mouvement (P1)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)											
Code N2000	Intitulé de l'espèce										
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	RIE	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIP
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIP
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIE
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	NC	NC	RIP	RIP	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIE
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIE
Espèces d'intérêt communautaire (DO)											
Groupes d'oiseaux											
Oiseaux herbivores		NC	NC	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	NC	NC
Échassiers		NC	NC	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	NC	NC
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	RIE	NC	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	RIE	NC	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		RIE	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	RIP	NC	NC	RIE



III.D.ALGOCULTURE SUR FILIERES

D.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

L'algoculture de macro-algues demeure peu développée en France avec une production estimée à 350 t en 2013 (Lesueur & Comparini 2015) (sur filières et en bassins). Laine-Penel *et al.* (2016) ont répertorié 20 entreprises qui réalisent de l'algoculture dont seules cinq d'entre elles comme activité principale. Sur ces cinq entreprises, quatre cultivent de l'algue sur filière et une en bassin. Les quatre entreprises sur filières sont certifiées Agriculture Biologique¹²³. L'algue brune japonaise, le Wakamé, *Undaria pinnatifida* (cf. II.C.9) représente la principale production avec une moyenne annuelle de 50 t¹²⁴ mais toute nouvelle introduction est interdite en Europe (Kilmartin *et al.* 2017). Les principales autres algues alimentaires cultivées sont : *Saccharina latissima*¹²⁵ ou kombu royal ; *Alaria esculenta*¹²⁶ ou wakamé irlandais ; et de manière plus occasionnelle ou expérimentale, *Laminaria digitata*¹²⁷, *Laminaria ochroleuca*¹²⁸ ou encore *Palmaria palmata*¹²⁹ ou dulse (Jacquemin 2017). La technique consiste à immerger des cordages en mer entre des flotteurs subflottants, arrimés sur les fonds marins par des corps morts (figure 41). Les algues macrophytes présentes sur les cordages peuvent être soit issues de captage naturel, de bouturage ou de production de plantules en éclosion.



Figure 40 : filières d'algoculture. Baie de Lampaul, plage du Prat. Commune de l'île d'Ouessant. Parc naturel marin d'Iroise (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité)

Les principales caractéristiques de ce type d'élevage aquacole, à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Elevage totalement ouvert sur le milieu marin ;
- Exploitation nécessitant un trafic maritime ponctuel ;

¹²³ Articles 13 du Règlement (CE) n°834/2007 et 6 *quinquies* du Règlement (CE) n°710/2009 concerne les exigences générales pour la production biologique d'algues marines. Dans les critères retenus pour la certification, il y a entre autres le fait que les zones de production doivent être de haute qualité écologique au sens de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) et d'une qualité équivalente aux eaux désignées en vertu de la directive 2006/113/CE relative à la qualité requise des eaux conchylicoles, soient les catégories « Très bon état » et « Bon état » telles que définies dans l'arrêté du 25 janvier 2010 et classées A ou B pour la production conchylicole.

¹²⁴ L'avis du conseil scientifique régional du patrimoine naturel de Bretagne N°2017-22-Espèces du 27 juin 2017 sur l'exploitation du wakamé – *Undaria pinnatifida* indique qu'il est défavorable à l'accroissement des surfaces exploitées et à la création de nouvelles concessions.

¹²⁵ (Linnaeus) C.E.Lane, C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders, 2006.

¹²⁶ (Linnaeus) Greville, 1830.

¹²⁷ (Hudson) J.V.Lamouroux, 1813.

¹²⁸ Bachelot de la Pylaie, 1824.

¹²⁹ (Linnaeus) F.Weber & D.Mohr, 1805.

- Elevage d'organismes autotrophes, producteurs d'oxygène et consommateurs de nutriments, ne nécessitant aucun intrant ;
- Elevages potentiellement consommateurs d'espace dans la colonne d'eau avec influence possible sur l'hydrodynamisme local et sur le substrat sous-jacent.

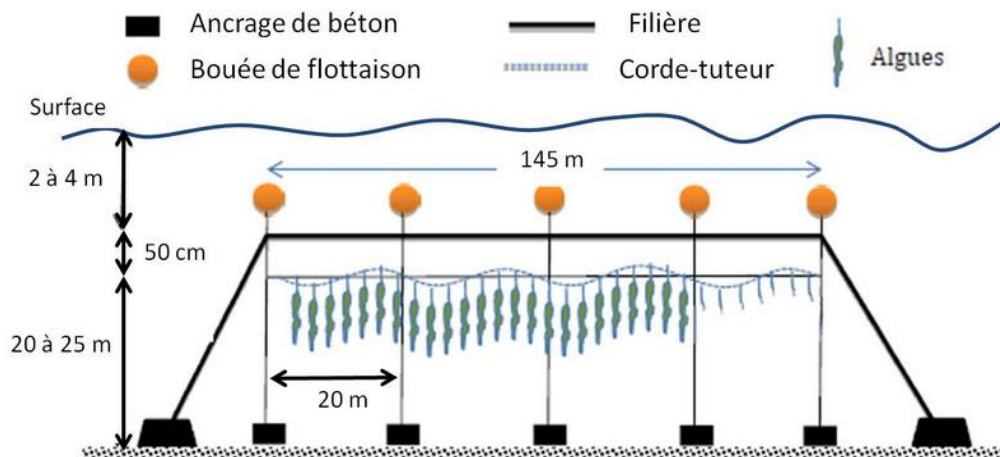


Figure 41 : filière subflottante utilisée pour la culture des laminaires (<https://seabiosis.com>).

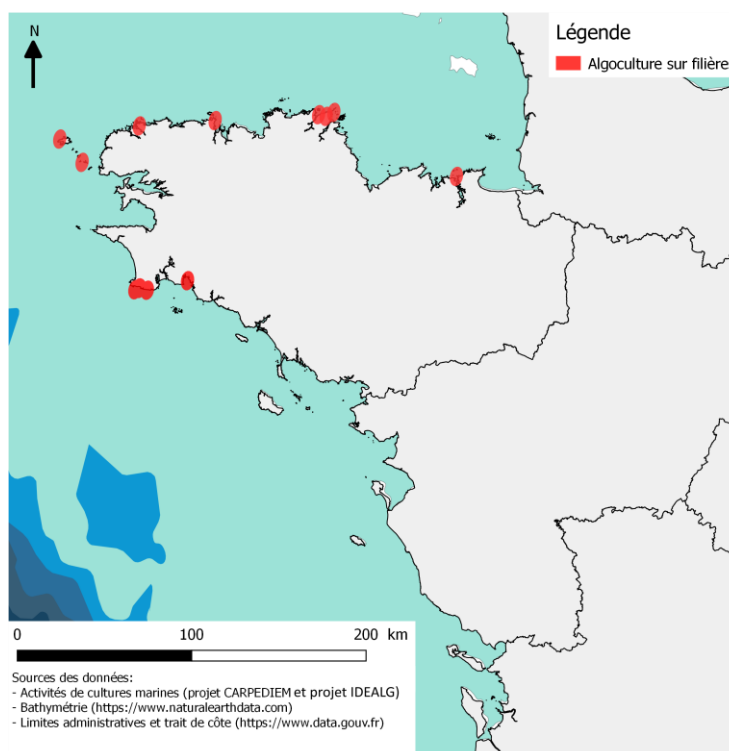


Figure 42 : répartition des cultures d'algues sur filières en France métropolitaine (données issues du projet CARPE DIEM³⁰ et du projet IDEALG (2011-2020), ANR/Investissement d'Avenir n° ANR-2010-BTBR-04). Cette carte est donnée à titre indicatif et n'est pas exhaustive concernant l'ensemble des concessions de cultures marines à l'échelle nationale.

D.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

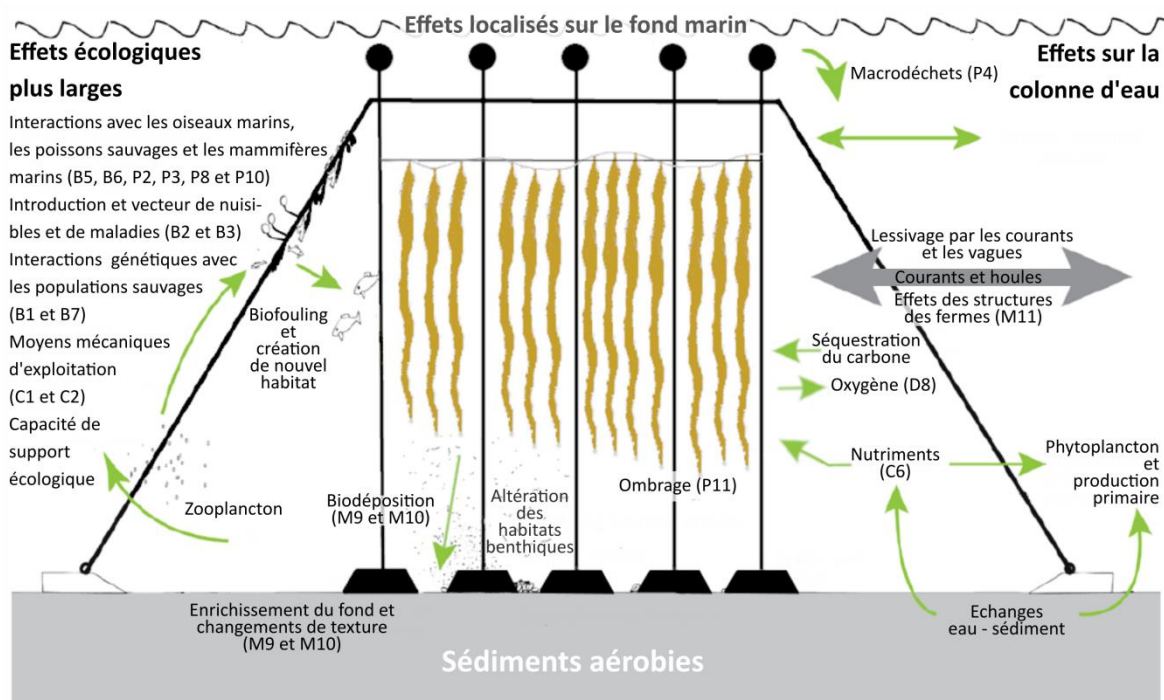


Figure 43 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de l'algoculture sur filières.

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Dans le cadre de ce type d'interactions, l'algoculture sur filières génère deux pressions plutôt bénéfiques pour le milieu marin du fait de la culture de producteurs primaires : le prélèvement de nutriments dans la colonne d'eau ; et la production d'oxygène dissous. Ces pressions s'opposent aux pressions « Désoxygénation (C8) » et « Modification des apports en nutriments (C6) ». Cette résultante des processus physiologiques des organismes photosynthétiques réduit le risque d'eutrophisation du milieu. Ces mécanismes physiologiques sont à l'origine de l'usage des algues dans l'aquaculture multitrophique intégrée comme moyen de bioremédiation afin de réduire les effluents des élevages de producteurs secondaires (oursins, bivalves, poissons, etc.)¹³⁰.

D'un point de vue théorique, les déchets organiques issus des macrophytes en culture peuvent générer un enrichissement du substrat sous-jacent par la « Modification de la charge en particules (M12) », la « Modification des apports en matériel organiques (C7) » et un « Dépôt faible de matériel (M9) » (Stévant *et al.* 2017). Cependant, le nombre d'études à ce sujet demeure restreint et montre plutôt l'absence d'enrichissement (Buschmann *et al.* 2014), voire des valeurs plus faibles que sur les sites témoins (Walls 2017), sans déterminer précisément l'origine de ces observations (hydrodynamisme, consommation par les organismes fixés aux cultures, etc.).

¹³⁰ e.g. <https://halieutique.agrocampus-ouest.fr/projets.php?idproj=117> ; http://www.umar-marbec.fr/IMG/pdf/imtaeffect_fiche_projet_fr.pdf

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

A terre, les interactions relatives aux infrastructures concernent les voies d'accès, les cales de mise à l'eau et les bâtiments. Les pressions sont limitées à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1140-7, 1140-8, 1170-1, 1170-10 et 1170-11) et intertidaux (1140). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.).

En mer, les filières peuvent entraîner une réduction de la vitesse des courants de 20 à 55 % (Grant & Bacher 2001; O'Donncha *et al.* 2013), ce qui peut augmenter la sédimentation à proximité des élevages et le risque de « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin (M2) ». Les corps morts associés à ces structures génèrent également une « Abrasion profonde (M7) » sur les espaces dédiés aux ancrages. En fonction du site d'implantation, les filières peuvent également réduire l'espace d'alimentation disponible pour les oiseaux « Marins de surface », les « Plongeurs pélagiques » et les « Plongeurs benthiques ».

Néanmoins, les filières se rapprochant d'un champ d'algues naturel – à la différence que la fixation des thalles ne s'effectue pas sur le fond – elles sont en mesure de générer les mêmes effets bénéfiques pour la biodiversité environnante que les habitats naturels de macrophytes (Almanza & Buschmann 2013; Vásquez *et al.* 2014). Elles peuvent ainsi constituer des abris et des récifs artificiels fournissant un support de fixation, une protection et/ou une source de nourriture pour la faune et la flore (cf. II.C.2.c) (Walls 2017). Cet aspect positif peut aussi avoir des effets antagonistes lors du nettoyage des structures qui peut alors « libérer » des individus qui vont se disperser et coloniser d'autres milieux (Keesing *et al.* 2011; Jin *et al.* 2018).

Les navires d'exploitation sont susceptibles de participer à la pression « Mort ou blessure par collision / interaction (P2) » mais cela demeure anecdotique.

Les quelques macrodéchets produits par l'activité (cordages et bouées) peuvent potentiellement affecter la tortue caouanne (1224) et les oiseaux « Plongeurs pélagiques » par ingestion (« Déchets solides (P4) ») (e.g. Derraik 2002; Codina-García *et al.* 2013; Tanaka *et al.* 2013). Les autres espèces présentent un risque d'interaction potentiel avec les produits de la dégradation des plastiques (cf. II.C.2.b).

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) »¹³¹ et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». Les phoques (1364 et 1365) sont particulièrement sensibles au dérangement visuel sur leurs zones de repos et de reproduction (cf. II.C.4). Cependant, compte tenu de l'implantation des filières sur des habitats non exondés, seule une forte proximité (< 100 m) (cf. II.B) entre zones intertidales de repos et les exploitations en mer peut amener à une réelle exposition. Les oiseaux « Marins de surface » et les oiseaux « Plongeurs benthiques » peuvent être exposés aux trois pressions relatives au dérangement (P3, 8 et 10), ainsi que les oiseaux « Plongeurs pélagiques » dans le cas de filières installées assez loin de la côte.

¹³¹ Dans le cas des activités de cultures marines ne nécessitant pas une exploitation à marée basse, cette pression peut être considérée comme nulle sauf dans certains cas précis (e.g. nécessité de fournir une production de première fraîcheur aux acheteurs en début de journée).

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

Aucun contrôle de prédateurs n'est connu à ce jour pour l'algoculture sur filières.

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par l'algoculture sur filières se limitent à ceux issus des navires d'exploitation et de leurs engins de levage (e.g. gasoil, huile, antifouling). Ils peuvent concerner trois types de pressions : « Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) » ; « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (métaux lourds, hydrocarbures, etc.) et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par un entretien régulier.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

Malgré le peu de cultures d'algues sur filières en France, un risque lié à l'« Introduction de pathogènes (B3) » ne peut être exclu et cette transmission serait sans doute d'abord dommageable aux exploitations comme ce fut le cas dans les Philippines (e.g. Loureiro *et al.* 2015; Cottier-Cook *et al.* 2016) et aux habitats biogéniques formés par des macroalgues (cf. Michez *et al.* 2019). Par exemple, Buschmann *et al.* (2014) indiquent que pour les laminaires, les infestations sont relatives à des procaryotes, des virus, des champignons, des oomycètes, d'autres espèces d'algues filamenteuses microscopiques et des invertébrés. Les élevages sont aussi en mesure d'héberger des agents pathogènes auxquels ils ne sont pas vulnérables mais qui peuvent présenter un large spectre d'hôtes potentiels (cf. II.C.7). De ce fait, le risque ne peut être entièrement écarté.

Concernant les espèces Natura 2000, appartenant toutes à l'embranchement des vertébrés, il est hautement improbable qu'un agent pathogène touchant les algues en culture puisse se transmettre à ces espèces.

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Ces interactions sont relatives aux pressions « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) » et elles ne concernent que les habitats biogéniques formés par des macroalgues comme les « Forêts de Laminaires dominée par *Laminaria ochroleuca*¹³² » (cf. Michez *et al.* 2019). Les exports (spores, reproduction végétative par bouturage) sont inévitables en systèmes ouverts du fait des manipulations à la récolte, de la vulnérabilité des filières aux intempéries, etc. Ainsi, par exemple, pour *Gracilaria chilensis*¹³³ (au Chili) ou

¹³² Bachelot de la Pylaie, 1824.

¹³³ C.J.Bird, McLachlan & E.C.Oliveira, 1986.

deux espèces de *Porphyra*¹³⁴ (Japon), les risques d'impact ont été montrés sur la diversité génétique naturelle (Guillemin *et al.* 2008; Niwa *et al.* 2009).

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en algoculture sur filières est normalement très limitée compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Néanmoins, des espèces comme *Undaria pinnatifida* (e.g. Grulois *et al.* 2011; Sfriso & Facca 2013; Arnold *et al.* 2016) ou *Sargassum muticum* (e.g. Grizel 1983; Schwartz *et al.* 2016) se sont déjà propagées avant la prise en compte de ce problème par le législateur (cf. II.C.9). Aussi, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par le transport de matériel, la perte de matériel, etc. (cf. II.C.9) (e.g. Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

¹³⁴ C.Agardh, 1824.

Tableau 28 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à l'**algoculture sur filières**. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. «1» vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'algoculture sur filières		Perturbations physiques des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes
		Abrasion peu profonde (M6) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P1) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2) [#]
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine							
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Modérée ¹	Faible ¹	Fort
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Modérée	Fort	Fort	Modérée	AP ¹	Modérée ¹	Fort
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Modérée	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Modérée	Faible	Fort	Modérée	AP ¹	Modérée ¹	Fort
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonia oceanica</i>)*							
1120-1	Herbiers à Posidonies*	Modérée	Faible	Modérée	Variable	Modérée	Variable	Fort
1130	Estuaires							
1130-1	Slikke en mer à marées	Variable	Variable	Faible	Faible	Variable	Faible	Fort
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse							
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	NC	Faible	NC	NC	NC	NC	NC
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	NC	Faible	NC	NC	NC	NC	NC

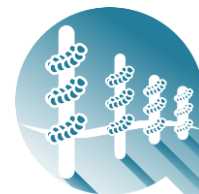
Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'algoculture sur filières (suite)		Perturbations physiques des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes
		Abrasion peu profonde (M6) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2) [#]
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse (suite)							
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	NC	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Fort
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	NC	Modérée	NC	Faible	Faible ¹	Faible ¹	Fort
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	NC	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Fort
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	NC	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Fort
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	NC	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Fort
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	NC	Faible	NC	NC	NC	NC	NC
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	NC	Modérée	NC				NC
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	NC	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Fort
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	NC	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Fort
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	NC	Modérée	NC	Faible	Modérée	Faible	Fort
1150	Lagunes côtières*							
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible	Faible	NS ¹	NS ¹	Fort
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Faible	Faible	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Fort
1160	Grandes criques et baies peu profondes							
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Fort
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Modérée	Fort	Fort	Faible	AP ¹	Modérée	Fort
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Faible	Faible	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Fort
1170	Récifs							
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	NC	Variable	Faible	NC	NC	NC	NC
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	NC	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	NC	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Modérée	Variable	Faible	Faible	AP ¹	NS ¹	Fort
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	NC	Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Fort
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	NC	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Fort
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Fort	NC	NC	NC	NC
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Fort				
	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Fort				
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée). Association à <i>L. byssoides</i>	Variable	Fort	Fort	Faible	Faible	Faible	Fort

Synthèse de la vulnérabilité ^s et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'algoculture sur filières (suite)		Perturbations physiques des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes
		Abrasion peu profonde (M6) ^s	Dépôt faible de matériel (M9) ^s	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) ^s	Modification de la charge en particules (M12) ^s	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2) [#]
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Variable	Fort	Modérée	Variable	Variable	Fort
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Variable	Variable	Fort
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Faible	NC	Variable	Variable	Fort
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Modérée	Variable	Modérée	Variable	Modérée	Modérée	Fort

Tableau 29 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à l'**algoculture sur filières**. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; **RIP** : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; **RIE** : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à l'algoculture sur filières		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Apports de déchets	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Prélèvement ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées	Perturbation des espèces due à la présence humaine
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	C1, C2 et C5	Déchets solides (P4)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)									
Code N2000	Intitulé de l'espèce								
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	RIE	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	RIP	RIP
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	RIP
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	RIE
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	NC	NC	RIP	RIP	NC	NC	NC	NC
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	RIE
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	RIE
Espèces d'intérêt communautaire (DO)									
Groupes d'oiseaux									
Oiseaux herbivores		NC	NC	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
Échassiers		NC	NC	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		RIE	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	RIP	RIE

III.E. MYTILICULTURE INTERTIDALE SUR BOUCHOTS



E.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

La culture sur bouchots est apparue dans la baie de l'Aiguillon (Charente-Maritime, Vendée) et remonterait au XIII^e siècle. C'est un mode d'élevage spécifique aux côtes françaises à marées (McKindsey *et al.* 2006a), la majorité de la production mondiale étant réalisée sur des filières, voire sur des radeaux (e.g. rias en Galice) (Mille *et al.* 2008). La production annuelle est de 56 000 tonnes environ (chiffres 2015/2016, CNC¹³⁵). Les premiers territoires de production sont la Normandie – Mer du Nord, suivi de la Bretagne nord et des Pays de Loire (figure 45).

Le captage du naissain sur des cordes de coco tendues horizontalement est réalisé au printemps. A partir de l'été, ces cordages, préalablement « boudinés » dans un filet tube, sont enroulés autour de pieux nommés bouchots pour une récolte l'année suivante de juin à février. Ces bouchots sont plantés verticalement en ligne en zone intertidale. Afin de d'éviter les pertes dû aux effets de la houle et des marées, le catinage consiste à envelopper les moules dans des filets (figure 44). Aussi, dans l'objectif de protéger les moules contre l'invasion des crabes, les pieux sont habillés d'une jupe ou tahitienne à leurs pieds.



Figure 44 : (a) paysage intertidal façonné par la mytiliculture dans la baie de Canche. Commune de Camiers. Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale (photo : L. Mignaux / Terra) (b) Moules de bouchots avec filets de protection. Commune de Quend. Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale (photo : L. Viera / Office français de la biodiversité). (c et d) Bouchots avec cordes de captage en second plan / Boudins de jeune moules venant d'être fixés. Pertuis breton au large de la commune de Nieul-sur-mer. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des pertuis (photos : R. Coz / Office français de la biodiversité).

¹³⁵ <http://www.cnc-france.com/La-Production-francaise.aspx>

Les caractéristiques principales de l'élevage à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Elevage plutôt extensif mais densités élevées à l'échelle du bassin de production car ces élevages se concentrent le plus souvent au travers d'infrastructures étendues dans des baies, criques, rias, estuaires ;
- Exploitation pouvant nécessiter un trafic maritime assez régulier ;
- Elevage de coquillages bivalves filtreurs ne nécessitant aucun intrant ;
- Elevages consommateurs d'espace sur l'estran et donc potentiellement dans des zones importantes d'alimentation et de nidification pour de nombreuses espèces d'oiseaux.
- Influence possible sur l'hydrodynamisme local et sur le substrat sous-jacent.

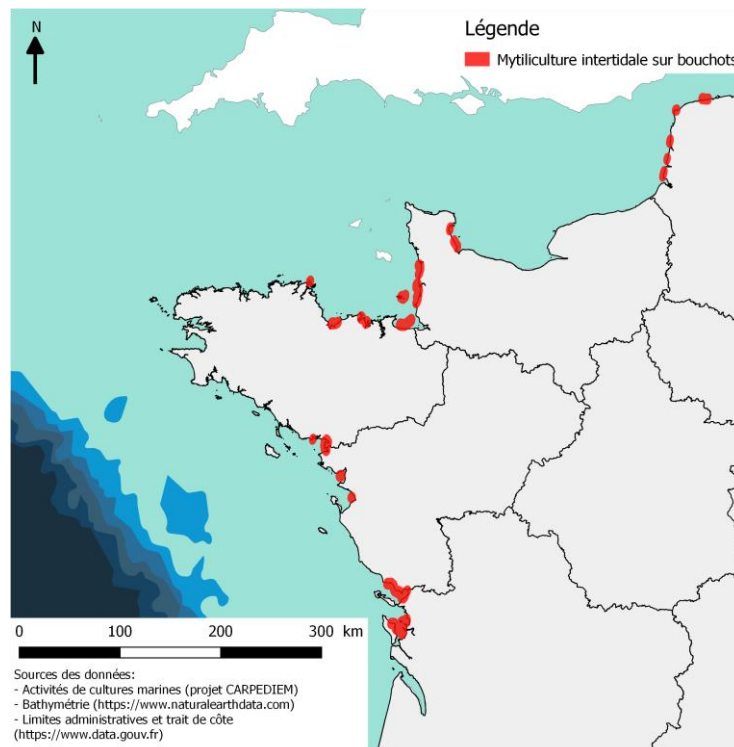


Figure 45 : répartition des élevages mytilicoles sur bouchot en France métropolitaine (données issues du projet CARPE DIEM³⁰). Cette carte est donnée à titre indicatif et n'est pas exhaustive concernant l'ensemble des concessions de cultures marines à l'échelle nationale.

E.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

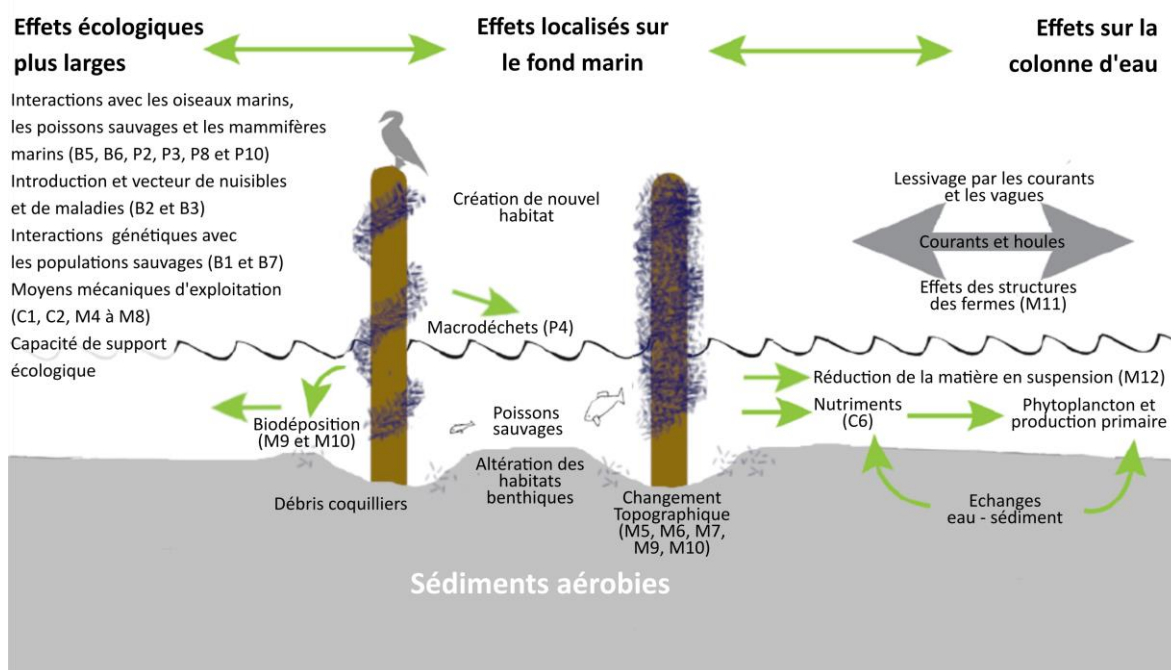


Figure 46 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de la mytiliculture sur bouchots.

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Les pressions potentielles relatives à ce type d'interactions vont concerner le « Dépôt faible de matériel (M9) » et les modifications « De la charge en particules (M12) », « Des apports en nutriments (C6) » et « Des apports en matériel organique (C7) ».

Pour les modifications des concentrations en particules, nutriments et matériel organique celles-ci peuvent augmenter à cause des rejets provenant des organismes élevés (fèces ; pseudo-fèces, urée, coquilles) mais être aussi réduites par la filtration des bivalves (cf. II.C.1.a). Ces rejets au même titre que les organismes élevés ou se développant sur les structures participent à la création d'un « effet éponge » pour d'autres organismes marins ou aviaires (cf. point suivant sur le contrôle des prédateurs).

Le « Dépôt faible de matériel (M9) » existe mais ne semble pas constituer une problématique majeure compte tenu du peu d'études sur l'enrichissement benthique aux pieds des bouchots (aucune sur des baies semi-abritées : pertuis breton, baie du Mont Saint-Michel, etc.). Par exemple, Grant *et al.* (2012) n'ont pas mis en évidence d'augmentation de la matière organique dans les sédiments sous les élevages présents sur l'île de Chausey. Cette absence de dépôt de matière organique est sans doute due aux effets des forts courants sur ce site qui favorisent le lessivage et l'oxygénation (*i.e.* permet une meilleure minéralisation de la matière organique). Néanmoins, Grant (2010) montre, à petite échelle (au pied des bouchots), une augmentation de l'hétérogénéité des assemblages benthiques. Ces mêmes assemblages sont aussi différents entre sites mytilicoles et les sites de référence.

Ces pressions peuvent donc amener à des changements dans la composition de la faune benthique et donc influencer potentiellement certains habitats benthiques intertidaux de la façade atlantique, manche, mer du Nord (1140-3, 5 et 6 ; le 1140-4 est exclu compte tenu de du caractère très mobile des grains de sable : « habitat ne pouvant être détérioré » (Bensettiti *et al.* 2004)). Les habitats présentant un faible hydrodynamisme sont plus

sensibles à ce type de pression. Aussi, en fonction de l'intensité des pressions diffuses, elles peuvent influencer les habitats subtidiaux adjacents.

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

A terre, les interactions relatives aux infrastructures concernent les voies d'accès, les cales de mise à l'eau et les bâtiments. Les pressions sont limitées à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1170-1) et intertidaux non méditerranéens (1140). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.).

En mer, les bouchots engendrent une « Modification des conditions hydrodynamiques (M11) ». En effet, ils peuvent modifier l'orientation des courants et réduire par un facteur trois leurs vitesses ainsi que la hauteur de la houle de plus de 50 % (Sornin 1982). Ces modifications peuvent augmenter la sédimentation à proximité des élevages et le risque de « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin (M2) ». Néanmoins, au pied des bouchots l'érosion est plus importante à cause des turbulences associées qui rend le sédiment plus grossier (Grant 2010; Grant *et al.* 2012) entraînant une « Abrasion de superficielle à profonde (M5 à M7) » ainsi qu'un « Remaniement (M8) ».

Les bouchots au même titre que les autres structures d'élevage sont en mesure de générer des effets bénéfiques puisqu'ils peuvent constituer des abris et des récifs artificiels fournissant un support de fixation, une protection et/ou une source de nourriture pour la faune et la flore (cf. II.C.2.c) (pour une revue Callier *et al.* (2018)). Cet aspect positif peut aussi avoir des effets antagonistes lors du nettoyage des structures qui peut alors « libérer » des individus qui vont se disperser et coloniser d'autres milieux comme c'est le cas pour les cultures d'algues en Chine (Keesing *et al.* 2011; Jin *et al.* 2018).

Aussi, en fonction du site d'implantation, les bouchots peuvent réduire l'espace d'alimentation disponible pour les oiseaux « Echassiers », « Marins de surface » et les « Plongeurs benthiques ». Ces premiers sont les plus impactés puisqu'ils se nourrissent principalement sur la zone intertidale (e.g. Eybert *et al.* 2003; figure 2 dans Ponsero *et al.* 2016).

Les navires d'exploitation sont susceptibles de participer à la pression « Mort ou blessure par collision / interaction (P2) » mais cela demeure anecdotique. En fonction de la hauteur d'eau, sur les substrats les plus meubles, les navires peuvent aussi engendrer avec leurs hélices une « Abrasion de superficielle à profonde (M5 à M7) » ainsi qu'un « Remaniement (M8) ». Les tracteurs (ou équivalents amphibies) sont en mesure de provoquer un « Tassement (M4) » du substrat au même titre que les plates quand elles sont échouées à marée basse.

Les macrodéchets (tahitiennes, filet de protection des « boudins ») peuvent potentiellement affecter la tortue caouanne (1224) et les oiseaux « Plongeurs pélagiques » par ingestion (« Déchets solides (P4) ») (e.g. Derraik 2002; Codina-García *et al.* 2013; Tanaka *et al.* 2013). Les autres espèces présentent un risque d'interaction potentiel avec les produits de la dégradation des plastiques (cf. II.C.2.b).

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) » et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». Les phoques (1364 et 1365) sont particulièrement sensibles au dérangement visuel sur leurs zones de repos et de reproduction (cf. II.C.4). Or, compte tenu de l'implantation des bouchots sur le milieu intertidal, il existe un risque

d'interaction entre cette activité et les phoques si ceux-ci sont implantés à proximité d'un secteur de reposoirs. Les oiseaux « Echassiers », « Herbivores », « Marins de surface » et « Plongeurs benthiques » peuvent aussi être exposés aux trois pressions relatives au dérangement (P3, 8 et 10). Ces premiers sont les plus exposés quand le travail des exploitants est effectué à marée basse sur un estran découvert sur ou à proximité de leur zone d'alimentation.

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

Les daurades (Mille & Blachier 2009), les étoiles de mer, les bigorneaux perceurs (Basuyaux *et al.* 2012, 2015), les oiseaux « Plongeurs benthiques » malacophages (e.g. eider à duvet, garrot à œil d'or, macreuse noire) (Moisan & Cauvier 2010; Blin *et al.* 2013; Tolon 2013) et certains oiseaux « Marins de surface » comme les goélands (Mille 2017) sont les principales prédateurs des moules de bouchots. Ces déprédations peuvent amener à différentes pressions en fonction du (des) type(s) de dispositif(s) de contrôle choisi(s) et des espèces impactées (effarouchement / dissuasion, exclusion, enlèvement / abattage) (cf. II.C.5) : « Prélèvement d'espèces cibles (B5) », « Mort ou blessure par collision/interaction (P2) », « Dérangement visuel d'espèces (P3) », « Emissions sonores (et vibrations) (P8) » et « Introduction de lumière artificielle (P10) ».

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par la mytiliculture sur bouchots se limitent à ceux issus des navires d'exploitation, de leurs engins de levage et des tracteurs (e.g. gasoil, huile, antifouling). Ils peuvent concerner trois types de pressions : « Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) » ; « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (métaux lourds, hydrocarbures, etc.) et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par un entretien régulier.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

Compte tenu de l'existence de transfert de naissain entre les différentes régions mytilicoles (du golfe de Gascogne vers l'Atlantique nord et la Manche), le risque relatif à l'« Introduction de pathogènes (B3) » est réel et cette transmission serait d'abord potentiellement dommageable aux exploitations et aux moulières naturelles (cf. Michez *et al.* 2019).

Les élevages sont aussi en mesure d'héberger des agents pathogènes auxquels ils ne sont pas vulnérables mais qui peuvent présenter un large spectre d'hôtes potentiels (cf. II.C.7). De ce fait, le risque ne peut être entièrement écarté.

Concernant les espèces Natura 2000, appartenant toutes à l'embranchement des vertébrés, il est moins probable qu'un agent pathogène des bivalves en élevage puisse se transmettre directement. Cependant, compte tenu de la diversité des agents pathogènes, ces transmissions sont bien réelles comme dans le cas de certaines relations hôtes-parasite

(e.g. Laffargue *et al.* 2004; Durieux 2007). Par exemple, les métacercaires de *Proserhynchus spp.*¹³⁶, qui peuvent causer des maladies chez les moules (castration et mortalité), ont comme second hôte la sole (Laffargue *et al.* 2004). En conséquent, au sein des nourriceries côtières des pertuis charentais, les niveaux d'infestation élevés des soles sont essentiellement restreints aux zones mytilicoles de bouchots (Durieux 2007).

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

La pression relative à ces interactions concerne le « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) ». Cette pression (B1) peut impacter les moulières sauvages dès lors que l'espèce élevée est génétiquement différentes de la population sauvage mais qu'elles sont interfécondes (hybridation) (cf. II.C.8.a). Dans le cas de la mytiliculture sur bouchots, il n'y a pas de risque de d' « Appauvrissement génétique de populations naturelles » puisque tout le naissain est issu de captage naturel. Néanmoins, compte tenu des mortalités, il est possible que les pratiques changent dans les années à venir¹³⁷.

Aussi, les compétitions trophiques qui peuvent avoir lieu entre les moules élevées et les autres filtreurs consommant la même fraction du seston¹³⁸ présent dans la colonne d'eau représentent une pression potentielle issue de ces interactions écologiques. De plus, l'augmentation potentielle de la mortalité naturelle des œufs et des larves à cause de l'ingestion par les organismes en élevage demeure une hypothèse probable mais difficile à évaluer (cf. II.C.8.b) (e.g. Gibbs 2004; Keeley *et al.* 2009; Troost *et al.* 2009; Gallardi 2014).

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en mytiliculture sur bouchots est normalement exclu compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Néanmoins, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par le transport de matériel, d'individus, la perte de matériel, etc. (cf. II.C.9) (e.g. Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

¹³⁶ Odhner, 1905.

¹³⁷ <https://lemarin.ouest-france.fr/secteurs-activites/environnement/30075-lifremer-teste-du-naissain-de-moules-selectionne>

¹³⁸ Le seston inclut de la matière organique (bactérie, phytoplancton, détritux organiques, micro/mésozooplancton) et inorganique (minéraux, limons, sables).

Tableau 30 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à la mytiliculture sur bouchots. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. «1» vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la mytiliculture sur bouchots		Perturbations physiques des fonds marins						Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Tassement (M4) [§]	Abrasion superficielle (M5) [§]	Abrasion peu profonde (M6) [§]	Abrasion profonde (M7) [§]	Remaniement (M8) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P1) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine												
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	Variable	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée ¹	Modérée ¹	Faible ¹	NS ¹
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Fort	Fort	Fort	AP1	NS1	Modérée ¹	Modérée ¹
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1130	Estuaires												
1130-1	Slikke en mer à marées	Faible	Faible	Variable	Variable	Faible	Variable	Faible	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse												
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible					
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	Faible	NC	NC	NC	NC	Faible	Faible	NC	NC	NC	NC	NC
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à Zostera noltei.	Variable	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Faible ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1150	Lagunes côtières*												
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	NS ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la mytiliculture sur bouchots (suite)		Perturbations physiques des fonds marins						Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Tassement (M4) [§]	Abrasion superficielle (M5) [§]	Abrasion peu profonde (M6) [§]	Abrasion profonde (M7) [§]	Remaniement (M8) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]
1160	Grandes criques et baies peu profondes												
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Variable	Variable	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Fort	Fort	Modérée	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1170	Récifs												
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	Faible	Modérée	NC	NC	NC	Variable	Faible	NC	NC	NC	NC	NC
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Modérée	NC	NC	NC	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	NC	NC	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Faible	Faible	Modérée	Modérée	NC	Variable	Faible	Faible	AP1	NS1	NS1	Faible1
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	Modérée	NC	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Modérée	NC	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	NC		Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Variable
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	NC	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Tableau 31 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la mytiliculture sur bouchots. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la mytiliculture sur bouchots		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Apports de déchets	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées		Perturbation des espèces due à la présence humaine	
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	C1, C2 et C5	Déchets solides (P4)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Prélèvement d'espèces cibles (B5)	Obstacle au mouvement (P1)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)											
Code N2000	Intitulé de l'espèce										
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIN	NC
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIN	NC
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	NC	NC	RIP	RIP	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIN	RIE
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIN	RIE
Espèces d'intérêt communautaire (DO)											
Groupes d'oiseaux											
Oiseaux herbivores		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	NC	RIE
Échassiers		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	NC	RIE
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE	NC	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE	NC	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		NC	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	NC	NC	NC	NC



III.F. OSTREICULTURE INTERTIDALE SURELEVEE

F.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

L'ostréiculture intertidale sur table constitue le type d'élevage conchylicole le plus répandu en France métropolitaine. Il concerne uniquement la façade Atlantique, Manche, mer du Nord. Pour la saison 2015-2016, la production d'huîtres creuses sur cette façade était de 117 000 t¹³⁹ (toutes formes d'élevage confondues).

Le naissain d'huîtres est principalement capté dans les pertuis charentais et dans le bassin d'Arcachon sur des supports appelés collecteurs (tuiles, tubes, coupelles, ardoises, coquilles, etc.). Il peut aussi provenir d'écloseries. Les jeunes huîtres sont ensuite disposées dans des poches en grillage plastique fixées sur des armatures métalliques en lignes (tables) en milieu intertidal (figure 47). Dans les années à venir, il est possible que le système des poches australiennes se substitue à une partie des poches classiques (Blin 2018). L'élevage dure trois à quatre ans et fait l'objet d'une manutention régulière.



Figure 47 : (a) paysage façonné par l'ostréiculture sur table à la pointe de la Fumée. Commune de Fouras. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité). (b) cabanes et plates ostréicoles dans le port ostréicole de Cayenne. Commune de Marennes. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : F. Colas / Office français de la biodiversité).

Les caractéristiques principales de l'élevage à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Elevage plutôt extensif mais densités élevées à l'échelle du bassin de production car ces élevages se concentrent le plus souvent au travers d'infrastructures étendues dans des baies, criques, rias, estuaires ;
- Exploitation pouvant nécessiter un trafic maritime assez régulier ;
- Elevage de coquillages bivalves filtreurs ne nécessitant aucun intrant ;
- Elevages consommateurs d'espace sur l'estran et donc potentiellement dans des zones importantes d'alimentation et de nidification pour de nombreuses espèces d'oiseaux ;
- Influence possible sur l'hydrodynamisme local et sur le substrat sous-jacent.

¹³⁹ <http://www.cnc-france.com/La-Production-francaise.aspx>

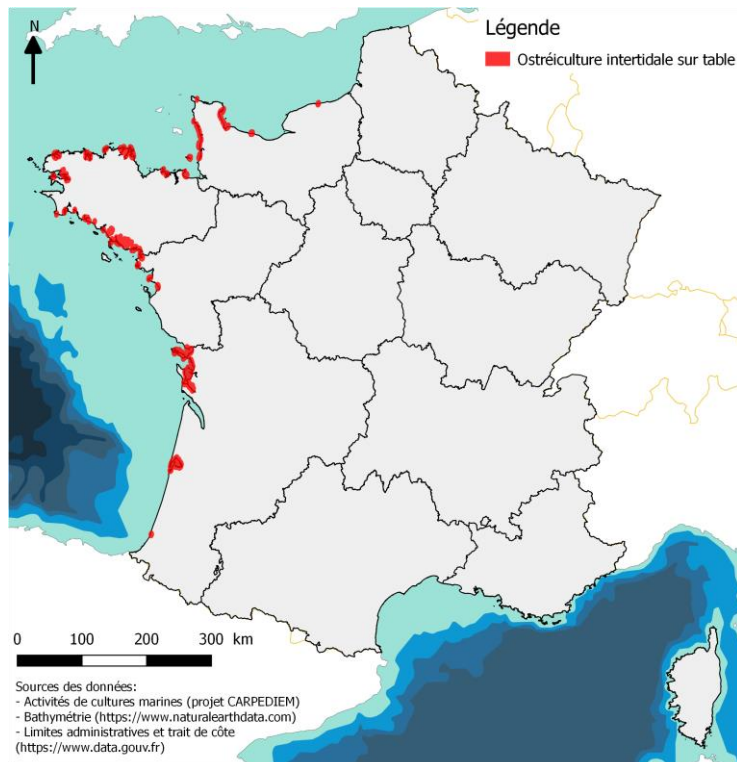


Figure 48 : répartition des élevages ostréicoles sur tables (hors lagunes méditerranéennes) en France métropolitaine (données issues du projet CARPE DIEM³⁰). Cette carte est donnée à titre indicatif et n'est pas exhaustive concernant l'ensemble des concessions de cultures marines à l'échelle nationale.

F.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

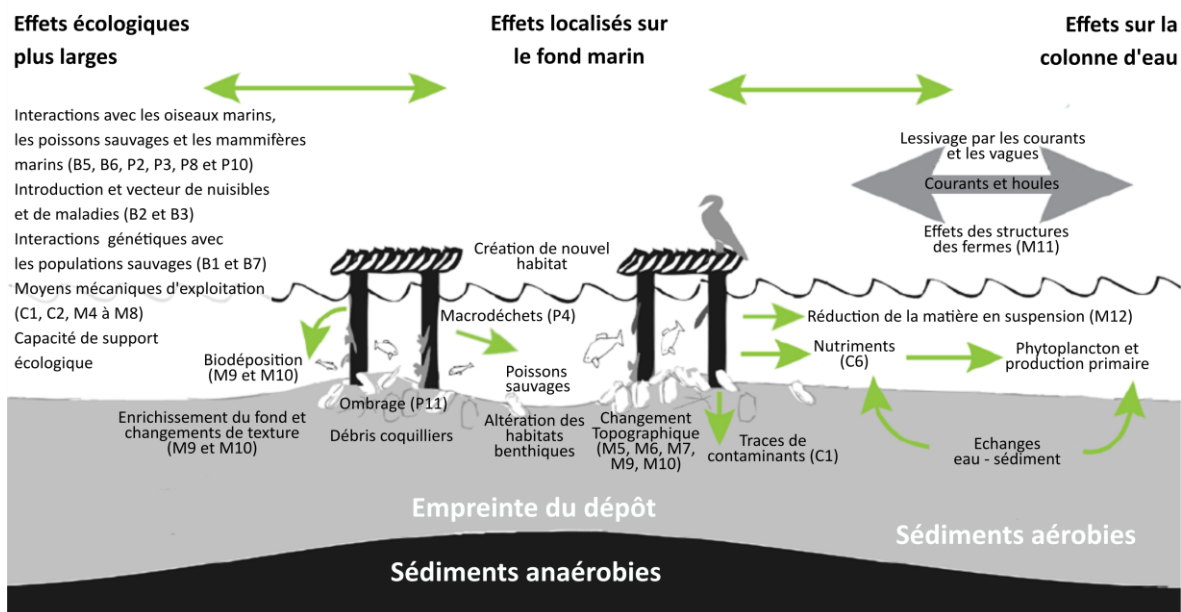


Figure 49 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de l'ostréiculture sur tables (et surélevée) (modifié et traduit de Ministry for Primary Industries of New Zealand (2013) basé sur Forrest *et al.* (2009)).

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Les pressions potentielles relatives à ce type d'interactions vont concerner le « Dépôt faible à important de matériel (M9 et M10) » et les modifications « De la charge en particules (M12) », « Des apports en nutriments (C6) » et « Des apports en matériel organique (C7) ». Pour les modifications des concentrations en particules, nutriments et matériel organique celles-ci peuvent augmenter à cause des rejets provenant des organismes élevés (fèces ; pseudo-fèces, urée, coquilles) mais être aussi réduites par la filtration des bivalves (cf. II.C.1.a).

Cette augmentation de la matière organique dans les sédiments peut engendrer une « Désoxygénation (C8) » du substrat suite à la consommation d'oxygène par les bactéries et la faune benthique qui la dégradent. Ce processus conduit à une modification des conditions physico-chimiques et des communautés (figure 6, tableau 11) susceptible d'amener à un « Changement d'habitat (M2) ».

Ces pressions potentiellement fortes peuvent influencer certains habitats benthiques intertidaux de la façade atlantique, manche, mer du Nord (1140-3, 5 et 6 ; le 1140-4 est exclu compte tenu de du caractère très mobile des grains de sable : « habitat ne pouvant être détérioré » (Bensettiti *et al.* 2004)). Les habitats oligotrophes et/ou présentant un hydrodynamisme modérée y sont plus sensibles. Aussi, en fonction de l'intensité des pressions diffuses, elles peuvent influencer les habitats subtidaux adjacents. Une attention particulière doit être portée aux habitats sensibles au « Dépôt de faible à important de matériel (M9 et 10) », à savoir les herbiers de *Zostera marina* (1110-1) et les bancs de maërl (1110-3 et 1160-2) (tableau 13). Il faut aussi noter que les apports par les rejets de nutriments (urée et fèces) peuvent avoir un effet positif sur le réseau trophique (cf. II.C.2.c), c'est « l'effet éponge » décrit par Díaz-López *et al.* (2005).

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

A terre, les interactions relatives aux infrastructures concernent les voies d'accès, les cales de mise à l'eau et les bâtiments. Les pressions sont limitées à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1170-1) et intertidaux non méditerranéens (1140). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt de matériel (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.). Ces pressions concernent aussi l'entretien des fonds marins supportant les tables, principalement pour nettoyer les zones d'élevage, entre autres de la présence de la crépidule ou pour niveler les fonds. Tous les habitats benthiques intertidaux hébergeant ces élevages y sont exposés (1140-3, 5 et 6) et potentiellement tous les habitats adjacents émergés totalement ou partiellement.

En mer, les tables engendrent une « Modification des conditions hydrodynamiques (M11) ». En effet, elles peuvent par exemple réduire par un facteur deux la vitesse des courants (Sornin 1982) ou au contraire engendrer une augmentation localisée du courant (figure 9). Ces modifications, variables en fonction du substrat (e.g. platier rocheux vs vasière), se traduisent par des « Abrasion superficielle à profonde (M5, 6 et 7) », du « Remaniement (M8) » et/ou du « Dépôt de matériel (M9 et 10) » et en définitive un risque de « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin (M2) ».

Aussi, en fonction du site d'implantation, les tables peuvent réduire l'espace d'alimentation disponible pour les oiseaux « Echassiers », « Marins de surface » et les « Plongeurs

benthiques ». Ces premiers sont les plus impactés puisqu'ils se nourrissent principalement sur la zone intertidale (e.g. Eybert *et al.* 2003).

Néanmoins, les tables sont aussi en mesure de générer des effets bénéfiques puisqu'elles peuvent constituer des abris et des récifs artificiels fournissant un support de fixation, une protection et/ou une source de nourriture pour la faune et la flore (cf. II.C.2.c) (pour une revue Callier *et al.* (2018)). Par exemple, certains vertébrés comme la sole (Laffargue *et al.* 2006) et d'autres invertébrés fixés ou non (mollusques, crustacés) peuvent tirer avantages de ces structures. Cet aspect positif peut aussi avoir des effets antagonistes lors du nettoyage des structures qui peut alors « libérer » des individus qui vont se disperser et coloniser d'autres milieux comme c'est le cas pour les cultures d'algues en Chine (Keesing *et al.* 2011; Jin *et al.* 2018).

Les navires d'exploitation sont susceptibles de participer à la pression « Mort ou blessure par collision / interaction (P2) » mais cela demeure anecdotique. En fonction de la hauteur d'eau, sur les substrats les plus meubles, les navires peuvent aussi engendrer avec leurs hélices une « Abrasion de superficielle à profonde (M5 à M7) » ainsi qu'un « Remaniement (M8) ». Les tracteurs sont en mesure de provoquer un « Tassement (M4) » du substrat au même titre que les plates quand elles sont échouées à marée basse.

Les macrodéchets (élastiques, collecteurs (coupelles, tubes), morceaux de poches) peuvent potentiellement affecter la tortue caouanne (1224) et les oiseaux « Plongeurs pélagiques » par ingestion (« Déchets solides (P4) ») (e.g. Derraik 2002; Codina-García *et al.* 2013; Tanaka *et al.* 2013). Les autres espèces présentent un risque d'interaction potentiel avec les produits de la dégradation des plastiques (cf. II.C.2.b).

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) » et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». Les phoques (1364 et 1365) sont particulièrement sensibles au dérangement visuel sur leurs zones de repos et de reproduction (cf. II.C.4). Or, compte tenu de l'implantation des tables sur le milieu intertidal, il existe un risque d'interaction entre cette activité et les phoques. Les oiseaux « Echassiers », « Herbivores », « Marins de surface » et « Plongeurs benthiques » peuvent aussi être exposés aux trois pressions relatives au dérangement (P3, 8 et 10). Ces deux premiers sont les plus exposés quand le travail des exploitants est effectué à marée basse sur un estran découvert sur ou à proximité de leur zone d'alimentation.

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

Les étoiles de mer, les daurades (Mille & Blachier 2009), les bigorneaux perceurs (e.g. Pigeot *et al.* 2000; Sauriau 2002) ou l'huitrier pie (mais de manière limitée (Besson 2014)) sont les principales prédateurs des huitres élevées sur les tables en milieu intertidal. Ces déprédations peuvent amener à une pression de « Prélèvement d'espèces cibles (B5) » sur les invertébrés ciblés.

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par la conchyliculture sur tables sont ceux issus des navires d'exploitation, de leurs engins de levage et des tracteurs (e.g. gasoil, huile, antifouling) mais aussi de la dégradation des tables (composées de fer à béton). Ils peuvent concerner trois types de pressions : « Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) » ; « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Les anciennes méthodes de nettoyage des tables avec des produits chimiques ne semblent plus d'actualité.

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (métaux lourds, hydrocarbures, etc.) et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par un entretien régulier.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

Compte tenu de l'existence de transfert de naissain entre les différentes régions ostréicoles (du golfe de Gascogne vers l'Atlantique nord et la Manche), le risque relatif à l'« Introduction de pathogènes (B3) » est réel et cette transmission serait d'abord potentiellement dommageable aux exploitations et aux récifs naturelles d'huitres (cf. Michez *et al.* 2019).

Concernant les espèces Natura 2000, appartenant toutes à l'embranchement des vertébrés, il est moins probable qu'un agent pathogène des bivalves en élevage puisse se transmettre directement. Cependant, compte tenu de la diversité des agents pathogènes, ces transmissions sont bien réelles comme dans le cas de certaines relations hôtes-parasite (*e.g.* Laffargue *et al.* 2004; Durieux 2007).

Les élevages sont aussi en mesure d'héberger des agents pathogènes auxquels ils ne sont pas vulnérables mais qui peuvent présenter un large spectre d'hôtes potentiels (cf. II.C.7). De ce fait, le risque ne peut être entièrement écarté.

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Les pressions relatives à ces interactions concernent le « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) ». La première pression (B1) peut impacter les récifs biogéniques d'huitres dès lors que l'espèce élevée est génétiquement différentes de la population sauvage mais qu'elles sont interfécondes (hybridation) (cf. II.C.8.a). Dans le cas de l'ostréiculture sur tables, la seconde pression (B7) n'intervient potentiellement que si l'exploitant fait appel à du naissain issu d'écloserie qui présente moins de diversité génétique que du naissain issu de captage naturel.

Aussi, les compétitions trophiques qui peuvent avoir lieu entre les bivalves élevés et les autres filtreurs consommant la même fraction du seston¹⁴⁰ présent dans la colonne d'eau représentent une pression potentielle issue de ces interactions écologiques. De plus, l'augmentation potentielle de la mortalité naturelle des œufs et des larves à cause de l'ingestion par les organismes en élevage demeure une hypothèse probable mais difficile à évaluer (cf. II.C.8.b) (*e.g.* Gibbs 2004; Keeley *et al.* 2009; Troost *et al.* 2009; Gallardi 2014).

¹⁴⁰ Le seston inclut de la matière organique (bactérie, phytoplancton, détritiques organiques, micro/mésozooplancton) et inorganique (minéraux, limons, sables).

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en ostréiculture sur tables est normalement exclu compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Il faut cependant noter que la majorité de l'ostréiculture française repose sur une espèce non-indigène, *Magallana* (= *Crassostrea*) *gigas*, qui est devenue invasive à travers le monde (figure 25) (Molnar *et al.* 2008). Néanmoins, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par le transport de matériel, d'individus, la perte de matériel, etc. (cf. II.C.9) (*e.g.* Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

Tableau 32 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à l'ostréiculture sur tables. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. «1» vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'ostréiculture surélevée		Perturbations physiques des fonds marins							Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques		
		Tassement (M4) [§]	Abrasion superficielle (M5) [§]	Abrasion peu profonde (M6) [§]	Abrasion profonde (M7) [§]	Remaniement (M8) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]	
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine														
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à <i>Z. marina</i>.	Variable	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée ¹	Modérée ¹	Faible ¹	NS ¹
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Fort	Modérée	Fort	Fort	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹	Faible
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1130	Estuaires														
1130-1	Slikke en mer à marées	Faible	Faible	Variable	Variable	Faible	Variable	Variable	Faible	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse														
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible						
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	Faible	NC	NC	NC	NC	Faible	Faible	Faible	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	Variable	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Faible ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹	Faible ¹
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1150	Lagunes côtières*														
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	NS ¹	NS ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'ostréiculture surélevée (suite)		Perturbations physiques des fonds marins						Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques		
		Tassement (M4) [§]	Abrasion superficielle (M5) [§]	Abrasion peu profonde (M6) [§]	Abrasion profonde (M7) [§]	Remaniement (M8) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Tassement (M4) [§]	Abrasion superficielle (M5) [§]	Abrasion peu profonde (M6) [§]	Abrasion profonde (M7) [§]	Remaniement (M8) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]
1160	Grandes criques et baies peu profondes													
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Variable	Variable	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Fort	Modérée	Fort	Modérée	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1170	Récifs													
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	Faible	Modérée	NC	NC	NC	Variable	Modérée	Faible	NC	NC	NC	NC	NC
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Modérée	NC	NC	NC	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	NC	NC	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Faible	Faible	Modérée	Modérée	NC	Variable	Variable	Faible	Faible	AP ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	Modérée	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Modérée	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	NC		Faible	Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Variable
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	NC	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Tableau 33 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à l'ostréiculture sur tables. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à l'ostréiculture surélévée		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Apports de déchets	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées		Perturbation des espèces due à la présence humaine	
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	C1, C2 et C5	Déchets solides (P4)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Prélèvement d'espèces cibles (B5)	Obstacle au mouvement (P1)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)											
Code N2000	Intitulé de l'espèce										
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIP	NC
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	RIN	NC
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	NC	NC	RIP	RIP	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	RIE	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIN	RIE
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	RIE	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIN	RIE
Espèces d'intérêt communautaire (DO)											
Groupes d'oiseaux											
Oiseaux herbivores		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	NC	RIE
Échassiers		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIN	NC	RIE
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	NC	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	NC	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		NC	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	NC	NC	NC	NC



III.G. CONCHYLICULTURE AU SOL

G.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

La conchyliculture au sol consiste en l'essaimage et l'élevage directement sur le sol de coquillages : huîtres, moules, coques ou palourdes principalement. Cet élevage peut être effectué en milieu intertidal ou en eau profonde. En Méditerranée, ce type d'élevage est très peu développé et ne concerne que la palourde. Cet élevage extensif ne nécessite aucune infrastructure d'élevage. Les concessions peuvent être éventuellement travaillées à la herse pendant l'élevage afin d'éviter l'étouffement des coquillages non fousseurs en élevage. La récolte peut être assurée de manière traditionnelle, à la fourche, ou plus communément par hersage des concessions d'élevage. Aucun chiffre n'a été trouvé sur la production exacte de ce type d'aquaculture.

Les caractéristiques principales de l'élevage à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Elevage extensif ne nécessitant aucune infrastructure en mer ;
- Elevage de coquillages bivalves filtreurs ne nécessitant aucun intrant ;
- Exploitation pouvant nécessiter un trafic maritime assez régulier ;
- Pressions physiques potentiellement élevées sur le substrat en raison des outils de récolte pouvant être utilisés (herse, drague) ;
- Elevage situé plutôt en zone basse de l'estran ou en zone infralittorale supérieure, et donc potentiellement à proximité de zones importantes d'alimentation et de nidification pour de nombreuses espèces d'oiseaux.

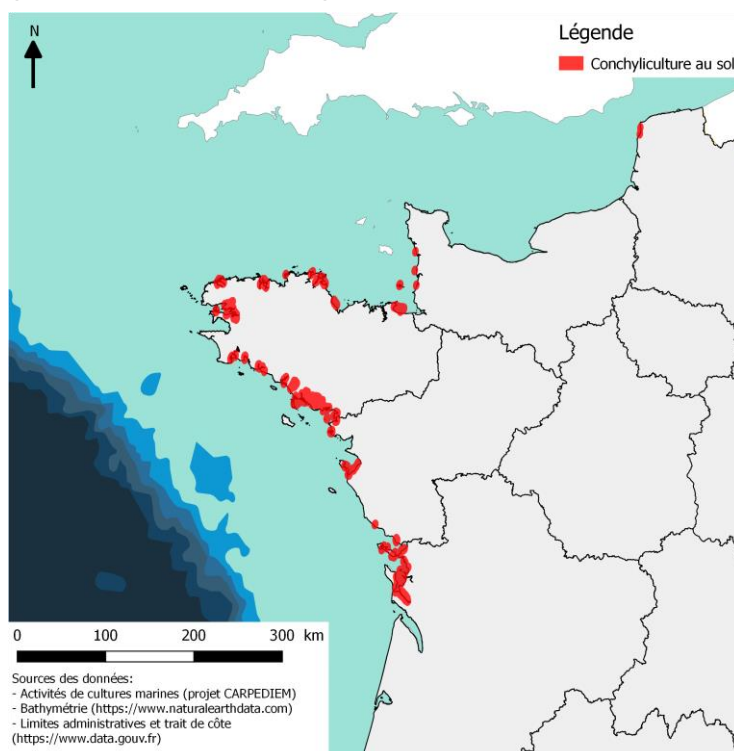


Figure 50 : répartition des élevages conchylicoles au sol en France métropolitaine (données issues du projet CARPE DIEM³⁰). Cette carte est donnée à titre indicatif et n'est pas exhaustive concernant l'ensemble des concessions de cultures marines à l'échelle nationale.

G.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

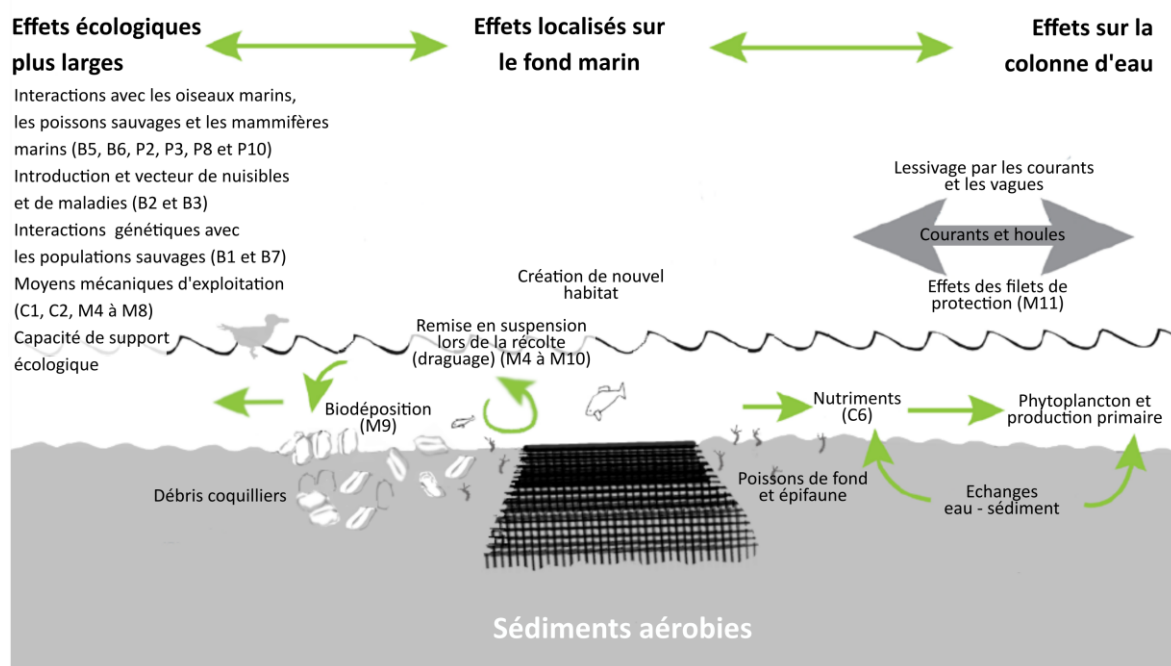


Figure 51 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de la conchyliculture au sol.

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Comme pour les autres types d'élevage de bivalves, les pressions potentielles relatives à ce type d'interactions vont concerner le « Dépôt faible à important de matériel (M9 et M10) » et les modifications « De la charge en particules (M12) », « Des apports en nutriments (C6) » et « Des apports en matériel organique (C7) ».

Pour les modifications des concentrations en particules, nutriments et matériel organique celles-ci peuvent augmenter à cause des rejets provenant des organismes élevés (fèces ; pseudo-fèces, urée, coquilles) mais être aussi réduites par la filtration des bivalves (cf. II.C.1.a) (e.g. Nizzoli *et al.* 2006, 2007). Néanmoins, compte tenu du caractère enfouis ou posés des bivalves en conchyliculture au sol, les modifications de concentrations dans la colonne d'eau vont principalement intervenir lors de la remise en suspension des sédiments au cours de la récolte « Remaniement M8 » (pour une revue Mercaldo-Allen & Goldberg 2011).

L'augmentation de la matière organique dans les sédiments peut engendrer une « Désoxygénation (C8) » du substrat suite à la consommation d'oxygène par les bactéries et la faune benthique qui la dégradent (Nizzoli *et al.* 2006b). Ce processus conduit à une modification des conditions physico-chimiques et des communautés (figure 6, tableau 11) susceptible d'amener à un « Changement d'habitat (M2) ».

Ces pressions potentielles peuvent influencer certains habitats benthiques intertidaux et subtidaux meubles de la façade atlantique, manche, mer du Nord (1110-1, 2, 3 et 4 ; 1140-3, 5 et 6 ; le 1140-4 est exclu compte tenu de du caractère très mobile des grains de sable : « habitat ne pouvant être détérioré » (Bensettiti *et al.* 2004) ; 1160-1 et 2). Les habitats oligotrophes et/ou présentant un hydrodynamisme modérée y sont plus sensibles. Aussi, en fonction de l'intensité des pressions diffuses, elles peuvent influencer les habitats subtidaux adjacents. Une attention particulière doit être portée aux habitats sensibles au « Dépôt de

faible à important de matériel (M9 et 10) », à savoir les herbiers de *Zostera marina* (1110-1) et les bancs de maërl (1110-3 et 1160-2) (tableau 13).

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

A terre, les interactions relatives aux infrastructures concernent les voies d'accès, les cales de mise à l'eau et les bâtiments. Les pressions sont limitées à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1170-1) et intertidaux non méditerranéens (1140). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt de matériel (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.). Dans le cas de la conchyliculture au sol, dans les zones d'élevage (intertidale ou en eau profonde), les pressions qui interviennent communément au cours de la vie des individus en élevage (cf. point ci-dessus) vont principalement se manifester lors de la récolte et de la remise en suspension des sédiments par les herses ou les dragues. L'impact du dragage présente certains antagonisme puisque certains effets peuvent être bénéfiques et d'autres délétères (Mercaldo-Allen & Goldberg 2011). Par exemple, le « Remaniement M8 » des sédiments va oxygéner les strates anoxiques des sédiments permettant une minéralisation de la matière organique (qui consomme de l'oxygène) la rendant disponible aux producteurs primaires. A l'inverse, le hersage peut (Mercaldo-Allen & Goldberg 2011) :

- Perturber la surface du sédiment en changeant sa structure physique (e.g. lissage du fond par aplanissement des rides de sable, réduction de la compaction, traces de herses, retrait de la couche oxique) (Badino *et al.* 2004) et en détruisant et/ou déplaçant les éléments organiques pouvant la composer (coquilles, trous et tubes construits par les organismes). Ce dépôt de coquilles en surface peut favoriser le recrutement de naissain d'huitres (Rothschild *et al.* 1994). Cette perturbation se traduit par une réduction de la complexité verticale et horizontale de l'habitat. Les pressions correspondantes sont « Abrasions superficielles à profondes (M5 à M7) » (IFREMER 2019) ;
- Changer la composition des sédiments par exemple en réduisant la proportion des particules d'argile qui sont plus fines et plus sujettes à être transportées par l'hydrodynamisme (e.g. Piersma *et al.* 2001). Cela peut à terme transformer un substrat sableux riche en matière organique en sable grossier avec des morceaux de coquilles broyées. Les pressions correspondantes sont « Modifications des apports en nutriments, en matériel organique et de la charge en particules (C6, C7 et M12) » ;
- Stresser, blesser ou tuer les organismes benthiques fouisseurs en les déplacer, en les enfouissant, en les écrasant ou en les exposant à la surface du sédiment (e.g. Gaspar & Chícharo 2007; Vasconcelos *et al.* 2011). Ces individus morts ou blessés profitent alors aux espèces détritvires ou prédatrices. La sensibilité des espèces à ces pressions est très variables (corps durs ou mous, fixés ou vagiles, etc.). Par exemple, dans l'étude de Constantino *et al.* (2009), les crustacés déposivores, les annélides polychètes et les ophiures sont les plus impactés par les dragues. Aussi, pour les bivalves, plus les individus sont petits, moins ils sont en mesure d'être impactés. Ces impacts sont très dépendants du type de sédiment et des espèces inféodées. A la différence des autres formes d'aquaculture, les pressions « Prélèvements d'espèces cibles (B5) » et « Prélèvement d'espèces non-cibles (B6) » sont directement générées par les modalités de récolte des individus.

De manière générale, plus le sédiment est grossier et soumis naturellement à un fort dynamisme, plus les conséquences des pressions générées par les dragues seront minimales (e.g. sables mobiles intertidaux) ;

- Augmenter les sédiments en suspension « « Remaniement M8 » » ce qui se traduit par une élévation de la turbidité. Cette baisse de luminosité peut impacter les prédateurs chassant à vue et la photosynthèse. La charge en sédiment dans la colonne d'eau peut aussi influencer la survie des bivalves et des poissons en bouchant leurs branchies ou en inhibant leurs mouvements et/ou leurs enfouissements (Wilber & Clarke 2001) ;
- Réduire immédiatement l'abondance, la diversité, la biomasse, etc. de la méiofaune et de la macrofaune benthique en les soustrayant ou en les redistribuant spatialement que ces espèces soient ciblées ou non (e.g. Alves *et al.* 2003; Toupont *et al.* 2008) ;
- Endommager les habitats biogéniques comme les récifs d'huitres (Rothschild *et al.* 1994) ou les herbiers de zostères. Pour ces derniers, par exemple, il a été montré que les herbiers de *Zostera marina* pouvaient, en fonction de l'amplitude de la pression et de la qualité de l'environnement, mettre entre six et plus de vingt ans pour retourner à leur état initial (Neckles *et al.* 2005).

Par ailleurs, en fonction du site d'implantation (intertidal ou subtidal), la conchyliculture au sol peut réduire l'espace d'alimentation disponible pour l'ensemble des groupes d'oiseaux. Compte tenu des implantations connues majoritairement en zone intertidale, les « Echassiers » sont potentiellement les plus impactés puisqu'ils se nourrissent principalement sur la zone intertidale (e.g. Eybert *et al.* 2003) comme ça a été observé sur l'archipel de Chausey (Godet *et al.* 2009).

S'il y en a usage, les navires d'exploitation sont susceptibles de participer à la pression « Mort ou blessure par collision / interaction (P2) » mais cela demeure anecdotique. Les tracteurs sont en mesure de provoquer un « Tassement (M4) » du substrat.

Les macrodéchets (filets de protection au sol), si elles se détériorent, peuvent potentiellement affecter la tortue caouanne (1224) et les oiseaux « Plongeurs pélagiques » par ingestion (« Déchets solides (P4) ») (e.g. Derraik 2002; Codina-García *et al.* 2013; Tanaka *et al.* 2013). Les autres espèces présentent un risque d'interaction potentiel avec les produits de la dégradation des plastiques (cf. II.C.2.b).

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) » et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». Les phoques (1364 et 1365) sont particulièrement sensibles au dérangement visuel sur leurs zones de repos et de reproduction (cf. II.C.4). Or, compte tenu de l'implantation d'une partie de la conchyliculture au sol sur le milieu intertidal, il existe un risque d'interaction entre cette activité et les phoques. L'ensemble des groupes d'oiseaux peuvent aussi être exposés aux trois pressions relatives au dérangement (P3 8 et 10). Le groupe des « Echassiers » et celui des « Herbivores » sont les plus exposés quand le travail des exploitants est effectué à marée basse sur un estran découvert sur ou à proximité de leur zone d'alimentation.

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

Les filets de protection placés au sol contre les prédateurs vont ralentir le courant à la surface du substrat et augmenter le « Dépôt faible de matériel (M9) » (Gouletquer *et al.*

1999) et sont en mesure de stabiliser le sédiment et de favoriser l'installation de certains invertébrés (e.g. *Lanice conchilega*¹⁴¹ (Blin *et al.* 2017)).

En fonction du lieu et du type d'élevage (intertidal vs en eau profonde ; huitres, moules, coques, palourdes) différents prédateurs peuvent réduire la production de la conchyliculture au sol. Les étoiles de mer, les daurades (Mille & Blachier 2009), les bigorneaux perceurs (e.g. Pigeot *et al.* 2000; Sauriau 2002) et certains oiseaux sont les principales prédateurs de ces exploitations. Quand cela est envisageable, ces déprédations peuvent amener à une pression de « Prélèvement d'espèces cibles (B5) » sur les invertébrés ciblés.

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par la conchyliculture au sol sont ceux issus des navires d'exploitation, de leurs engins de levage et des tracteurs (e.g. gasoil, huile, antifouling). Ils peuvent concerner trois types de pressions : « Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) » ; « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (métaux lourds, hydrocarbures, etc.) et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par un entretien régulier.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

Compte tenu de l'existence de transfert de naissain, le risque relatif à l'« Introduction de pathogènes (B3) » est réel et cette transmission serait d'abord potentiellement dommageable aux exploitations et aux récifs naturels (moules, huitres) ou aux populations composées des individus de la même espèce que celle élevée (coques, palourdes) (cf. Michez *et al.* 2019).

Les élevages sont aussi en mesure d'héberger des agents pathogènes auxquels ils ne sont pas vulnérables mais qui peuvent présenter un large spectre d'hôtes potentiels (cf. II.C.7). De ce fait, le risque ne peut être entièrement écarté.

Concernant les espèces Natura 2000, appartenant toutes à l'embranchement des vertébrés, il est moins probable qu'un agent pathogène des bivalves en élevage puisse se transmettre directement (surtout du fait qu'en fonction des espèces, les individus élevés sont parfois enfouis dans le substrat). Cependant, compte tenu de la diversité des agents pathogènes, ces transmissions sont bien réelles comme dans le cas de certaines relations hôtes-parasite (e.g. Laffargue *et al.* 2004; Durieux 2007).

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Les pressions relatives à ces interactions concernent le « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de

¹⁴¹ (Pallas, 1766)

populations naturelles (B7) ». La première pression (B1) peut impacter les récifs biogéniques (huitres, moules) dès lors que l'espèce élevée est génétiquement différentes de la population sauvage mais qu'elles sont interfécondes (hybridation) (cf. II.C.8.a). Dans le cas de la conchyliculture au sol, la seconde pression (B7) n'intervient potentiellement que si l'exploitant fait appel à du naissain issu d'écloserie qui présente moins de diversité génétique que du naissain issu de captage naturel.

Aussi, les compétitions trophiques qui peuvent avoir lieu entre les bivalves élevés et les autres filtreurs consommant la même fraction du seston¹⁴² présent dans la colonne d'eau représentent une pression potentielle issue de ces interactions écologiques. De plus, l'augmentation potentielle de la mortalité naturelle des œufs et des larves à cause de l'ingestion par les organismes en élevage demeure une hypothèse probable mais difficile à évaluer (cf. II.C.8.b) (e.g. Gibbs 2004; Keeley *et al.* 2009; Troost *et al.* 2009; Gallardi 2014).

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en conchyliculture au sol est normalement exclu compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Il faut cependant noter qu'une partie de la conchyliculture française repose sur plusieurs espèces non-indigènes, *Magallana* (= *Crassostrea*) *gigas*, qui est devenue invasive à travers le monde (figure 25) (Molnar *et al.* 2008) et la palourde japonaise, *Ruditapes philippinarum*, qui se substitue de plus en plus à la palourde européenne, *Ruditapes decussatus* (Bidegain & Juanes 2013). Néanmoins, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par le transport de matériel, d'individus, la perte de matériel, etc. (cf. II.C.9) (e.g. Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

¹⁴² Le seston inclut de la matière organique (bactérie, phytoplancton, débris organiques, micro/mésozooplancton) et inorganique (minéraux, limons, sables).

Tableau 34 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à la conchyliculture sur sol. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. "1" vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

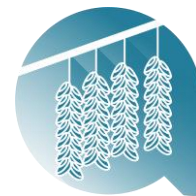
Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la conchyliculture sur sol		Perturbations physiques des fonds marins						Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Tassement (M4)§	Abrasion superficielle (M5)§	Abrasion peu profonde (M6)§	Abrasion profonde (M7)§	Remaniement (M8)§	Dépôt faible de matériel (M9)§	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)§	Modification de la charge en particules (M12)§	Diminution de la lumière naturelle (P11)#	Modification des apports en nutriments (C6)#	Modification des apports en matériel organiques (C7)#	Désoxygénation (C8)#
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine												
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	Variable	Faible	Fort	Fort	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Modérée ¹	Modérée ¹	Faible ¹	NS ¹
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Faible	Modérée	Fort	Fort	Faible	Fort	Modérée	Modérée	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	NC	Faible	Faible	Modérée	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	NC	Fort	Fort	Fort	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Fort	Fort	Fort	Fort	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Faible	Faible	Fort	Fort	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*												
1120-1	Herbiers à Posidonies*	Variable	Faible	Fort	Fort	Modérée	Faible	Faible	Variable	Modérée	Variable	Variable	Variable
1130	Estuaires												
1130-1	Slikke en mer à marées	Faible	Faible	Variable	Variable	Faible	Variable	Faible	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Modérée	Faible	Modérée	Fort	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse												
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	NC	NC	NC	NC

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle* des habitats aux pressions relatives à la conchyliculture sur sol (suite)		Perturbations physiques des fonds marins						Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Tassement (M4)§	Abrasion superficielle (M5)§	Abrasion peu profonde (M6)§	Abrasion profonde (M7)§	Remaniement (M8)§	Dépôt faible de matériel (M9)§	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)§	Modification de la charge en particules (M12)§	Diminution de la lumière naturelle (P11)#	Modification des apports en nutriments (C6)#	Modification des apports en matières organiques (C7)#	Désoxygénation (C8)#
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	Faible	NC	NC	NC	NC	Faible	Faible	NC	NC	NC	NC	NC
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	Variable	Faible	Fort	Fort	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Modérée	NC	NC	NC	NC	NC
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	Faible	Faible	Modérée	Fort	Modérée	Modérée	Modérée					
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible
1150	Lagunes côtières*												
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	NS ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Fort	Modérée	Modérée
1160	Grandes criques et baies peu profondes												
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Variable	Variable	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Fort	Modérée	Fort	Fort	Modérée	Fort	Modérée	Faible	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible
1170	Récifs												
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	Faible	Fort	NC	NC	NC	Variable	Faible	NC	NC	NC	NC	NC
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Fort	NC	NC	NC	Modérée	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	NC	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Faible	Faible	Fort	Fort	NC	Variable	Faible	Faible	AP ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Modérée	Fort	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Modérée	Fort	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	Faible	Modérée	Modérée	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	Faible	Modérée	NC	NC		Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Variable
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	Faible	Modérée	NC	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle* des habitats aux pressions relatives à la conchyliculture sur sol (suite)		Perturbations physiques des fonds marins						Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Tassement (M4)§	Abrasion superficielle (M5)§	Abrasion peu profonde (M6)§	Abrasion profonde (M7)§	Remaniement (M8)§	Dépôt faible de matériel (M9)§	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)§	Modification de la charge en particules (M12)§	Diminution de la lumière naturelle (P11)#	Modification des apports en nutriments (C6)#	Modification des apports en matériel organiques (C7)#	Désoxygénation (C8)#
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Faible	Fort	Fort	Fort	NC	Modérée	Modérée	NC	NC	NC	NC	NC
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Faible	Fort	Fort	Fort	NC	Modérée	Modérée	NC	NC	NC	NC	NC
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Faible	Fort	Fort	Fort	NC	Modérée	Modérée	NC	Faible	Faible	NC	Faible
	Association à <i>L. byssoides</i>	Modérée	Variable	Variable	Variable	NC	Fort	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Variable	Fort	Fort	Fort	NC	Variable	Modérée	Modérée	Variable	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Faible	Fort	Fort	Fort	NC	Modérée	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Faible	Fort	Fort	Fort	NC	Modérée	Faible	NC	Variable	Variable	Variable	Faible
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Modérée	Fort	Fort	Fort	NC	Variable	Faible	Variable	Modérée	Fort	Modérée	Faible

Tableau 35 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la conchyliculture au sol. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la conchyliculture au sol		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Apports de déchets	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées	Perturbation des espèces due à la présence humaine
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	C1, C2 et C5	Déchets solides (P4)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)									
Code N2000	Intitulé de l'espèce								
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	NC	NC	RIP	RIP	NC	NC	NC	NC
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	RIE	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	RIE	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
Espèces d'intérêt communautaire (DO)									
Groupes d'oiseaux									
Oiseaux herbivores		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
Échassiers		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		NC	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	NC	NC



III.H. CONCHYLICULTURE EN LAGUNES MEDITERRANEENNES

H.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

La conchyliculture en lagune méditerranéenne est une forme typique d'élevage surélevé, dont la spécificité consiste à pratiquer l'élevage d'huîtres et de moules en suspension et en immersion permanente dans l'eau. La production annuelle sur les côtes méditerranéennes françaises est estimée à 7600 tonnes d'huîtres et 30000 tonnes de moules¹⁴³, ces dernières n'étant pas exclusivement produites dans les lagunes (chiffres 2011-2012).

Des structures métalliques supportent des perches auxquelles sont suspendues des cordes de nylon. Les huîtres, issues de naissain naturel ou d'écloserie, sont collées sur les cordes avec du ciment, par la valve creuse et par groupe de 3 ou 4, à intervalles réguliers. La durée d'élevage varie de 10 à 14 mois. Cette technique des huîtres collées est la plus répandue. Néanmoins, les huîtres peuvent aussi être issues de naissain fixé sur une valve de coquille d'huître. Ces valves sont alors insérées dans les torons des cordes suspendues aux tables d'élevage, c'est la technique en pignes. Le naissain peut enfin être aussi fixé sur des tubes de plastique, eux-mêmes suspendus aux tables pendant 18 mois. Ensuite, elles sont alors détachées, collées et mises en élevage pendant 6 mois. Pour les moules, la technique culturale est sensiblement la même que celle des huîtres mis à part que les moules sont mises en filets tubulaires longs de 4 à 6 mètres et suspendus aux perches des tables de production. L'élevage dure 12 à 14 mois.

Les principales zones d'élevages¹⁴⁴ sont l'étang de Salses-Leucate (200 t de moules et 600 à 800 t d'huîtres), la lagune de Thau (3000 t de moules et 12000 t d'huîtres) et les étangs corses de Diana et d'Urbino (600 t de moules et 150 t d'huîtres).

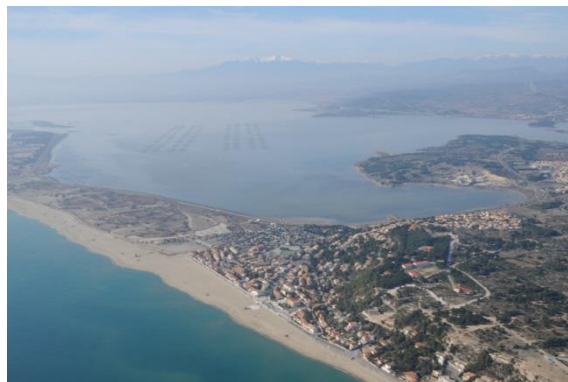


Figure 52 : vue aérienne sur l'étang de Salses-Leucate avec ses structures d'élevages conchylicoles. Commune de Leucate. Parc naturel marin du Golfe du Lyon / Site Natura 2000 complexe lagunaire de Salses-Leucate (photo : R. Dupuy de la Grandrive).

Dans le cas des lagunes méditerranéennes, compte tenu du manque de brassage vertical des eaux en été par l'absence de vent¹⁴⁵ engendrant une augmentation de la température (Souchu *et al.* 1998), l'eutrophisation relative aux apports de nutriments (agriculture, érosion des sols, élevages conchylicoles) (*e.g.* Gilbert *et al.* 1997; Chapelle *et al.* 2000; Mesnage *et al.* 2007) peut atteindre un niveau paroxysmique sous forme de crises de dystrophie appelées aussi « malaïgues ». Ce phénomène se traduit par la mort des organismes

¹⁴³ <http://www.cnc-france.com/La-Production-francaise.aspx>

¹⁴⁴ <http://www.crc-mediterranee.com/page/zones-de-production>

¹⁴⁵ Vent qui contrôle l'hydrodynamisme et indirectement la biomasse de phytoplancton (Millet & Cecchi 1992).

supérieurs à cause d'une anoxie totale du milieu suite à la décomposition de la matière organique formée suite à l'enrichissement des eaux (algues). C'est une problématique majeure pour la pérennité des élevages conchylicoles dans ces lagunes.

Les caractéristiques principales de l'élevage à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Elevage extensif mais se concentrant en lagune, milieu semi fermé très sensible à l'eutrophisation ;
- Elevage de coquillages bivalves filtreurs ne nécessitant aucun intrant ;
- Elevages consommateurs d'espace dans la colonne d'eau avec influence possible sur l'hydrodynamisme local et sur le substrat sous-jacent (enrichissement en matière organique, ancrage, etc.) ;
- Elevage situé en milieu lagunaire, zone importante d'alimentation et de nidification pour de nombreuses espèces d'oiseaux.

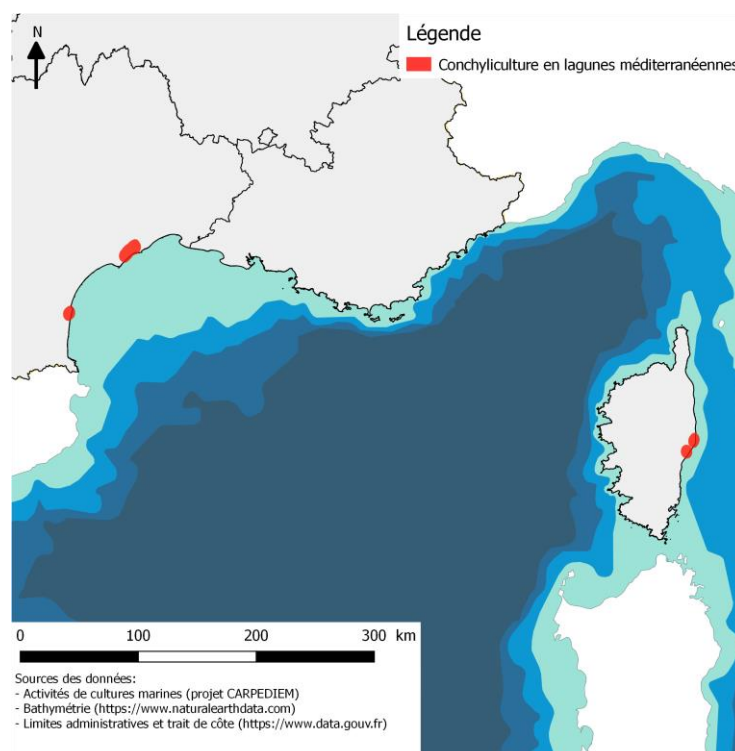


Figure 53 : répartition des élevages conchylicoles en lagunes méditerranéennes en France métropolitaine (données issues du projet CARPE DIEM³⁰). Cette carte est donnée à titre indicatif et n'est pas exhaustive concernant l'ensemble des concessions de cultures marines à l'échelle nationale.

H.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

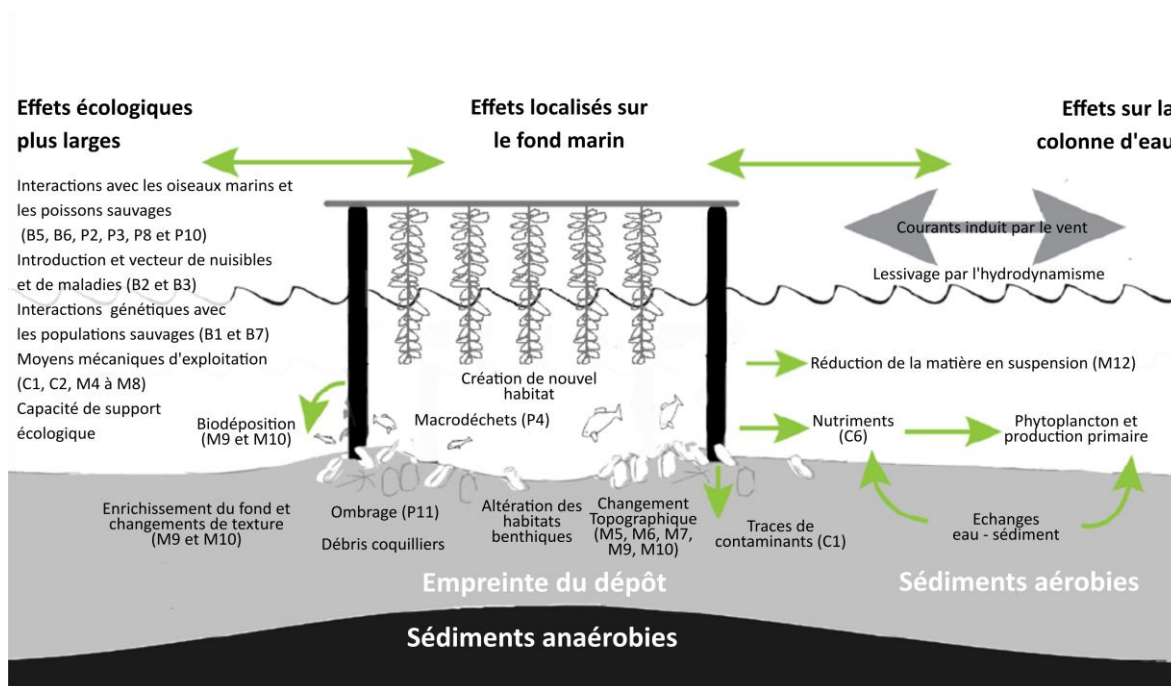


Figure 54 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de la conchyliculture en lagunes méditerranéennes.

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Les pressions potentielles relatives à ce type d'interactions vont concerner le « Dépôt faible à important de matériel (M9 et M10) » et les modifications « De la charge en particules (M12) », « Des apports en nutriments (C6) » et « Des apports en matériel organique (C7) » (Chapelle *et al.* 2000; Mesnage *et al.* 2007).

Pour les modifications des concentrations en particules, nutriments et matériel organique celles-ci peuvent augmenter à cause des rejets provenant des organismes élevés (fèces ; pseudo-fèces, urée, coquilles) mais être aussi réduites par la filtration des bivalves (cf. II.C.1.a). Ces rejets au même titre que les organismes se développant sur les structures participent à la création d'un « effet éponge » pour d'autres organismes marins (Díaz-López *et al.* 2005).

Cette augmentation de la matière organique dans les sédiments peut engendrer une « Désoxygénation (C8) » du substrat suite à la consommation d'oxygène par les bactéries et la faune benthique qui la dégradent (Gilbert *et al.* 1997). Ce processus conduit à une modification des conditions physico-chimiques et des communautés (figure 6, tableau 11) susceptible d'amener à un « Changement d'habitat (M2) ».

Compte tenu de l'hydrodynamisme restreint des milieux lagunaires, ces pressions potentielles vont influencer prioritairement les habitats benthiques présents sous les élevages (1150-2 Lagunes méditerranéennes) mais peuvent néanmoins, en fonction de l'intensité des pressions diffuses, avoir une influence sur les habitats adjacents (1120-1 Herbiers à Posidonies, 1130-2 Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes et 1160-3 Sables vaseux de mode calme). Les habitats oligotrophes et/ou présentant un hydrodynamisme modérée y sont plus sensibles.

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

A terre, les interactions relatives aux infrastructures concernent les voies d'accès, les cales de mise à l'eau et les bâtiments. Les pressions sont limitées à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux et intertidaux méditerranéens (1140-7, 8, 9 et 10 ; 1170-10 et 11). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.). L'entretien ponctuel des fonds marins des lagunes engendre une remise en suspension de matière sédimentaire riche en matière organique et augmentation temporaire de la turbidité (pressions M12, P11, C6 et 7). Le coralligène (1170-14) potentiellement présent à la sortie peut donc être affecté par ces opérations, via les échanges lagune/mer.

Dans les étangs et lagunes, les filets tubulaires, les cordes et les pieds des tables peuvent entraîner une réduction de la vitesse des courants comme c'est le cas pour les filières en mer (Grant & Bacher 2001; O'Donncha *et al.* 2013), ce qui peut augmenter la sédimentation à proximité des élevages et le risque de « Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin » (M2).

Aussi, en fonction du site considéré, les tables et les autres infrastructures d'exploitation peuvent potentiellement réduire l'espace d'alimentation ou de repos disponible pour les oiseaux des groupes « Echassiers », « Marins de surface » et « Plongeurs pélagiques » qui vivent ou hivernent sur ces secteurs¹⁴⁶ (e.g. RIVAGE 2011b, a; Syndicat mixte du bassin de Thau 2012).

Cependant, les tables portant les perches sont en mesure de générer des effets bénéfiques puisqu'elles peuvent constituer des abris et des récifs artificiels fournissant un support de fixation, une protection et/ou une source de nourriture pour la faune et la flore (cf. II.C.2.c) (pour une revue Callier *et al.* (2018)). Cet aspect positif peut aussi avoir des effets antagonistes lors du nettoyage des structures qui peut alors « libérer » des individus qui vont se disperser et coloniser d'autres milieux comme c'est le cas pour les cultures d'algues en Chine (Keesing *et al.* 2011; Jin *et al.* 2018).

Les macrodéchets (filets de protection autour des tables et autour des boudins de moules) peuvent potentiellement affecter la tortue caouanne (1224) et les oiseaux « Plongeurs pélagiques » par ingestion (« Déchets solides (P4) ») (e.g. Derraik 2002; Codina-García *et al.* 2013; Tanaka *et al.* 2013). Les autres espèces présentent un risque d'interaction potentiel avec les produits de la dégradation des plastiques (cf. II.C.2.b).

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) »¹⁴⁷ et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». Les oiseaux « Echassiers », « Marins de surface » et les oiseaux « Plongeurs pélagiques » peuvent être exposés aux trois pressions relatives au dérangement (P3, 8 et 10).

¹⁴⁶ Sterne naine / caugek, grèbe esclavon, plongeon arctique, gravelot à collier interrompu, échasse blanche, avocette élégante, mouette mélanocéphale, etc.

¹⁴⁷ Dans le cas des activités de cultures marines ne nécessitant pas une exploitation à marée basse, cette pression peut être considérée comme nulle sauf dans certains cas précis (e.g. nécessité de fournir une production de première fraîcheur aux acheteurs en début de journée).

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

Les daurades sont les principales prédatrices de la conchyliculture en lagunes méditerranéennes (com. pers. CRCM). Afin de lutter contre cette déprédation, des filets de pêche peuvent être tendus autour des tables mais se pose alors le problème de leur installation (flotteurs, poids) et surtout de leur nettoyage, les organismes sessiles se développant très rapidement dans les lagunes. Il est possible que ces filets puissent engendrer une pression de « Mort ou blessure par collision/interaction (P2) » si des espèces vagiles s'y enchevêtrent.

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par la conchyliculture en lagunes méditerranéennes se limitent à ceux issus des navires d'exploitation et de leurs engins de levage (e.g. gasoil, huile, antifouling). Ils peuvent concerner trois types de pressions : « Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) » ; « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (métaux lourds, hydrocarbures, etc.) et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par un entretien régulier.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

Compte tenu du caractère semi-fermé des lagunes méditerranéennes, un risque lié à l'« Introduction de pathogènes (B3) » est possible et cette transmission serait sans doute d'abord dommageable pour les exploitations elles-mêmes ainsi que pour les récifs biogéniques formés par des bivalves (e.g. faciès à Mytilidae des biocénoses lagunaires euryhalines et eurythermes ; cf. Michez *et al.* 2014). Les pratiques culturelles notamment les transferts de naissain entre les différents bassins de production sont des facteurs de risque de transmission de nombreux organismes pathogènes (Brenner *et al.* 2014) : bactéries, virus, protozoaires, trématodes, etc. (cf. tableau 16).

Les élevages sont aussi en mesure d'héberger des agents pathogènes auxquels ils ne sont pas vulnérables mais qui peuvent présenter un large spectre d'hôtes potentiels (cf. II.C.7). De ce fait, le risque ne peut être entièrement écarté.

Concernant les espèces Natura 2000, appartenant toutes à l'embranchement des vertébrés, il est moins probable qu'un agent pathogène des bivalves en élevage puisse se transmettre directement. Cependant, compte tenu de la diversité des agents pathogènes, ces transmissions sont bien réelles comme dans le cas de certaines relations hôtes-parasite (e.g. Laffargue *et al.* 2004; Durieux 2007). Par exemple, les métacercaires de *Proserhynchus* spp.¹⁴⁸, qui peuvent causer des maladies chez les moules (castration et mortalité), ont comme second hôte la sole (Laffargue *et al.* 2004).

¹⁴⁸ Odhner, 1905.

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Les pressions relatives à ces interactions concernent le « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) ». La première pression (B1) peut impacter l'ensemble des récifs biogéniques (e.g. récifs de moules) dès lors que l'espèce élevée est génétiquement différentes de la population sauvage mais qu'elles sont interfécondes (hybridation) (cf. II.C.8.a). Dans le cas de la conchyliculture en lagunes méditerranéennes, la seconde pression (B7) n'intervient potentiellement que si l'exploitant fait appel à du naissain issu d'écloserie qui présente de manière prépondérante moins de diversité génétique que du naissain issu de captage naturel (cf. II.C.8.a) (e.g. Appleyard & Ward 2006; Lallias *et al.* 2010; In *et al.* 2016).

Aussi, en fonction des habitats hébergeant les cultures, les compétitions trophiques qui peuvent avoir lieu entre les bivalves élevés et les autres filtreurs consommant la même fraction du seston¹⁴⁹ présent dans la colonne d'eau constituent une pression potentielle issue de ces interactions écologiques. De plus, l'augmentation potentielle de la mortalité naturelle des œufs et des larves à cause de l'ingestion par les organismes en élevage demeure une hypothèse probable mais difficile à évaluer (cf. II.C.8.b) (e.g. Gibbs 2004; Keeley *et al.* 2009; Troost *et al.* 2009; Gallardi 2014).

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en conchyliculture en lagunes méditerranéennes est normalement exclu compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Néanmoins, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par le transport de matériel, d'individus, la perte de matériel, etc. (cf. II.C.9) (e.g. Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Ce qui a été largement le cas dans les lagunes méditerranéennes, l'étang de Thau pouvant être considéré comme un hot spot de la biodiversité des macrophytes du nord-ouest pacifique¹⁵⁰ (Verlaque 2001; Verlaque *et al.* 2007). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

¹⁴⁹ Le seston inclut de la matière organique (bactérie, phytoplancton, détritiques organiques, micro/mésozooplancton) et inorganique (minéraux, limons, sables).

¹⁵⁰ 58 espèces exotiques de macrophytes identifiées provenant pour la majeure partie du Pacifique nord-ouest (Boudouresque *et al.* 2011).

Tableau 36 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à la conchyliculture en lagunes méditerranéennes. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. «¹» vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la conchyliculture en lagunes méditerranéennes		Perturbations physiques des fonds marins					Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques		
		Abrasion superficielle (M5) [§]	Abrasion peu profonde (M6) [§]	Abrasion profonde (M7) [§]	Remaniement (M8) [§]	Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine												
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Variable	Modérée	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Fort	Fort	AP ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1120	Herbiers à <i>Posidonies</i> (<i>Posidonium oceanicae</i>)*												
1120-1	Herbiers à <i>Posidonies</i> *	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Variable	Modérée	Variable	Variable	Variable
1130	Estuaires												
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse												
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans lisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Fort	NC	NC	NC	NC	NC
1140-8	Lisses à dessiccation lent (Méditerranée)	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Fort					
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Faible
1150	Lagunes côtières*												
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Fort	Modérée	Modérée
1160	Grandes criques et baies peu profondes												
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible

Synthèse de la vulnérabilité ^s et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la conchyliculture en lagunes méditerranéennes (suite)		Perturbations physiques des fonds marins						Modification des conditions hydrologiques		Apports d'autres formes d'énergie	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	
		Abrasion superficielle (M5) ^s	Abrasion peu profonde (M6) ^s	Abrasion profonde (M7) ^s	Remaniement (M8) ^s	Dépôt faible de matériel (M9) ^s	Dépôt important de matériel (M10) ^s	Modification des conditions hydrodynamiques (M11) ^s	Modification de la charge en particules (M12) ^s	Diminution de la lumière naturelle (P11) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Désoxygénation (C8) [#]
1170	Récifs												
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	NC	Modérée	Modérée	Fort	NC	NC	NC	NC	NC
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	NC	Modérée	Modérée	Fort	NC	NC	NC		NC
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	NC	Modérée	Modérée	Fort	Modérée	Faible	Faible		Faible
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée). Association à <i>L. byssoides</i>	Variable	Variable	Variable	NC	Fort	Modérée	Fort	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Modérée	NC	Variable	Modérée	Fort	Fort	Variable	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Modérée	NC	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Variable	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Modérée	NC	Modérée	Modérée	Faible	NC	Variable	Variable	Variable	Faible
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Modérée	Modérée	Modérée	NC	Variable	Modérée	Modérée	Variable	Modérée	Fort	Modérée	Faible

Tableau 37 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la conchyliculture en lagunes méditerranéennes. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la conchyliculture en lagunes méditerranéennes		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Apports de déchets	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées	Perturbation des espèces due à la présence humaine	
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	C1, C2 et C5	Déchets solides (P4)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Obstacle au mouvement (P1)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)										
Code N2000	Intitulé de l'espèce									
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	RIN	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	NC	NC	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	RIE	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	RIN	RIN	RIP
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	RIP	RIN	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	RIN	RIN
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	NC	NC	RIP	RIP	NC	NC	NC	NC	NC
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Espèces d'intérêt communautaire (DO)										
Groupes d'oiseaux										
Oiseaux herbivores		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIE
Échassiers		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIE
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIP	RIN	RIN	RIN	NC	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		NC	NC	RIP	RIP	NC	NC	NC	NC	NC
Oiseaux plongeurs pélagiques		NC	RIE	RIP	RIE	RIN	RIN	RIN	NC	RIE



III.I. AQUACULTURE EN BASSINS (IN)SUBMERSIBLES

I.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

Ce type d'élevage aquacole correspond le plus souvent à un aménagement à plus ou moins grande échelle de zones humides, de fonds de lagunes ou de baies et de marais littoraux (figure 55.b, c et d). Il se rencontre principalement sur la façade Atlantique, en Méditerranée, ces installations restent peu fréquentes. En Atlantique, l'exemple le plus caractéristique est représenté par les claires ostréicoles de Charente maritime (figure 58). Des bassins isolés peuvent se rencontrer hors de ces zones, en bordure littorale, associés à des infrastructures à terre (figure 55.b et d). Les bassins sont construits par déblaiement, endigage (terre ou béton) et mise en place d'infrastructures de contrôle du niveau des eaux (vannes, etc.). Le fond peut être argileux ou bétonné. Le renouvellement des eaux dans ces systèmes est généralement faible et s'effectue grâce aux marées ou à des systèmes de pompage. Leur fonction peut être le grossissement, l'affinage, la purification et le stockage (e.g. tableau 38). C'est l'élevage et l'affinage des huîtres en claires ainsi que le retrempage et le stockage de bivalves qui représente l'immense majorité de ces installations. En effet, à titre marginal, de l'alevinage et de la pénéculture¹⁵¹ existent.



Figure 55 : (a) bassins d'installation ostréicole. Commune de Marennes. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : L. Mignaux / Terra). (b) bassin de l'écloserie du Tinduff. Commune de Plougastel-Daoulas. Site Natura 2000 Rade de Brest, estuaire de l'Aulne (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité). (c) paysage de claires ostréicoles. Commune de Bourcefranc-le-Chapus. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : L. Mignaux / Terra). (d) bâtiment ostréicole avec bassins de stockage. Site Natura 2000 Ria d'Étel (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité).

¹⁵¹ Elevage de crevettes impériales (*Penaeus japonicus*, Spence Bate, 1888).

Les caractéristiques principales de cet élevage en bassins (in)submersibles à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Milieux généralement marécageux pour lesquels l'intervention de l'homme est indispensable au maintien d'un bon fonctionnement hydraulique et écologique ;
- Elevage extensif ou semi-extensif, le plus souvent de coquillages bivalves filtreurs ou crevettes ne nécessitant aucun intrant ou des apports limités ;
- Systèmes semi-fermés, communication avec le milieu extérieur limitée et contrôlable ;
- Elevage situé en zones humides qui sont des milieux essentiels pour l'alimentation et la nidification pour de nombreuses espèces d'oiseaux.

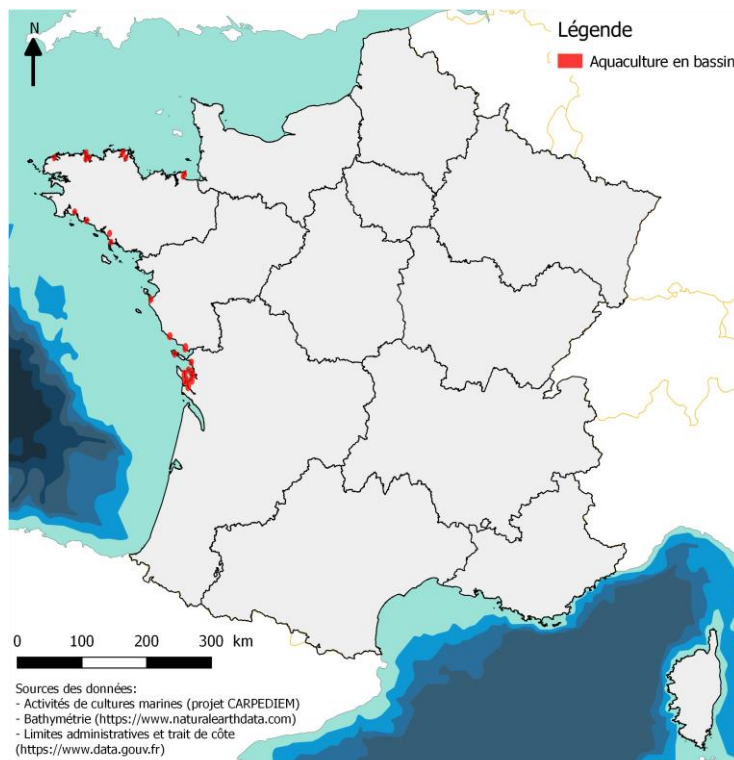
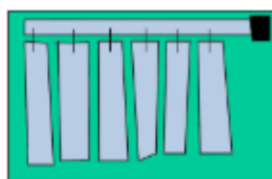


Tableau 38 : principaux types de bassins à usage aquacole (CREAA, 2008 dans Lepareur *et al.* 2013).

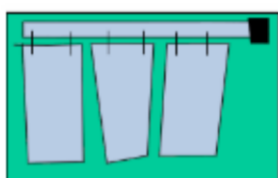
	Typologie	Usage	Présence de digues	Structures de bassin et type d'organisation	Ouvrages d'alimentation. Marais, bassin
1	Claire de sartière	Aquacole (ostréicole) friche	Non endigué	Irrégulière Pas d'organisation	Dérases, buse avec coude (claire)
2	Marais ostréicole en friche	Friche	Endigué	Parallépipédique Composée	<ul style="list-style-type: none"> • Prise d'eau maçonnée (marais) • Batardeau, buse avec coude (claire)
3	Champs de claire et claire de bassin	Aquacole (ostréicole, vénéricole, pénécicole)	Endigué	Parallépipédique Composée	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuellement prise d'eau maçonnée (marais) • Prise d'eau, buse, pompe (bassin)
4	Claire profonde	Aquacole (ostréicole, pénécicole)	Endigué	Parallépipédique	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuellement prise d'eau maçonnée (marée) • Prise d'eau, buse, pompe (bassin)
5	Grande claire Réserve	Aquacole (ostréicole, vénéricole, pénécicole)	Endigué	Parallépipédique Composée	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuellement prise d'eau maçonnée (marée) • Prise d'eau, buse, pompe (bassin)
6	Nurserie	Aquacole (conchylicole)	Endigué	Diverse avec communication interbassin	Prise d'eau ou buse (pompe de recirculation)
7	Fossés à poisson	Piscicole Loisir	Endigué	Plat (parallépipède) associé à un fossé de forme diverse (largeur +/- 5m)	Prise d'eau maçonnée et tube de vidange



Type 1: claire de sartière



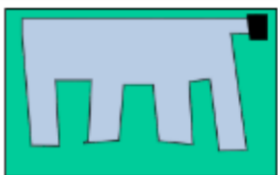
Type 2 et 3: marais ostréicole en friche ou champs de claires et claire bassin



Type 2 et 3: marais ostréicole en friche ou champs de claires et claire bassin



Type 4 et 5: claire profonde ou grande claire / réserve d'eau



Type 5: grande claire / réserve d'eau



Type 5: nurserie



Type 7: fossés à poissons

Figure 57 : représentation schématique des différents types de bassins à usage aquacole (CREAA, 2008 dans Lepareur *et al.* 2013).

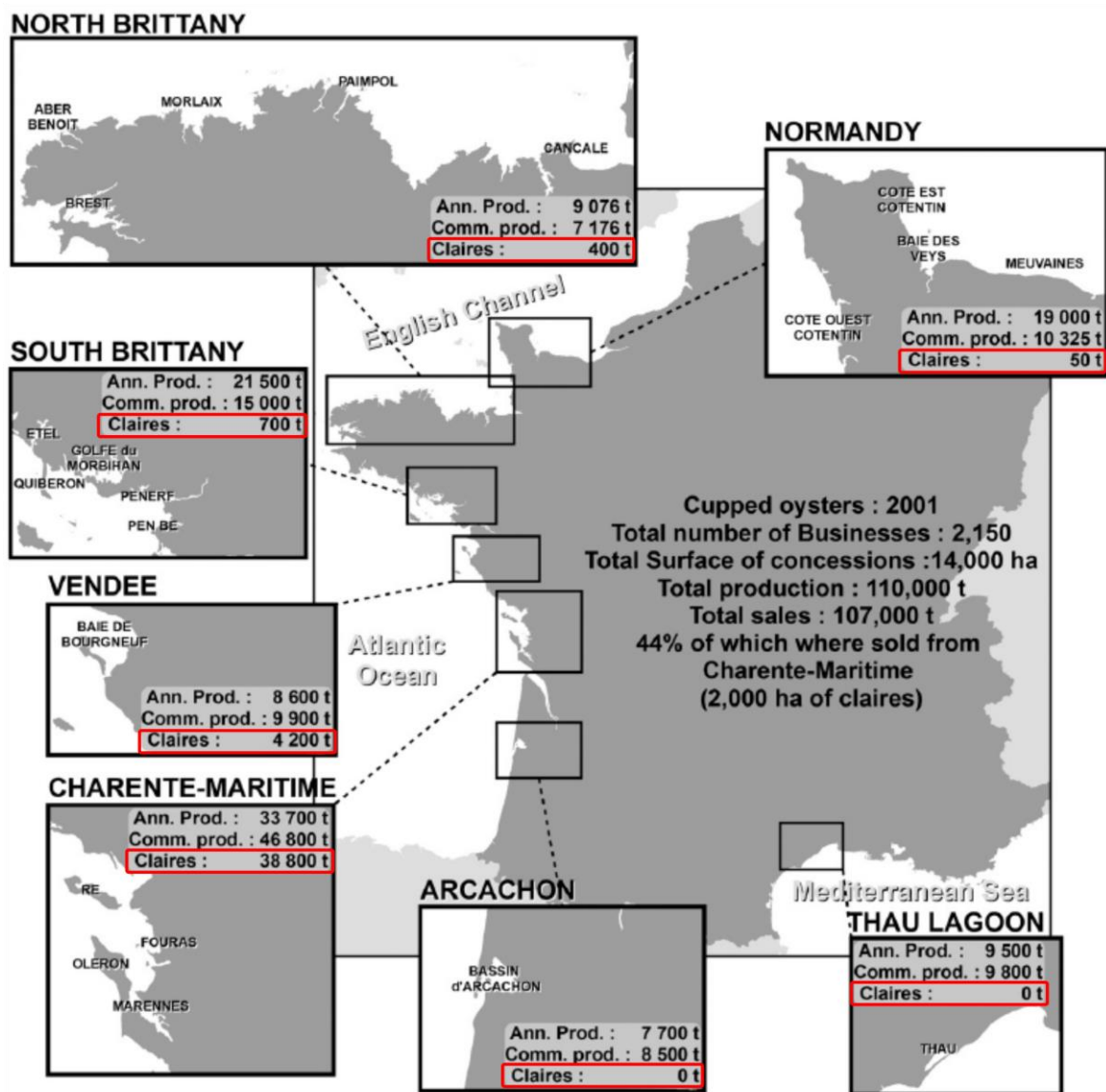


Figure 58 : principales caractéristiques des zones d'élevage d'huitres françaises dont les quantités d'huitres affinées dans les claires (données du recensement national de 2001). Ann. Prod., production annuelle ; Comm. Prod., production commerciale (quantité commercialisée) (Buestel *et al.* 2009).

I.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

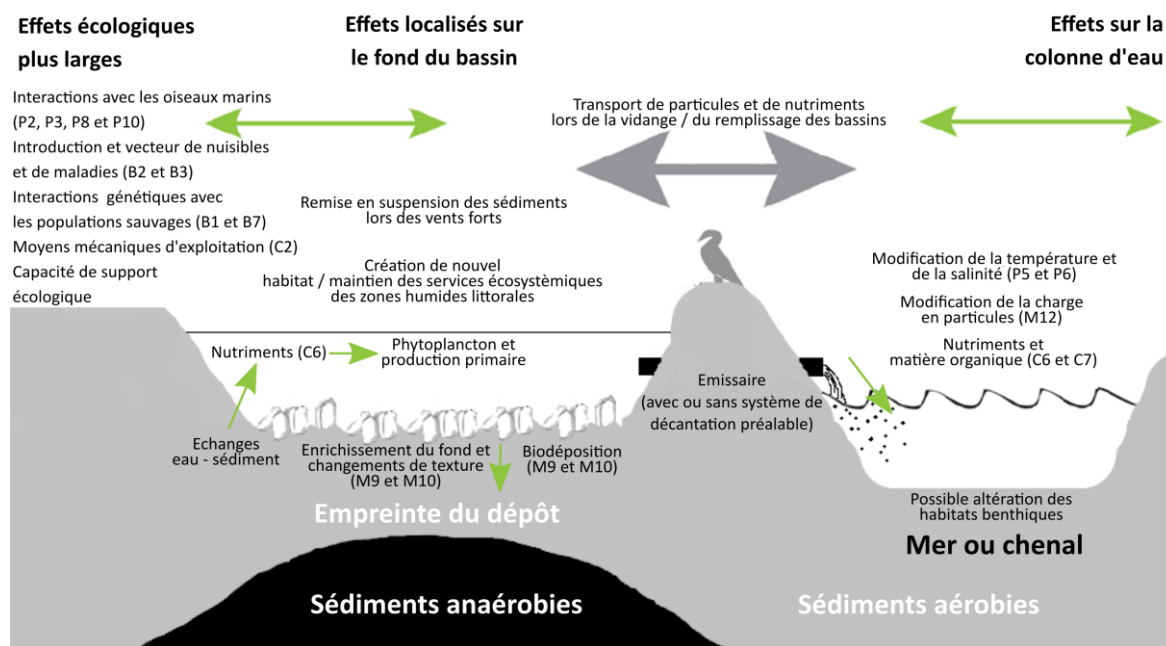


Figure 59 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de l'aquaculture extensive en bassins (in)submersibles.

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Les pressions potentielles relatives à ce type d'interactions vont concerner le « Dépôt faible à important de matériel (M9 et M10) » et les modifications « De la charge en particules (M12) », « Des apports en nutriments (C6) » et « Des apports en matériel organique (C7) » (Sornin *et al.* 1990).

Pour les modifications des concentrations en particules, nutriments et matériel organique celles-ci peuvent augmenter à cause des rejets provenant des organismes élevés (fèces ; pseudo-fèces, urée, coquilles) mais être aussi réduites par la filtration des bivalves (cf. II.C.1.a).

Cette augmentation de la matière organique dans les sédiments peut engendrer une « Désoxygénation (C8) » du substrat suite à la consommation d'oxygène par les bactéries et la faune benthique qui la dégradent (Ayub *et al.* 1993). Ce processus conduit à une modification des conditions physico-chimiques et des communautés (figure 6, tableau 11), cette pression potentielle se limitant au substrat des bassins.

Dans ce type d'élevage, les éléments les plus denses vont sédimenter et ne pourront générer une pression potentielle sur le milieu marin que s'il y a une remise en suspension des particules comme c'est le cas lors du curage des bassins (Ayub *et al.* 1993) ou par vents forts (Soletchnik *et al.* 1995). En fonction du système d'alimentation et de rejet en et l'emplacement des émissaires, ces pressions potentielles peuvent influencer les habitats intertidaux et subtidaux des façades atlantique, manche, mer du Nord et méditerranéens (1110-1, 3, 4, 6 ; 1120-1 ; 1140-3, 5, 6, 9 et 10¹⁵²; 1150-1 et 2 ; 1170-2, 3, 4, 6, 7, 11, 12, 13 et 14) ainsi que certains habitats côtiers comme les estuaires (1130) et les grandes criques

¹⁵² le 1140-4 est exclu compte tenu de du caractère très mobile des grains de sable : « habitat ne pouvant être détérioré » (Bensettiti *et al.* 2004).

et baies peu profondes (1160). Les habitats oligotrophes et/ou présentant un hydrodynamisme modérée y sont plus sensibles. Une attention particulière doit être portée aux habitats sensibles qu'ils soient directement exposés au « Dépôt de faible à important de matériel (M9 et 10) » ou adjacents à l'habitat récepteur, à savoir les herbiers de *Zostera marina* (1110-1) et de posidonies (1120), la roche infralittorale à algues photophiles (1170-13), le coralligène (1170-14) la roche médiolittorale inférieure à association à *L. byssoïdes* et les bancs de maërl (1110-3, 1160-2 et 1110-7) (tableau 13), ces trois derniers y étant particulièrement sensibles. Il faut aussi noter que les apports par les rejets de nutriments (aliments, urée et fèces) peuvent avoir un effet positif sur le réseau trophique (cf. II.C.2.c), c'est « l'effet éponge » décrit par Díaz-López *et al.* (2005).

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

Les interactions relatives aux infrastructures concernent la construction des voies d'accès, des émissaires, des digues et des bâtiments ainsi que le creusement des bassins et l'entretien de leurs fonds. Les pressions vont être les plus fortes à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1140-7, 1140-8, 1170-1 et 1170-10) et intertidaux des façades atlantique, manche, mer du Nord et méditerranéens (1140-3, 5, 6, 9 et 10; 1150-1 et 2 ; 1170-2, 3, 4, 11 et 12). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt de matériel (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.).

En fonctionnement, les pressions relatives à l'entretien du fond des bassins concernent l'ensemble des pressions relatives à l'augmentation de la charge en éléments dans l'eau et à leur sédimentation (M2, 9, 10 et 12 ; C6 et 7). Au-delà des pressions précitées, les rejets des émissaires peuvent aussi engendrer une « Modification de la température (P5) » et une « Modification de la salinité (P6) ». En effet, les données de températures et de salinité enregistrées dans des claires charentaises en 1998 (Dupuy *et al.* 2007) montre des variations respectives de 2 à 25 °c (moyenne annuelle de 15,2 °c) et de 25,4 à 38,2 ‰ (moyenne annuelle de 31 ‰) alors que les variations enregistrées dans le golfe de Gascogne dans les eaux côtières de surface (5 m) sont de l'ordre de 8,5 à 19 °c et de 33 à 35,5 ‰ (Vendermeirsch *et al.* 2012).

En fonction du type de bassin et du site d'implantation, les bassins peuvent réduire ou augmenter l'espace d'alimentation et/ou de repos disponible pour les oiseaux « Echassiers », « Marins de surface » et les « Plongeurs benthiques ». En effet, les infrastructures construites, leur mise en fonction et leur entretien régulier permettent de maintenir en bon état le réseau hydrologique de ces milieux de marais et lagunes anthropisés, et contribuer ainsi au maintien de leurs fonctionnalités écologiques et d'une importante biodiversité.

Les macrodéchets issus de ces exploitations à terre sont normalement collectés, elles ne représentent donc pas une pression potentielle sur les écosystèmes marins.

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) »¹⁵³ et le

¹⁵³ Dans le cas des activités de cultures marines ne nécessitant pas une exploitation à marée basse, cette pression peut être considérée comme nulle sauf dans certains cas précis (e.g. nécessité de fournir une production de première fraîcheur aux acheteurs en début de journée).

« Dérangement visuel d'espèces (P3) ». Compte tenu de l'implantation de ces exploitations, la loutre (1355) et les espèces d'oiseaux composant les groupes « Herbivores », « Echassiers », « Marins de surface » et « Plongeurs benthiques » peuvent être exposées à ces trois pressions relatives au dérangement.

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

En fonction des espèces élevées, les prédateurs potentiels dans les bassins peuvent être la loutre (1355), certains oiseaux comme le grand cormoran du groupe des « Plongeurs pélagiques » (e.g. Freitas *et al.* 2007; Kloskowski 2011). De ce fait, les solutions de protection vont essentiellement être constituées de filets contre la déprédation qui, si les mailles sont de petites tailles et les filets colorés et suffisamment tendus et/ou rigides, ne sont que peu dommageables aux populations sauvages même si des cas d'enchevêtrements existent (Nemtsov & Olsvig-Whittaker 2003). Cette pression est relative à la « Mort ou blessure par collision/interaction (P2) ».

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par l'élevage en claires se limitent à ceux issus des tracteurs (e.g. gasoil, huile). Ils peuvent concerner deux types de pressions : « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par un entretien régulier.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

Compte tenu de l'existence de transfert de naissain entre les différentes régions ostréicoles (e.g. du golfe de Gascogne vers l'Atlantique nord et la Manche), le risque relatif à l'« Introduction de pathogènes (B3) » est réel et cette transmission serait d'abord potentiellement dommageable aux exploitations et aux récifs naturelles d'huitres (cf. Michez *et al.* 2019).

Les élevages sont aussi en mesure d'héberger des agents pathogènes auxquels ils ne sont pas vulnérables mais qui peuvent présenter un large spectre d'hôtes potentiels (cf. II.C.7). De ce fait, le risque ne peut être entièrement écarté.

Concernant les espèces Natura 2000, appartenant toutes à l'embranchement des vertébrés, il est moins probable qu'un agent pathogène des bivalves ou de crevettes en élevage puisse se transmettre directement. Cependant, compte tenu de la diversité des agents pathogènes, ces transmissions sont bien réelles comme dans le cas de certaines relations hôtes-parasite (e.g. Laffargue *et al.* 2004; Durieux 2007).

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Les pressions relatives à ces interactions concernent le « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) ». La première pression (B1) peut impacter les récifs biogéniques

d'huîtres dès lors que l'espèce élevée est génétiquement différentes de la population sauvage mais qu'elles sont interfécondes (hybridation) (cf. II.C.8.a). Dans le cas des élevages en claires, la seconde pression (B7) n'intervient potentiellement que si l'exploitant fait appel à du naissain issu d'écloserie qui présente moins de diversité génétique que du naissain issu de captage naturel.

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en aquaculture en bassins submersibles est normalement exclu compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Il faut cependant noter que la majorité de l'ostréiculture française repose sur une espèce non-indigène, *Magallana* (= *Crassostrea*) *gigas*, qui est devenue invasive à travers le monde (figure 25) (Molnar *et al.* 2008). Néanmoins, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par le transport de matériel, d'individus, la perte de matériel, etc. (cf. II.C.9) (e.g. Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

Tableau 39 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à l'aquaculture en bassins (in)submersibles. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. «1» vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'aquaculture en bassins (in)submersibles		Perturbations physiques des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports d'eau – sources ponctuelles
		Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Modification de la température (P5) [#]	Modification de la salinité (P6) [#]
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine							
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	Modérée	Modérée	Faible	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹	Faible ¹
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Fort	Modérée	Modérée	NS ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Modérée ¹
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Variable	Modérée	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Faible	Modérée	Modérée	NS ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Modérée ¹
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1120	Herbiers à <i>Posidonies</i> (<i>Posidonium oceanicae</i>)*							
1120-1	Herbiers à <i>Posidonies</i> *	Faible	Modérée	Variable	Variable	Variable	Faible	Modérée
1130	Estuaires							
1130-1	Slikke en mer à marées	Variable	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse							
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	NC	NC	Faible	Faible
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	Faible	Faible				Faible	Faible
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	Modérée	Modérée	Faible	Modérée ¹	Faible ¹	NS ¹	Faible ¹
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'aquaculture en bassins de (in)submersibles (suite)		Perturbations physiques des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques	Apports de nutriments	Apports de matières organiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports d'eau – sources ponctuelles
		Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7) [#]	Modification de la température (P5) [#]	Modification de la salinité (P6) [#]
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse (suite)							
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	Faible	Modérée	NC	NC	NC	Faible	Faible
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	Modérée	Modérée	NC	NC	NC	Faible	Faible
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1150	Lagunes côtières*							
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible	NS ¹	NS ¹	Faible ¹	Faible ¹
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Faible	Faible	Faible	Fort	Modérée	Faible	Faible
1160	Grandes criques et baies peu profondes							
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Fort	Modérée	Faible	NS ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Modérée ¹
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1170	Récifs							
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	Variable	Modérée	NC	NC	NC	Faible	Faible
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Variable	Variable	Faible	NS ¹	NS ¹	Faible ¹	Faible ¹
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Faible	Faible
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Modérée	Modérée	NC	NC	NC	Faible	Faible
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	NC	NC	NC	Faible	Faible
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	NC	Faible	NC	Faible	Faible
	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée). Association à <i>L. byssoïdes</i>	Fort	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Variable	Modérée	Modérée	Variable	Variable	Faible	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Faible	Variable	Variable	Faible	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	NC	Variable	Variable	Faible	Faible
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Variable	Modérée	Variable	Fort	Modérée	Modérée	Faible

Tableau 40 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à l'aquaculture en bassins (in)submersibles. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à l'aquaculture en bassins (in)submersibles		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces	Perturbation des espèces due à la présence humaine
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	C1, C2 et C5	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)								
Code N2000	Intitulé de l'espèce							
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	NC	NC	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	NC	NC	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	RIP	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP	RIP
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	NC	NC	RIP	RIN	RIN	NC	NC
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	NC	NC	RIP	RIN	RIN	NC	NC
Espèces d'intérêt communautaire (DO)								
Groupes d'oiseaux								
Oiseaux herbivores		RIE	RIE	RIP	RIN	RIN	NC	RIE
Échassiers		RIE	RIE	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	RIN	RIN	RIN	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		NC	RIE	RIP	RIN	RIN	RIE	NC



III.J. PISCICULTURE EN BASSINS (CIRCUIT OUVERT OU FERME)

J.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

La pisciculture marine demeure peu développée en France métropolitaine en comparaison d'autres pays européens avec seulement 35 entreprises (FranceAgriMer 2018). En 2015, la production était de 5100 tonnes toutes espèces confondues pour une valeur de 41,4 millions euros (pisciculture marine en cages et en bassins). Les élevages de bars et de dorades (alevinage et nurserie compris) représentent 73 % du volume et 70 % de la valeur (STECF 2018).

La pisciculture en bassin surélevé à terre s'exerce soit dans des bassins constitués de structures métalliques et plastiques au-dessus du sol, soit dans des bassins de terre creusés dans le sol ou encore dans des bassins en béton enfouis ou non dans le sol (60 % des bassins). Ce système d'élevage est intensif, il est réalisé soit en circuit ouvert, soit en circuit fermé (recirculé). Ce dernier permet de réduire les besoins en eau de 6 à 20, de réduire les surfaces occupées et de faciliter le traitement des effluents en raison des débits moindres (Roque d'Orbcastel 2008).

Ce type d'élevage est utilisé en éclosérie (poissons et mollusques), nurseries, pré-grossissement et grossissement de poissons. Il représente une surface de moins de 10 hectares à l'échelle nationale (MAA 2011). Les écloséries et nurseries très généralement sont réalisées dans des bâtiments fermés. Les espèces principalement élevées sont le bar, la daurade, le turbot, le maigre, le saumon et l'esturgeon (Guyennet & de la Pomélie 2000; MAA 2011; Martinie-Cousty & Prévot-Madère 2017). La production française est reconnue pour la qualité de ses alevins qui sont largement exportés. Les écloséries les plus importantes se situent sur le littoral de la mer du Nord et de l'Atlantique mais quelques entreprises sont aussi localisées en Méditerranée. Les alevins de bars et de daurades sont produits tout le long du littoral français tandis que le maigre est quasiment exclusivement élevé en Méditerranée et les jeunes turbots sur la façade atlantique (MAA 2011). Les circuits fermés équipent presque la totalité des écloséries françaises, le faible taux de renouvellement d'eau permettant une stabilité et un contrôle des paramètres physico-chimiques ($t^{\circ}c$, matière en suspension (MES); substances dissoutes) et une plus faible mortalité des alevins.



Figure 60 : (a) bassins de pisciculture marine sous abris, ferme aquacole d'Aquanord (photo : B. Guichard / Office français de la biodiversité). (b) bassins extérieurs de pisciculture marine, ferme aquacole du Douhet (photo : google earth / © Google Inc.).

Les eaux neuves entrantes dans les bassins en recirculation sont généralement filtrées (filtration mécanique et/ou par décantation) et désinfectées (aux U.V. ou à l'ozone)

(traitement plus répandu pour les circuits fermés). Les systèmes en circuit ouvert peuvent être ou non équipés de systèmes de traitement avant rejet¹⁵⁴. Les systèmes en circuit fermé sont équipés de systèmes de traitement pour les eaux de recirculation (filtration mécanique et biologique¹⁵⁵) et parfois pour les effluents rejetés. Dans tous les cas, l'objectif, outre le maintien d'une bonne qualité de l'eau d'élevage, est d'avoir des concentrations inférieures aux limites maximales de rejets autorisés par les arrêtés préfectoraux d'exploitation (NH₃, azote, phosphore, DBO, matière en suspension, etc.). A ce titre et dans l'objectif de réduire les intrants de matières azotées, l'usage d'aliments extrudés¹⁵⁶, s'est largement répandu avec 85 % des sites en 2007 contre 50 % en 1997 (MAA 2011) et 80 % à l'échelle européenne (ANSES 2010). Aussi, afin d'améliorer l'état de santé des poissons, 88 % des sites à terre utilisent de l'oxygène pur (MAA 2011).

Les caractéristiques majeures de la pisciculture marine en bassins (circuit ouvert ou fermé) à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Système terrestre totalement insubmersible avec des contacts limités et ponctuels avec le milieu marin, fortement dépendant de la qualité de l'eau (pompage) ;
- Système intensif nécessitant des intrants (alimentation, produits pharmaceutiques, etc.) ;
- Caractéristiques du système (ouvert ou fermé/recirculé) et traitements appliqués conditionnant grandement l'influence de ses rejets sur l'environnement ;
- Système confiné et potentiellement contrôlable.

¹⁵⁴ Bassin de décantation, lagunage ou marais construits, filtration sur lit granulaire (e.g. filtre à sables), tamisage (e.g. tambour rotatif) (Laguerre *et al.* n.d.).

¹⁵⁵ Filtres biologiques à lits agités fluidisés, filtres sur supports fixes (mousses, disques, pouzzolane), lagunage ou marais construits (Laguerre *et al.* n.d.), ou encore les bassins à algues (statique ou à haut rendement (Acierno *et al.* 2006)) permettent de réduire les rejets dissous (ammoniac, azote, phosphore, etc.).

¹⁵⁶ Par opposition aux aliments pressés dont l'indice de conversion est plus fort et qui se décomposent plus au contact de l'eau.

J.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

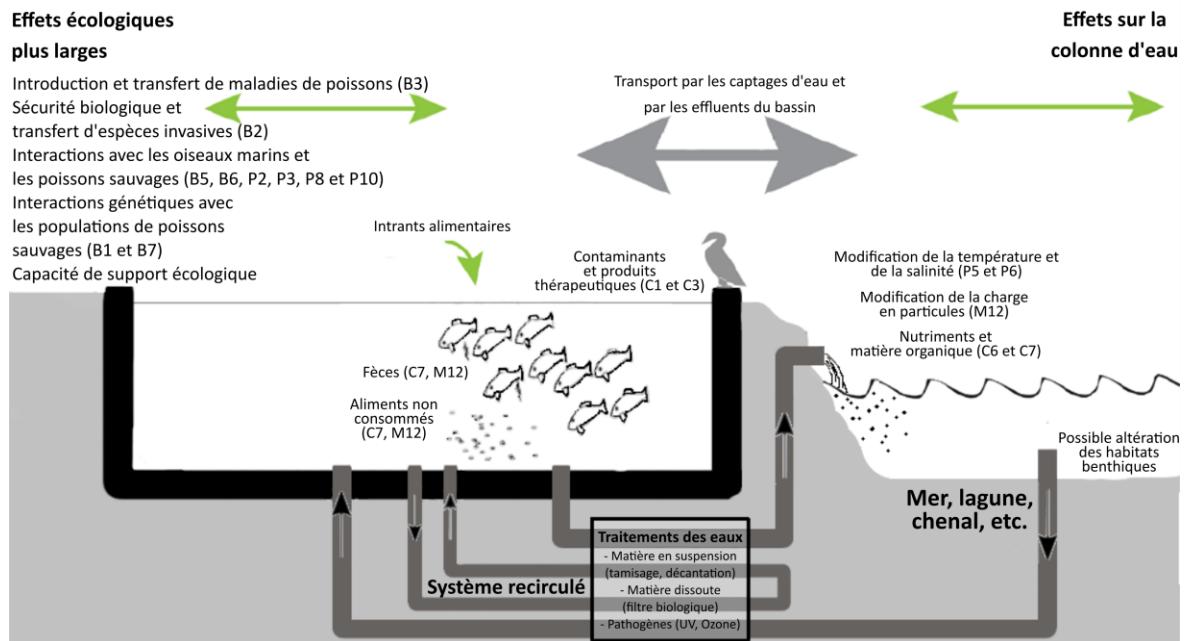


Figure 61 : schéma récapitulatif des impacts potentiels de la pisciculture en bassins à terre.

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Compte tenu des caractéristiques de ces élevages (intrants, fortes densités, haut niveau trophique des espèces élevées), les pressions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments donnés sont un aspect prépondérant de ce type d'élevage (cf. II.C.1). Elles ont trait aux modifications « De la charge en particules (M12) », « Des apports en nutriments (C6) » et « Des apports en matériel organique (C7) »¹⁵⁷. Les pressions exercées sur les habitats marins seront dépendantes des traitements appliqués ou non aux effluents (mécanique et biologique), aux concentrations et aux débits des émissaires.

En fonction de la qualité des effluents et du lieu de rejet (e.g. hydrodynamisme), il peut s'ensuivre un « Dépôt de matériel faible à important sur le fond (M9 et M10) »¹⁵⁸. Cette augmentation de la matière organique dans les sédiments peut engendrer une « Désoxygénation (C8) » du substrat suite à la consommation d'oxygène par les bactéries et la faune benthique qui la dégradent. Ce processus conduit à une modification des conditions physico-chimiques et des communautés (figure 6, tableau 11) susceptible d'amener à un « Changement d'habitat (M2) ».

Ces pressions sont à évaluer localement en fonction des caractéristiques de l'élevage (pratiques d'exploitation : densité d'élevage, espèce, qualité des aliments) et des traitements appliqués aux effluents. En fonction du système d'alimentation et de rejet et de l'emplacement des émissaires, ces pressions potentielles peuvent influencer les habitats intertidaux et subtidaux des façades atlantique, manche, mer du Nord et méditerranéens

¹⁵⁷ Modification des apports en nutriments (C6) ; Modification des apports en matériel organiques (C7) ; Modification de la charge en particules (M12).

¹⁵⁸ Dépôt faible de matériel (M9) ; Dépôt important de matériel (M10).

(1110-1, 3, 4, 6 ; 1120-1 ; 1140-3, 5, 6, 9 et 10¹⁵⁹; 1150-1 et 2 ; 1170-2, 3, 4, 6, 7, 11, 12, 13 et 14) ainsi que certains habitats côtiers comme les estuaires (1130) et les grandes criques et baies peu profondes (1160). Les habitats oligotrophes et/ou présentant un hydrodynamisme modérée y sont plus sensibles. Une attention particulière doit être portée aux habitats sensibles au « Dépôt de matériel (M9 et 10) », à savoir les herbiers de *Zostera marina* (1110-1) et de posidonies (1120), la roche infralittorale à algues photophiles (1170-13), le coralligène (1170-14) la roche médiolittorale inférieure à association à *L. byssoïdes* et les bancs de maërl (1110-3, 1160-2 et 1110-7) (tableau 13), ces trois derniers y étant particulièrement sensibles. Il faut aussi noter que les apports par les rejets de nutriments (aliments, urée et fèces) peuvent avoir un effet positif sur le réseau trophique (cf. II.C.2.c), c'est « l'effet éponge » décrit par Díaz-López *et al.* (2005).

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

Les interactions relatives aux infrastructures concernent la construction des voies d'accès, des émissaires, des digues et des bâtiments ainsi que le creusement des bassins et l'entretien de leurs fonds. Les pressions vont être les plus fortes à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1140-7, 1140-8, 1170-1 et 1170-10) et intertidaux des façades atlantique, manche, mer du Nord et méditerranéens (1140-3, 5, 6, 9 et 10; 1150-1 et 2 ; 1170-2, 3, 4, 11 et 12). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt de matériel (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.).

En fonctionnement, les pressions relatives aux effluents des bassins concernent l'ensemble des pressions relatives à l'augmentation de la charge en éléments dans l'eau et à leur sédimentation (M2, 9, 10 et 12 ; C6 et 7). Au-delà des pressions précitées, les rejets des émissaires peuvent aussi engendrer une « Modification de la température (P5) » et une « Modification de la salinité (P6) » si le milieu d'élevage à une salinité différente de la colonne d'eau réceptrice des effluents.

En fonction du type de bassin et du site d'implantation, les bassins peuvent réduire ou augmenter l'espace d'alimentation et/ou de repos disponible pour les oiseaux « Herbivores », « Echassiers », « Marins de surface » et les « Plongeurs benthiques ». En effet, quand les infrastructures sont construites dans des marais et des lagunes anthropisés, leur mise en fonction et leur entretien régulier peuvent permettre de maintenir en bon état le réseau hydrologique et contribuer ainsi au maintien de leurs fonctionnalités écologiques et d'une importante biodiversité.

Les macrodéchets issus de ces exploitations à terre sont normalement collectés, elles ne représentent donc pas une pression potentielle sur les écosystèmes marins.

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) »¹⁶⁰ et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». En fonction de l'implantation de ces exploitations et

¹⁵⁹ le 1140-4 est exclu compte tenu de du caractère très mobile des grains de sable : « habitat ne pouvant être détérioré » (Bensettiti *et al.* 2004).

¹⁶⁰ Dans le cas des activités de cultures marines ne nécessitant pas une exploitation à marée basse, cette pression peut être considérée comme nulle sauf dans certains cas précis (e.g. nécessité de fournir une production de première fraîcheur aux acheteurs en début de journée).

de la couverture plus ou moins complète des installations, la loutre (1355) et les espèces d'oiseaux composant les groupes « Herbivores », « Echassiers », « Marins de surface » et « Plongeurs benthiques » peuvent être exposées à ces trois pressions relatives au dérangement.

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

En fonction des espèces élevées, les prédateurs potentiels dans les bassins à l'air libre peuvent être la loutre (1355), certains oiseaux comme le grand cormoran du groupe des « Plongeurs pélagiques » (e.g. Freitas *et al.* 2007; Kloskowski 2011). De ce fait, les solutions de protection vont essentiellement être constituées de filets contre la déprédation qui, si les mailles sont de petites tailles et les filets colorés et suffisamment tendus et/ou rigides, ne sont que peu dommageables aux populations sauvages même si des cas d'enchevêtrements existent (Nemtsov & Olsvig-Whittaker 2003). En effet, les filets demeuraient le matériel le plus usité en 2007 dans la pisciculture marine française puisque 85 % des sites d'élevages concernés y ont recours (MAA 2011). Cette pression est relative à la « Mort ou blessure par collision/interaction (P2) ».

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par la pisciculture marine en bassins à terre peuvent être issus de tout ce qui concerne les engins et les machines d'exploitation (e.g. gasoil, huile), le nettoyage des bassins et des infrastructures, les résidus d'aliments et les substances médicamenteuses (e.g. antibiotiques). Ils concernent quatre types de pressions : « Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) » ; « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; « Contamination par composés synthétiques (C3) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (antibiotiques, métaux lourds, désinfectants, etc.) et des multiples processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Aussi, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par des bonnes pratiques.

Il faut cependant noter que des évolutions importantes ont été menées par la profession et par les pouvoirs publics (encadrement législatif et réglementaire) ces dernières décennies en matière d'utilisation raisonnée de produits chimiques, d'alimentation plus adaptée (réduction des farines et huiles de poissons, aliments extrudés plutôt que pressés), d'emploi de nouvelles substances moins nocives pour l'environnement ou de la mise en œuvre de solutions alternatives moins impactantes (vaccinations, traitements par injection, etc.) (e.g. Lautreite & Le Breton 2006; Vandeputte *et al.* 2011; Medale *et al.* 2013; Le Gouvello & Simard 2017).

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

L'« Introduction de pathogènes (B3) » se faisant d'abord entre les espèces élevées et sauvages du même type, le saumon atlantique est de ce fait l'espèce Natura 2000 avec le

risque d'interaction le plus élevé¹⁶¹. Sachant que les eaux entrantes dans les bassins sont préalablement traitées contre les pathogènes (aux UV ou à l'ozone) mais pas nécessairement les effluents, il peut y avoir un transfert de pathogène des installations vers certaines espèces Natura 2000, entre autres si l'agent pathogène est ubiquiste (cf. C.7). Néanmoins, compte tenu de la surveillance sanitaire et des dispositions prises en cas de développement d'un pathogène, même si le risque ne peut être écarté, il demeure minime.

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Ces interactions sont relatives aux pressions « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) », elles ne concernent que le saumon atlantique (1106)¹¹⁹. Pour *Salmo salar*, les risques d'impact sont prouvés (cf. II.C.8.a). Cependant, les échappements des bassins semblent très improbables sauf en cas de défaillance extrême des installations.

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en pisciculture marine en bassins est très limitée compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1) et du milieu confiné de l'élevage (hors événements extrêmes : crues majeures, glissements de terrain, submersions marines, etc.). Aussi, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) ne peut être exclu même si cela est peu probable compte tenu du contrôle effectué sur les poissons élevés (e.g. vente d'alevins). Dans les tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

¹⁶¹ L'esturgeon (1101) n'étant pas exposé à ce type d'aquaculture du fait de son élevage en bassins à terre.

Tableau 41 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à la pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé). NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. "1" vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé)		Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur)	Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques	Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles	Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)	
		Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Dépôt important de matériel (M10)	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Modification de la température (P5) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Modification de la salinité (P6) [#]	Désoxygénation (C8) [#]
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine								
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à <i>Z. marina</i>.	Modérée	Modérée	Faible	Faible ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹	NS ¹
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Fort	Modérée	Modérée	Faible ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Variable	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Faible	Modérée	Modérée	Faible ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*								
1120-1	Herbiers à Posidonies*	Faible	Modérée	Variable	Faible	Variable	Variable	Modérée	Variable
1130	Estuaires								
1130-1	Slikke en mer à marées	Variable	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse								
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	Faible	NC	NC	Faible	NC

Synthèse de la vulnérabilité ⁸ et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à la pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé) (suite)		Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur)	Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques	Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles	Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)	
		Dépôt faible de matériel (M9)§	Dépôt important de matériel (M10)	Modification de la charge en particules (M12)§	Modification de la température (P5)#	Modification des apports en nutriments (C6)#	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Modification de la salinité (P6)#	Désoxygénation (C8)#
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse (suite)								
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	Faible	Faible	NC	Faible	NC	NC	Faible	NC
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	Modérée	Modérée	Faible	NS ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹	Faible ¹
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	Faible	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	Faible	Modérée	NC	Faible	NC	NC	Faible	NC
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	Modérée	Modérée	NC	Faible	NC	NC	Faible	NC
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	Modérée	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1150	Lagunes côtières*								
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible	Faible ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹	Faible ¹
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Faible	Faible	Faible	Faible	Fort	Modérée	Faible	Modérée
1160	Grandes criques et baies peu profondes								
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Fort	Modérée	Faible	Faible ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1170	Récifs								
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	Variable	Modérée	NC	Faible	NC	NC	Faible	NC
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	Modérée	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Variable	Variable	Faible	Faible ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹	Faible ¹
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle* des habitats aux pressions relatives à la pisciculture en bassins (circuit ouvert ou fermé) (suite)		Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins		Modification des conditions hydrologiques	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur)	Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques	Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles	Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)	
		Dépôt faible de matériel (M9)§	Dépôt important de matériel (M10)	Modification de la charge en particules (M12)§	Modification de la température (P5)#	Modification des apports en nutriments (C6)#	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Modification de la salinité (P6)#	Désoxygénation (C8)#
1170	Récifs (suite)								
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Faible
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Faible	Variable
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Modérée	Modérée	NC	Faible	NC	NC	Faible	NC
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Modérée	Modérée	NC	Faible	NC	NC	Faible	NC
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée).	Modérée	Modérée	NC	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Association à <i>L. byssoïdes</i>	Fort	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Variable	Modérée	Modérée	Faible	Variable	Variable	Faible	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Variable	Variable	Faible	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Modérée	NC	Faible	Variable	Variable	Faible	Faible
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Variable	Modérée	Variable	Modérée	Fort	Modérée	Faible	Faible

Tableau 42 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la pisciculture marine en bassins. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à la pisciculture marine en bassins		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Introduction d'espèces génétiquement modifiées et transfert ou translocation d'espèces indigènes	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Disparition ou altération des communautés biologiques naturelles due à l'élevage d'espèces animales ou à la culture d'espèces végétales	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées	Perturbation des espèces due à la présence humaine
		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	C1, C2 et C5	Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1)	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7)	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)										
Code N2000	Intitulé de l'espèce									
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIE	RIN	RIE	RIE	NC	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIP	NC	NC	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	RIN	RIN	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	NC	NC	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	NC	NC	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	RIP	RIP	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIP	RIP
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	NC	NC	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	NC	NC	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	NC
Espèces d'intérêt communautaire (DO)										
Groupes d'oiseaux										
Oiseaux herbivores		RIE	RIE	RIP	NC	RIN	RIN	NC	NC	RIE
Échassiers		RIE	RIE	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIN	RIE
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIN	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIN	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		NC	RIE	RIP	NC	RIN	RIN	NC	RIE	NC



III.K. ALGOCULTURE EN BASSINS

K.1. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

L'algoculture de macro-algues demeure peu développée en France avec une production estimée à 350 t en 2013 (Lesueur & Comparini 2015) (sur filières et en bassins). L'algoculture en bassins reste limitée (hors fermes à spirulines) du fait des coûts en matériel et en énergie. Cependant, son essor peut être une alternative aux filières en mer compte tenu des difficultés techniques, politiques et administratives pour l'obtention de concessions. A titre indicatif, en 2017, sept entreprises bretonnes possédaient des bassins de cultures d'algues souvent dans un objectif d'ensemencement avant grossissement en mer¹⁶².



Figure 62 : collection de souches d'algues utilisées pour alimenter des coquilles Saint-Jacques. Ecloserie du du Tinduff. Commune de Plougastel-Daoulas. Site Natura 2000 Rade de Brest, estuaire de l'Aulne (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité).

Les cultures peuvent concerner les macroalgues et les microalgues dont les objectifs de production sont variables : alimentation humaine ou pour les écloseries / nourriceries ; molécules d'intérêts pour la cosmétique ou le pharmaceutique ; la production de biocarburant ; ou encore la réduction de la charge en nutriments (e.g. en aquaculture multitrophique intégrée) (Han *et al.* 2019).

Ces systèmes d'élevage peuvent correspondre à des bassins constitués de structures métalliques au-dessus du sol, à des bassins de terre creusés dans le sol ou encore à des bassins en béton enfouis ou non, voire à des colonnes de culture pour les microalgues (photobioréacteur). Les principales espèces élevées sont :

- Pour les macroalgues¹⁶³, *Chondrus crispus*¹⁶⁴, *Gracilaria*¹⁶⁵ spp., *Palmaria palmata*, *Ulva*¹⁶⁶ spp., *Codium*¹⁶⁷ spp. et *Porphyra* spp. (SMIDAP 2018; Barbier *et al.* 2019; com. pers. B. Jacquemin) ;
- Pour les microalgues¹⁶⁸, les genres *Chlorella*¹⁶⁹ et *Dunaliella*¹⁷⁰ sont les plus cultivés à l'échelle mondiale (Usher *et al.* 2014; SMIDAP 2018) mais de nombreuses autres

¹⁶² Projet IDEALG (2011-2020), ANR/Investissement d'Avenir n° ANR-2010-BTBR-04

¹⁶³ <https://aquaculture.ifremer.fr/les-Filieres/Filiere-Algues/La-decouverte-des-algues/Macroalgues>

¹⁶⁴ Stackhouse, 1797.

¹⁶⁵ Greville, 1830.

¹⁶⁶ Linnaeus, 1753.

¹⁶⁷ Stackh, 1797.

¹⁶⁸ La spiruline (*Arthrospira* sp., Sitenberger ex Gomont, 1892) n'est pas mentionnée puisque que c'est une cyanobactérie et que sa culture nécessite des eaux saumâtres (13 g / l) et que l'eau de mer est rarement utilisée à cet effet.

¹⁶⁹ Beyerinck [Beijerinck], 1890.

¹⁷⁰ Teodoresco, 1905.

genres / espèces existent comme *Haematococcus*¹⁷¹ spp., *Nannochloropsis*¹⁷² spp. et la diatomée *Odontella*¹⁷³ spp.. Pour les besoins des écloseries et des nourriceries, *Isochrysis galbana*¹⁷⁴ (T-Iso), *Tetraselmis*¹⁷⁵ spp., *Chaetoceros*¹⁷⁶ spp., *Pavlova*¹⁷⁷ spp., *Phaeodactylum*¹⁷⁸ spp. ou encore *Skeletonema costatum*¹⁷⁹ (SMIDAP 2018)¹⁸⁰.

Ce système d'élevage est réalisé soit en circuit ouvert, soit en circuit fermé (recirculé). Les eaux entrantes dans les bassins sont généralement filtrées (filtration mécanique et/ou par décantation) et désinfectées (aux U.V. ou à l'ozone) (traitement plus répandu pour les circuits fermés). Les systèmes en circuit ouvert peuvent être ou non équipés de systèmes de traitement avant rejet¹⁸¹. Les systèmes en circuit fermé sont équipés de systèmes de traitement pour les eaux de recirculation (filtration mécanique et biologique¹⁸²) et parfois pour les effluents rejetés.

Les caractéristiques majeures de l'algoculture en bassins à terre, à prendre en compte dans toute évaluation environnementale sont les suivantes :

- Système terrestre totalement insubmersible, contacts limités et ponctuels avec le milieu marin ;
- Elevage d'organismes autotrophes, producteurs d'oxygène et consommateurs de nutriments constituant les seuls intrants de ce type d'élevage ;
- Système fermé et potentiellement contrôlable.

¹⁷¹ Flotow, 1844.

¹⁷² D.J. Hibberd, 1981.

¹⁷³ C. Agardh, 1832.

¹⁷⁴ Parke, 1949.

¹⁷⁵ F. Stein, 1878.

¹⁷⁶ C.G. Ehrenberg, 1844.

¹⁷⁷ Butcher, 1952.

¹⁷⁸ K. von Bohlin, 1897.

¹⁷⁹ (Greville) Cleve 1873.

¹⁸⁰ <http://greensea.fr/aquaculture/>

¹⁸¹ Bassin de décantation, lagunage ou marais construits, filtration sur lit granulaire (e.g. filtre à sables), tamisage (e.g. tambour rotatif) (Laguerre *et al.* n.d.).

¹⁸² Filtres biologiques à lits agités fluidisés, filtres sur supports fixes (mousses, disques, pouzzolane), lagunage ou marais construits (Laguerre *et al.* n.d.), ou encore les bassins à algues (statique ou à haut rendement (Acierno *et al.* 2006)) permettent de réduire les rejets dissous (ammoniac, azote, phosphore, etc.).

K.2. INTERACTIONS POTENTIELLES AVEC LES HABITATS ET LES ESPECES MARINES

2.a. Interactions relatives à la physiologie des espèces élevées et aux aliments (cf. II.C.1)

Par rapport à ce type d'interactions, l'algoculture en bassins génère deux pressions plutôt bénéfiques pour les eaux prélevées dans le milieu marin du fait de la culture de producteurs primaires : le prélèvement de nutriments dans la colonne d'eau ; et la production d'oxygène dissous dans les eaux de cultures. Ces pressions s'opposent aux pressions « Désoxygénation (C8) » et « Modification des apports en nutriments (C6) ». Cette résultante des processus physiologiques des organismes photosynthétiques réduit le risque d'eutrophisation du milieu. Ces mécanismes physiologiques sont à l'origine de l'usage des algues dans l'aquaculture multi-trophique intégrée comme moyen de bio-remédiation afin de réduire les effluents des élevages de producteurs secondaires (oursins, bivalves, poissons, etc.)¹⁸³.

D'un point de vue théorique, les déchets organiques issus des algues en culture (morceaux de macroalgues ou cellules mortes de microalgues) peuvent, s'ils sont libérés dans les effluents, générer un enrichissement du substrat à proximité des émissaires par la « Modification de la charge en particules (M12) », la « Modification des apports en matériel organiques (C7) » et un « Dépôt faible de matériel (M9) » (Usher *et al.* 2014). Cependant, aucune étude traitant, par exemple, des conséquences sur l'environnement d'une libération accidentelle de grande ampleur d'eau non traitée issue d'un site de cultures d'algues en bassins n'a été recensée.

En fonction du système d'alimentation et de rejet et l'emplacement des émissaires, ces pressions potentielles peuvent influencer les habitats intertidaux et subtidaux des façades atlantique, manche, mer du Nord et méditerranéens (1110-1, 3, 4, 6 ; 1120-1 ; 1140-3, 5, 6, 9 et 10¹⁸⁴; 1150-1 et 2 ; 1170-2, 3, 4, 6, 7, 11, 12, 13 et 14) ainsi que certains habitats côtiers comme les estuaires (1130) et les grandes criques et baies peu profondes (1160). Les habitats oligotrophes et/ou présentant un hydrodynamisme modérée y sont plus sensibles. Une attention particulière doit être portée aux habitats sensibles qu'ils soient directement exposés au « Dépôt de faible à important de matériel (M9 et 10) » ou adjacents à l'habitat récepteur, à savoir les herbiers de *Zostera marina* (1110-1) et de posidonies (1120), la roche infralittorale à algues photophiles (1170-13), le coralligène (1170-14) la roche médiolittorale inférieure à association à *L. byssoïdes* et les bancs de maërl (1110-3, 1160-2 et 1110-7) (tableau 13), ces trois derniers y étant particulièrement sensibles. Il faut aussi noter que les apports par les rejets de nutriments (aliments, urée et fèces) peuvent avoir un effet positif sur le réseau trophique (cf. II.C.2.c), c'est « l'effet éponge » décrit par Díaz-López *et al.* (2005).

2.b. Interactions relatives aux infrastructures et aux équipements associés (cf. II.C.2)

A terre, les interactions relatives aux infrastructures concernent uniquement les points de prélèvements et de rejets d'eau (les voies d'accès et les bâtiments peuvent être concernés si l'exploitation est très proche de la côte). Les pressions sont limitées à la phase construction et peuvent concerner les habitats supralittoraux (1140-1, 1140-2, 1140-7, 1140-

¹⁸³ e.g. <https://halieutique.agrocampus-ouest.fr/projets.php?idproj=117> ; http://www.umr-marbec.fr/IMG/pdf/imtaeffect_fiche_projet_fr.pdf

¹⁸⁴ le 1140-4 est exclu compte tenu de du caractère très mobile des grains de sable : « habitat ne pouvant être détérioré » (Bensettiti *et al.* 2004).

8, 1170-1, 1170-10 et 1170-11) et intertidaux (1140). Ces pressions sont de différentes formes en fonction de la nature des travaux mais concernent principalement la catégorie des pressions physiques (e.g. « Abrasion (M5, 6 et 7) », « Dépôt (M9 et 10) », « Perte d'un habitat (M1) », etc.).

En fonctionnement, les pressions relatives aux effluents des bassins concernent l'ensemble des pressions relatives à l'augmentation de la charge en éléments dans l'eau et à leur sédimentation (M2, 9 et 12 ; C6 et 7). Au-delà des pressions précitées, les rejets des émissaires peuvent aussi engendrer une « Modification de la température (P5) » et une « Modification de la salinité (P6) » si le milieu de culture à une salinité différente de la colonne d'eau réceptrice des effluents.

En fonction du site d'implantation des bassins (e.g. marais littoraux, bords de lagunes), les bassins peuvent également réduire les espaces d'alimentation et de repos disponibles pour les oiseaux « Echassiers », « Herbivores » et « Marins de surface ».

Les macrodéchets issus de ces exploitations à terre sont normalement collectés, elles ne représentent donc pas une pression potentielle sur les écosystèmes marins.

2.c. Interactions relatives au dérangement (cf. II.C.4)

Le dérangement peut se traduire selon trois catégories de pression : les « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », « Introduction de lumière artificielle (P10) »¹⁸⁵ et le « Dérangement visuel d'espèces (P3) ». En fonction de l'implantation de ces exploitations, la loutre (1355) et les espèces d'oiseaux composant les groupes « Herbivores », « Echassiers », « Marins de surface » et « Plongeurs benthiques » peuvent être exposées à ces trois pressions relatives au dérangement.

2.d. Interactions relatives au contrôle de prédateurs (cf. II.C.5)

Le contrôle des organismes néfastes aux exploitations va consister à la destruction de parasites (amibes, champignons, oomycètes, etc.) et autres épibiontes (ascidies, algues filamenteuses) (e.g. Carney & Lane 2014; Barbier *et al.* 2019). Les méthodes employées peuvent être la récolte et la désinfection ; l'usage d'agents chimiques ; la sonication (application d'ondes sonores pour agiter les particules) ; le contrôle biologique par la sélection de traits de résistance au sein des espèces cultivées ; ou encore l'usage de prédateurs des nuisibles (zooplancton, hyperparasites). Ainsi, les pressions générées vont dépendre des méthodes employées et de la gestion des effluents post-traitements.

2.e. Interactions relatives aux substances chimiques (cf. II.C.6)

Les composés chimiques potentiellement émis par l'algoculture en bassins concernent ceux issus des engins d'exploitation, s'ils sont nécessaires, aux machines permettant le fonctionnement des bassins (pompe, tambour de tamisage, etc.) (e.g. gasoil, huile), le nettoyage des bassins et des infrastructures et les résidus d'intrants (azote, phosphore, etc.). Ils peuvent concerner quatre types de pressions : « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) » ; « Contamination par composés synthétiques (C3) » ; « Modification des apports en nutriments (C6) » ; et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ». Compte tenu du caractère plus ou moins diffus de ces pollutions en fonction des propriétés physico-chimiques du milieu et du composé considéré, les interactions potentielles concernent la totalité des composantes de l'écosystème (habitats, faune et flore). Au vu du nombre de composés existants (métaux lourds, hydrocarbures, etc.) et des multiples

¹⁸⁵ Dans le cas des activités de cultures marines ne nécessitant pas une exploitation à marée basse, cette pression peut être considérée comme nulle sauf dans certains cas précis (e.g. nécessité de maintenir une source de lumière artificielle pour la croissance des algues).

processus biologiques, physiques et chimiques en jeu (bioaccumulation, détoxification, absorption, adsorption, photodégradation, oxydo-réduction, etc.), il est délicat de tirer une conclusion synthétique. Dans tous les cas, le contrôle et l'entretien régulier des machines permettent de limiter largement une partie des pollutions potentielles. L'importance de ces pressions va donc largement dépendre des pratiques et peut être réduite par un entretien régulier.

2.f. Interactions relatives à la transmission d'agents pathogènes (cf. II.C.7)

Malgré le peu de cultures d'algues en bassins en France, un risque lié à l'« Introduction de pathogènes (B3) » ne peut être exclu et cette transmission serait sans doute d'abord dommageable aux exploitations comme ce fut le cas dans les Philippines (e.g. Loureiro *et al.* 2015; Cottier-Cook *et al.* 2016) et aux habitats biogéniques formés par des macroalgues (cf. Michez *et al.* 2019). Par exemple, Buschmann *et al.* (2014) indiquent que pour les laminaires, les infestations sont relatives à des procaryotes, des virus, des champignons, des oomycètes, d'autres espèces d'algues filamenteuses microscopiques et des invertébrés. Pour les microalgues, Carney & Lane (2014) listent plusieurs parasites dont de nombreux champignons (chytrides, cryptomycètes), « faux » champignons (oomycètes, labyrinthulomycètes), des dinoflagellés ou encore des amibes. Les élevages sont aussi en mesure d'héberger des agents pathogènes auxquels ils ne sont pas vulnérables mais qui peuvent présenter un large spectre d'hôtes potentiels (cf. II.C.7). De ce fait, le risque ne peut être entièrement écarté. Concernant les espèces Natura 2000, appartenant toutes à l'embranchement des vertébrés, il est hautement improbable qu'un agent pathogène touchant les algues en culture puisse se transmettre à ces espèces.

2.g. Interactions génétiques et écologiques entre populations d'élevage et populations sauvages (cf. II.C.8)

Ces interactions sont relatives aux pressions « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) » et elles peuvent concerner les habitats biogéniques formés par des macroalgues comme les « Forêts de Laminaires dominée par *Laminaria ochroleuca*¹⁸⁶ » (cf. Michez *et al.* 2019). Néanmoins, les exports par les effluents (spores, reproduction végétative par bouturage ; cellules vivantes de microalgues) sont normalement limités par l'usage de filtres micrométriques en sortie de bassins.

2.h. Interactions relatives à l'introduction d'espèces non-indigènes (cf. II.C.9)

L'« Introduction ou la propagation d'espèces non-indigènes (B2) » élevées (exotiques ou localement absente) en algoculture en bassins est normalement très limitée compte tenu de la réglementation en vigueur (cf. II.F.8 du tome 1). Néanmoins, des espèces comme *Undaria pinnatifida* (e.g. Grulois *et al.* 2011; Sfriso & Facca 2013; Arnold *et al.* 2016) ou *Sargassum muticum* (e.g. Grizel 1983; Schwartz *et al.* 2016) se sont déjà propagées avant la prise en compte de ce problème par le législateur (cf. II.C.9). Aussi, l'introduction d'espèces non-indigènes connexes aux espèces élevées (épibiontes / endobiontes) peut se faire par exemple par le transport de matériel (cf. II.C.9) (e.g. Brenner *et al.* 2014; Rech *et al.* 2018). Cependant, du fait que les individus élevés comme le matériel ne sont pas immergés dans les milieux naturels, le risque est bien moindre que pour les élevages en pleine eau. Dans tous les cas, les risques d'impacts sont particulièrement élevés au vu des conséquences

¹⁸⁶ Bachelot de la Pylaie, 1824.

possibles de la propagation d'une espèce invasive (cf. II.C.9). Tous les habitats benthiques immergés en permanence ou en alternance sont potentiellement sensibles et exposés à cette pression.

Tableau 43 : risque d'impact (=vulnérabilité)[§] et vulnérabilité potentielle[#] des habitats aux pressions relatives à l'algoculture en bassins. NC : non concerné (non soumis à cette pression). Les * indiquent les habitats prioritaires. «1» vulnérabilité potentielle estimée à partir des valeurs de sensibilités issues des travaux du Marine Life Information Network. NS : non sensible ; AP : aucune preuve de sensibilité. Les encadrés rouges représentent les habitats principalement exposés. En fonction des caractéristiques locales (type et densité d'élevage, hydrodynamisme, répartition des différents habitats, etc.), les autres habitats peuvent aussi y être exposés. Cette analyse doit être réalisée au niveau local.

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'algoculture en bassins		Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins	Modification des conditions hydrologiques	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur)	Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques	Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles	Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)
		Dépôt faible de matériel (M9) [§]	Modification de la charge en particules (M12) [§]	Modification de la température (P5) [#]	Modification des apports en nutriments (C6) [#]	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Modification de la salinité (P6) [#]
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine						
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie peu envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Partie envasée.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i> (façade atlantique). Herbiers à Z. marina.	Modérée	Faible	Faible ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹
1110-2	Sables moyens dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction de sables grossiers et graviers.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique). Fraction maërl.	Fort	Modérée	Faible ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1110-4	Sables mal triés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-5	Sables fins de haut niveau (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-6	Sables fins bien calibrés (Méditerranée)	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables fins bien calibrés (Méditerranée). Association à <i>C. nodosa</i> .	Variable	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.	Faible	Modérée	Faible ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1110-9	Galets infralittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*						
1120-1	Herbiers à Posidonies*	Faible	Variable	Faible	Variable	Variable	Modérée
1130	Estuaires						
1130-1	Slikke en mer à marées	Variable	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse						
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres (façade atlantique)	Faible	NC	Faible	NC	NC	Faible

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'algoculture en bassins (suite)		Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins	Modification des conditions hydrologiques	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur)	Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques	Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles	Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)
		Dépôt faible de matériel (M9)§	Modification de la charge en particules (M12)§	Modification de la température (P5)#	Modification des apports en nutriments (C6)#	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Modification de la salinité (P6)#
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse (suite)						
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i> (façade atlantique)	Faible	NC	Faible	NC	NC	Faible
1140-3	Estrans de sable fin (façade atlantique). Fraction sableuse.	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Estrans de sable fin (façade atlantique). Herbiers à <i>Zostera noltei</i>.	Modérée	Faible	NS ¹	Modérée ¹	Faible ¹	Faible ¹
1140-4	Sables dunaires (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide (Méditerranée)	Faible	NC	Faible	NC	NC	Faible
1140-8	Laisses à dessiccation lent (Méditerranée)	Modérée	NC	Faible	NC	NC	Faible
1140-9	Sables médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Sédiments détritiques médiolittoraux (Méditerranée). Faciès des banquettes de feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i> et autres macrophytes	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1150	Lagunes côtières*						
1150-1	Lagunes en mer à marées (façade atlantique)*	Faible	Faible	Faible ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹
1150-2	Lagunes méditerranéennes*	Faible	Faible	Faible	Fort	Modérée	Faible
1160	Grandes criques et baies peu profondes						
1160-1	Vasières infralittorales (façade atlantique)	Modérée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux (façade atlantique).	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Bancs de maerl (façade atlantique)	Fort	Faible	Faible ¹	NS ¹	Modérée ¹	Modérée ¹
1160-3	Sables vaseux de mode calme (Méditerranée)	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170	Récifs						
1170-1	La roche supralittorale (façade atlantique)	Variable	NC	Faible	NC	NC	Faible
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité (façade atlantique)	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-4	Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)	Variable	Faible	Faible ¹	NS ¹	NS ¹	Faible ¹
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Variable	Variable	Faible
1170-9	Les champs de blocs (façade atlantique)	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-10	La roche supralittorale (Méditerranée)	Modérée	NC	Faible	NC	NC	Faible

Synthèse de la vulnérabilité [§] et vulnérabilité potentielle [#] des habitats aux pressions relatives à l'algoculture en bassins (suite)		Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins	Modification des conditions hydrologiques	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur)	Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques	Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles	Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)
		Dépôt faible de matériel (M9)§	Modification de la charge en particules (M12)§	Modification de la température (P5)#	Modification des apports en nutriments (C6)#	Modification des apports en matériel organiques (C7)	Modification de la salinité (P6)#
1170	Récifs (suite)						
1170-11	La roche médiolittorale supérieure (Méditerranée)	Modérée	NC	Faible	NC	NC	Faible
	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée)	Modérée	NC	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-12	La roche médiolittorale inférieure (Méditerranée). Association à <i>L. byssoïdes</i>	Fort	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe A (La Rivière et al., 2016)	Variable	Modérée	Faible	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe B (La Rivière et al., 2016)	Modérée	Faible	Faible	Variable	Variable	Faible
	La roche infralittorale à algues photophiles (Méditerranée) - Groupe C (La Rivière et al., 2016)	Modérée	NC	Faible	Variable	Variable	Faible
1170-14	Le Coralligène (Méditerranée)	Variable	Variable	Modérée	Fort	Modérée	Faible

Tableau 44 : risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à l'algoculture en bassins. NC : non concerné ; RIN : risque d'interaction non prouvé ; RIP : risque d'interaction potentiel, les individus composant l'espèce sont susceptibles d'être impactés par la pression ; RIE : risque d'interaction élevé, les individus composant l'espèce sont vraisemblablement impactés par la pression s'ils y sont exposés.

		Apports de sons anthropiques	Apports d'autres formes d'énergie	Apports de substances dangereuses	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens	Perturbation des espèces due à la présence humaine
Risque d'interaction des espèces aux pressions potentielles relatives à l'algoculture en bassins		Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Introduction de lumière artificielle (P10)	C1, C2 et C5	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction de pathogènes (B3)	Dérangement visuel d'espèces (P3)
Espèces d'intérêt communautaire (DH)							
Code N2000	Intitulé de l'espèce						
1095	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC
1099	Lamproie de rivière (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC
1101	Esturgeon (<i>Acipenser sturio</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC
1102	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC
1203	Alose feinte (<i>Alosa fallax</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC
1106	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC
1152	Aphanius de Corse (<i>Aphanius fasciatus</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC
1224	Tortue caouanne (<i>Caretta caretta</i>)	RIN	RIN	RIP	RIN	RIN	NC
1349	Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	NC	NC	RIP	RIN	RIN	NC
1351	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	NC	NC	RIP	RIN	RIN	NC
1355	Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>)	RIP	RIP	RIP	RIN	RIN	RIP
1364	Phoque gris (<i>Halichoerus grypus</i>)	NC	NC	RIP	RIN	RIN	NC
1365	Phoque veau marin (<i>Phoca vitulina</i>)	NC	NC	RIP	RIN	RIN	NC
Espèces d'intérêt communautaire (DO)							
Groupes d'oiseaux							
Oiseaux herbivores		RIE	RIE	RIP	RIN	RIN	RIE
Échassiers		RIE	RIE	RIP	RIN	RIN	RIE
Oiseaux Marins de surface		RIE	RIE	RIP	RIN	RIN	RIE
Oiseaux plongeurs benthiques		RIE	RIE	RIP	RIN	RIN	RIE
Oiseaux plongeurs pélagiques		NC	RIE	RIP	RIN	RIN	NC

IV. MESURES D'ÉVITEMENT ET DE RÉDUCTION DES PRESSIONS IDENTIFIÉES

IV.A. INTRODUCTION

Les fiches mesures suivantes sont thématiques et et si elles sont générales et synthétiques, elles proposent des exemples concrets et/ou des voies à suivre visant à éviter ou réduire les principales pressions exercées par l'aquaculture marine sur les écosystèmes marins. Ainsi, elles permettent d'informer sur les dispositifs / mesures / actions préventives pertinentes permettant de limiter ces pressions. Leur mise en œuvre nécessite toutefois d'être adaptées au contexte local spécifique qu'il soit environnemental, technique, ou socio-économique. Il convient donc de se rapprocher de l'ensemble des acteurs intervenants sur un territoire sur une thématique donnée afin de mieux cerner les enjeux locaux (type de production ; pratiques culturelles ; besoin en connaissances scientifiques ; espèces et habitats présents ; etc.) et les possibles applications qui peuvent en découler. Les acteurs mobilisables sur les différents sujets sont les professionnels de l'aquaculture marine (CRC, SFAM, CIPA, syndicats conchylicoles, CRPMEM et CDPMEM, Chambre syndicale des algues et végétaux marins), les scientifiques (IFREMER, universités, INRA, etc.), les gestionnaires d'aires marines protégées (OFB, collectivités territoriales, associations, etc.), les services déconcentrés de l'Etat (DDTM/DML, DREAL, DDPP, etc.), les centres techniques (CREAA, CEPALMAR, SMEL, SMIDAP) et les entreprises privés (par exemple pour la valorisation des déchets coquilliers ou pour les études d'impacts).

Aussi, ces mesures ne concernent pas uniquement les aires marines protégées (parcs naturels marins, site N2000, etc.) mais peuvent contribuer à l'atteinte du bon état écologique des eaux métropolitaines tel que défini par la directive 2008/56/CE dite Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) dont l'application nationale se fait au travers des Documents Stratégiques de Façade (DSF) et du bon état des eaux superficielles tel que défini dans la directive 2000/60/CE dit Directive cadre sur l'eau (DCE) (cf. tome 1 II.F.1.b). Au titre des DSF, les objectifs environnementaux cités y sont inscrits à titre indicatif puisque les mesures peuvent contribuer à la réduction des pressions ciblées.

Les principaux enjeux traités par les différentes mesures sont :

- Les habitats marins pour les mesures de 1 à 4 ;
- Les pollutions potentielles pour les mesures de 5 à 7 (déchets, composés chimiques, eutrophisation) ;
- Les problématiques de biosécurité pour la mesure 8 ;
- Les espèces pour les mesures 9 et 10 ;
- Des sujets transversaux aux différents enjeux pour les mesures de 11 à 14.

Mesure 1

HABITATS SENSIBLES NATURA 2000 : EVITEMENT ET REDUCTION DES PRESSIONS

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Eviter (ou réduire si l'évitement est impossible) toutes pressions significatives relatives à l'aquaculture marine sur les habitats marins sensibles à haute fonctionnalité écologique.

Activités

Tous types d'aquaculture marine.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D01-HB-OE01 : adapter la pression de pâturage et réduire les perturbations physiques des prés salés et végétation pionnière à salicornes liées aux activités anthropiques (de loisir et professionnelles).

D01-HB-OE03 : réduire les perturbations physiques liées à la fréquentation humaine sur les habitats rocheux intertidaux*, notamment par la pêche à pied.

*Champs de blocs, bancs de moules intertidaux, ceintures à cystoseires et trottoirs à lithophyllum.

D01-HB-OE04 : éviter les perturbations physiques sur les bioconstructions à sabellaridés (hermelles) par le piétinement, la pêche à pied de loisir et les engins de pêche de fond. OE s'appliquant sur l'ensemble des façades Manche est et Mer du nord (MEMN), nord atlantique Manche ouest (NAMO) et sud atlantique (SA) et ciblant certains secteurs en particulier (dont entre autres la baie du Mont Saint-Michel (Saint-Anne de Champeaux / La Frégate) ; Noirmoutier (sud de l'île, commune de Barbâtre) ; la baie de Bourgneuf ; la côte Oléronnaise (Ouest de l'île)).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Certains habitats marins sensibles représentent des enjeux élevés au regard des fonctionnalités et de la biodiversité qu'ils hébergent, mais aussi de leurs faibles résistance¹⁸⁷ et résilience¹⁸⁸ aux pressions. Ainsi, ils peuvent être des habitats essentiels pour certaines espèces Natura 2000 et rendent un ensemble de services écosystémiques (lutte contre l'érosion, nourricerie et frayère pour les espèces d'intérêt halieutique, etc.) (e.g. Guidetti & Bussotti 2000; Dubois *et al.* 2002; Kamenos *et al.* 2004; Moore & Short 2006; Boudouresque *et al.* 2012; Vassallo *et al.* 2013; Campagne *et al.* 2015; Nordlund *et al.* 2018; Bonifazi *et al.* 2019). Il convient donc de limiter les pressions des activités anthropiques sur ces habitats sensibles, dont celles relatives à l'aquaculture marine. A ce titre, cette fiche se focalise sur plusieurs types d'habitats (maërl, herbiers et récifs hermelles) (cf. II.C.10). Cependant, elle n'est pas exhaustive sur l'ensemble des autres habitats sensibles à telle ou telle pression (e.g. coralligène).

Objectifs :

L'objectif général est d'éviter ou de réduire les pressions pouvant aboutir à une modification significative de ces habitats (*i.e.* pression « Changements d'habitats (pour un autre type de fond marin) (M2) ») :

- En évitant l'augmentation des pressions sur de nouveaux secteurs non exploités présentant des habitats sensibles. En fonction des pratiques d'élevage et de la sensibilité des habitats, des installations peuvent être possibles sous réserve de n'engendrer aucune modification significative de ces habitats (cf. pages suivantes) ;
- En adoptant des bonnes pratiques permettant la réduction des pressions potentielles sur ces habitats sensibles si l'activité est déjà présente.

Contexte et mise en œuvre

Ce panel de mesure peut intervenir : dans le cadre de l'élaboration ou la révision des schémas des structures d'exploitation des cultures marines (SSECM) ou des schémas de développement régional de l'aquaculture marine (SRDAM) ; dans les avis rendus vis-à-vis d'une demande d'autorisation d'exploitation des cultures marines (avec ou sans autorisation ICPE) ou dans les formulaires de conformité / d'évaluation simplifiée des incidences Natura 2000 qui peuvent y être attenants (Préfet du Finistère, DML 29 2011; Préfet de la Manche, DML 50 2016) ; pour les préconisations environnementales potentiellement inscrites dans les arrêtés portant SSECM.

Partenaires

Services déconcentrés de l'Etat, organisations professionnelles, collectivités territoriales, institutions scientifiques, centres techniques, associations.

¹⁸⁷ Capacité d'un habitat à tolérer une pression sans modification notable de ses caractéristiques biotiques et abiotiques.

¹⁸⁸ C'est le temps nécessaire à la récupération d'un habitat, une fois que la pression impactante a cessé.

Habitats sensibles :

Les espèces ingénieuses structurantes et les habitats qui leurs sont relatifs sont listées dans le tableau 1.

Compte tenu de la sensibilité potentielle de ces habitats à différentes pressions relatives à l'aquaculture marine (modification des apports en matière organique (C7) / en nutriments (C6), diminution de la lumière incidente (P11), tassement par les engins d'exploitation (M4), modification des conditions hydrodynamiques (M11), etc.), il convient prioritairement d'y éviter tout développement de productions aquacoles.

Hormis pour les habitats les moins résilients (e.g. maërl, posidonies), si les impératifs socio-économiques ne peuvent se soustraire à l'usage de tel site, des expérimentations de cultures de faibles ampleurs peuvent être menées, sous réserve de la mise en place de suivis afin d'étudier l'absence ou non d'impact. Les résultats de tels suivis sont un préalable à une possible extension temporelle et spatiale des essais vers une exploitation commerciale.

Dans le cas où des installations sont déjà présentes sur l'habitat ou lorsque l'habitat s'étend dans des zones déjà concédées (ce qui peut être le cas pour les zostères ou les hermelles), quand cela est possible et nécessaire, il conviendrait de mettre en place des mesures de suivi de l'état des habitats concernés et, le cas échéant, de mettre en œuvre des mesures de réduction des pressions pour limiter les impacts sur ces milieux.

Tableau 1 : espèces ingénieuses et les habitats sensibles correspondants.

Nom commun	Espèces	Répartition	Profondeur	Cahiers d'habitats
Zostère marine	<i>Zostera marina</i>	Manche, atlantique et méditerranée	Zone infralittorale (-3 à -10 m)	1110-1 Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers à <i>Zostera marina</i> (façade atlantique)
Zostère naine	<i>Zostera noltei</i>	Manche, atlantique et méditerranée	Zone médiolittorale	1140-3 Estrans de sable fin (façade atlantique)
Posidonie	<i>Posidonia oceanica</i>	Méditerranée	De -1 à -40 m	1120-1 Herbiers à Posidonie
Cymodocée	<i>Cymodocea nodosa</i>	Méditerranée	De -1 à -50 m	1110-Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine
Maërl	<i>Lithothamnion corallioides</i>	Manche, atlantique et méditerranée	De quelques mètres de profondeur à -30 m	1160-2 Sables hétérogènes envasés infralittoraux. Bancs de maërl (façade atlantique); 1110-3 Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique); 1110-7 Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.
Maërl	<i>Phymatolithon calcareum</i>	Manche, atlantique et méditerranée	De quelques mètres de profondeur à -30 m	1160-2 Sables hétérogènes envasés infralittoraux. Bancs de maërl (façade atlantique); 1110-3 Sables grossiers et graviers, bancs de maërl (façade atlantique); 1110-7 Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (Méditerranée). Association du maërl.
Hermelle	<i>Sabellaria alveolata</i>	Manche, atlantique et méditerranée	Zone médiolittorale à -10 m	1170-4 Les récifs d'Hermelles (façade atlantique)

D01-HB-OE5 éviter la perturbation physique des herbiers de zostères (par les mouillages, engins de pêche de fond et pêche à pied). Pour les mouillages, OE s'appliquant sur l'ensemble des façades MEMN, NAMO et SA et ciblant certains secteurs en particulier (archipel de Chausey ; baie de Morlaix ; archipel des Glénan ; mer d'Iroise ; golfe du Morbihan ; estuaire de la Gironde et mer des Pertuis ; bassin d'Arcachon).

D01-HB-OE6 : réduire les perturbations physiques sur les habitats sédimentaires subtidaux et circalittoraux* notamment dans la zone des 3 milles (* l'un des indicateurs cible particulièrement les bancs de maërl des sites Natura 2000 situés dans la baie de Saint-Brieuc Est, de la rade de Brest, de l'archipel des Glénan, de Trévignon, de la baie de Morlaix et de Belle-île).

D01-HB-OE9 : éviter la perturbation physique des herbiers de phanérogames méditerranéens et du coralligène (par les mouillages, la plongée sous-marine de loisir et les engins de pêche de fond).

D01-PC-OE05 : diminuer toutes les pressions qui affectent l'étendue et la condition des zones fonctionnelles halieutiques d'importance ZFHi identifiées (dont frayères, nourriceries, voies de migration), essentielles à la réalisation du cycle de vie des poissons, céphalopodes et crustacés d'intérêt halieutique (Delage & Le Pape 2016; Regimbart *et al.* 2018).

D05-OE3 : ne pas augmenter les apports de nutriments dans les zones peu ou pas impactées par l'eutrophisation.

D06-OE01 : limiter les pertes physiques d'habitat liées à l'artificialisation de l'espace littoral, de la laisse de plus haute mer à 20 mètres de profondeur (Région marine Atlantique : MEMN, NAMO, SA). Limiter les pertes physiques des habitats génériques et particuliers liées à l'artificialisation de l'espace littoral et des petits fonds côtiers (Région marine Méditerranée).

D06-OE01 : réduire les perturbations et les pertes physiques des habitats génériques et particuliers liées aux ouvrages, activités et usages maritimes.

Difficultés rencontrées

Les principales difficultés vont d'abord concerner les besoins en données non obsolètes sur la répartition des habitats et leur état de conservation. En effet, compte tenu de la dynamique intrinsèque des écosystèmes, en fonction des secteurs les cartographies existantes peuvent être vétustes et ne plus refléter les réalités du terrain rendant délicat l'anticipation des interactions entre l'aquaculture marine et les habitats.

Deuxièmement, il s'agit d'éviter ces habitats sensibles tout en permettant aux activités aquacoles de se réorganiser ou de se développer aussi bien d'un point de vue technique (accès, protection contre la houle, etc.) que productif (rendement) ou politique (conflits d'usage).

Troisièmement, elles concernent l'expansion ou le développement d'habitats sensibles dans des zones déjà concédées, auquel cas, il faut tendre vers la mise en œuvre de mesures de réduction des pressions sans pour autant impacter les activités préexistantes.



Figure 1 : (a) crabe vert (*Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758)) dans un herbier de *Zostera noltei*. Estran de la commune de Saint-Trojan-les-Bains. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité). (b) œufs de seiche dans un herbier de *Zostera marina*. Commune de Morgat. Parc naturel marin d'Iroise (photo : Y. Turpin / Office français de la biodiversité).

• Herbiers de zostères (*Zostera marina* et *noltei*) Conchyliculture

Il convient de préciser que dans le cas des herbiers de zostères, les interactions entre les activités conchylicoles et ces habitats sont particulièrement complexes donnant lieu à des pressions antagonistes dont le bilan peut être difficile à évaluer (e.g. clarification de la colonne d'eau grâce à la filtration des bivalves qui favorise la photosynthèse vs diminution de la lumière par les structures d'élevage ; enrichissement en ammonium (NH₄⁺) permettant une production primaire plus forte vs accumulation de composés sulfurés toxiques ralentissant la croissance) (cf. II.C.1). De ce fait, les études scientifiques ne permettent généralement pas d'aboutir à des conclusions génériques sur les impacts potentiels, certaines montrant des effets plutôt bénéfiques (e.g. Peterson & Kenneth 2001; Sandoval-Gil *et al.* 2016), d'autres des effets plutôt négatifs (e.g. Wagner *et al.* 2012; Skinner *et al.* 2014), voire l'absence d'effets directs (Smith *et al.* 2018). Ainsi, en fonction des conditions locales, des modes de culture et de récolte et de l'espèce d'herbiers considérée, il peut être difficile d'en déduire des lignes directrices en termes de gestion. Néanmoins, la méta-analyse¹⁸⁹ de Ferriss *et al.* (2019) sur le genre *Zostera* spp. montre une baisse des densités que ce soit avec les cultures au sol (huitres et autres coquillages – palourdes, panope du Pacifique, etc. – dans ou sur le sédiment sans dispositif d'exclusion des prédateurs) ou suspendues (huitres sur tables, pieux, filières et lanternes japonaises) ainsi qu'une baisse du recouvrement et de la reproduction (sexuelle et asexuelle) avec les cultures hors sol et de la biomasse avec les cultures au sol. A l'inverse, la croissance et la reproduction sont favorisées par la culture au sol et ne sont pas influencées par les élevages hors sol.

En termes de mesure de gestion, il est possible de mentionner certains éléments donnés par Vandermeulen *et al.* (2006), the U.S. Army Corps of Engineers (2015), CRC PC & Unité des cultures marines (DDTM 17) (2015), Claudel (2016) et NOAA fisheries west coast region (2014). Ainsi, il est possible de réduire les pressions sur l'herbier :

1. En réduisant les densités d'élevage:
 - Pour les cultures au sol d'huitres : recouvrement par des huitres < 10 à 50 %; ou moins de 740 poches par hectare ;
 - Pour les cultures sur filières : espace minimum de 3 mètres entre les lignes ;
2. En faisant en sorte que la configuration des installations de cultures marines ne génère aucune érosion / abrasion excessive (e.g. usage de mouillages écologiques pour les filières) ou zones de dépôts en maintenant



Figure 2 : laveurs placés sur une corde. La zone d'effets des laveurs est nettement visible (© P.A. Py dans CRC PC & Unité des cultures marines (DDTM 17) (2015)).

¹⁸⁹ Analyse de 125 études relatives aux interactions entre conchyliculture et herbiers de zostères. Il convient de toujours nuancer ces résultats puisque ce type d'analyse globale peut atténuer des situations et des spécificités locales.



Figure 3 : (a) Herbier de posidonies (*Posidonia oceanica*). Site Natura 2000 Corniche varoise (photo : A. Guilbert / Office français de la biodiversité). (b) massifs d'hermelles (*Sabellaria alveolata*). Commune de Pyla-sur-Mer. Parc naturel marin du Bassin d'Arcachon (photo : N. Gauyacq / Office français de la biodiversité). (c) roussette (*Scyliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758)) dans un herbier de *Zostera marina* sur fond de maërl. Site Natura 2000 rade de Brest, estuaire de l'Aulne (photo : B. Guichard / Office français de la biodiversité).

la circulation des courants de marées et du vent (voire en favorisant la remise en suspension du sédiment grâce par exemple à des « laveurs » sous les tables ou entre les tables (CRC PC & Unité des cultures marines (DDTM 17) 2015)) (figure 2) ;

3. En limitant au maximum les perturbations induites par les méthodes de récolte :
 - Les tracteurs et autres engins lourds sur le milieu intertidal doivent être encadrés par une gestion des accès (fréquence de travail, limitation du nombre de véhicules au strict nécessaire). Par exemple, cette pression a été démontrée comme significative dans Pezy *et al.* (2019) ou Basuyaux *et al.* (2018) (cf. aussi fiche « Encadrement de l'accès aux infrastructures d'élevage en mer ») ;
 - Etablir une zone tampon d'au moins 5 mètres autour des herbiers exclue de toute installation. En fonction du contexte local, cette distance peut être augmentée jusqu'à 50 mètres (NOAA fisheries west coast region 2014) afin de permettre une circulation plus aisée et d'atténuer les effets des dommages causés par les manœuvres, les échouages et les hélices des bateaux ;
 - Les récoltes par dragage doivent être prohibées sur les secteurs d'herbiers ;
 - Pour la vénériculture en élevage à plat, l'herbier de zostères naines semble plus à même de se régénérer si la récolte s'effectue à la fin de l'été plutôt qu'à la fin de l'hiver au début de la phase végétative (Claudel 2016).
4. En établissant une zone tampon d'au moins 5 mètres autour des herbiers exclue de toute installation.
5. En maximisant les orientations nord sud, la hauteur et la perméabilité à la lumière des structures. Minimiser leur largeur pour limiter l'impact de l'ombrage sur la photosynthèse.

Une fois que l'élevage d'huîtres s'est établi sur un site, le suivi de l'état des sédiments et des herbiers doit être réalisé au moins tous les deux ans avant de nouvelles extensions des opérations d'aquaculture. L'extension doit être itérative, basée sur la preuve d'absence d'impact à chaque itération.

Pisciculture marine en cages

Les interactions entre les élevages de poissons en cages en mer et les herbiers de *Zostera marina* sont peu étudiés. Néanmoins, les quelques études à ce sujet montrent des pressions significatives sur ces habitats (Vandermeulen 2005; Cullain *et al.* 2018). Le tableau 1 présent dans le rapport de Vandermeulen (2006) (p. 46 et suivantes) est particulièrement intéressant puisqu'il donne les valeurs seuils d'un ensemble de variables à partir desquels les zostères sont impactées (quantité de sulfure dans les eaux interstitielles, quantité de dépôt d'*Ulva*¹⁹⁰, quantité d'oxygène dans la colonne d'eau, présence d'autres organismes, pourcentage de lumière, etc.). Dans ce contexte, l'évitement de la pisciculture marine en cages sur les secteurs d'herbiers de zostères marines est à privilégier. Les recommandations formulées ci-après pour les herbiers de posidonies (distance minimale) pourraient être reprises et adaptées.

Algoculture sur filières

Comme indiqué au III.D.2.a, aucun impact de l'algoculture sur les herbiers de *Zostera marina* n'a été démontré (Walls *et al.* 2017). Cependant, il convient d'éviter ces sites puisque l'atténuation de la lumière peut atteindre 40 % à 5 m de profondeur quand la biomasse est maximale (Visch 2019).

- **Herbiers de posidonies (*Posidonia oceanica*) et de cymodocées (*Cymodocea nodosa*)**

Conchyliculture en eaux profondes (cages, filières, etc.)

Les interactions entre les herbiers de posidonies (ou de cymodocées) et la conchyliculture sont très rares dans les publications scientifiques. Néanmoins

¹⁹⁰ Linnaeus, 1753.

un ensemble d'études concernant l'effet sur les herbiers d'un ensemble de variables biotiques et abiotiques montrent la sensibilité de cet habitat à de nombreuses formes de pressions potentielles de la conchyliculture : augmentation des nutriments et de la matière organique dans la colonne d'eau ou les sédiments, réduction de la luminosité ou encore le recouvrement par des épiphytes (e.g. Ruiz & Romero 2001; Invers *et al.* 2004; Balata *et al.* 2008; Garcias-Bonet *et al.* 2008; Pérez *et al.* 2008; Castejón-Silvo *et al.* 2012).

Pisciculture marine en cages

L'impact des pressions relatives à la pisciculture marine sur les herbiers de posidonies ont été largement étudiée au cours de deux dernières décennies (e.g. Pergent-Martini *et al.* 2006; Holmer *et al.* 2008; Pérez *et al.* 2008; Kletou *et al.* 2018). La sédimentation de la matière organique semble être le processus affectant le plus les posidonies puis le recouvrement en épiphyte et le broutage par les oursins (e.g. Pérez *et al.* 2007; Holmer *et al.* 2008). Ainsi, l'excès de matière organique dans les sédiments entraîne le déclin des posidonies même après l'arrêt des exploitations (e.g. Delgado *et al.* 1997). Les cymodocées sont considérées comme plus résistantes à ces pressions que les posidonies (Delgado *et al.* 1997). A ce titre, Pergent-Martini *et al.* 2006 donnent des recommandations quant aux mesures de gestion à prendre :

- Aucune ferme piscicole ne doit être installée directement au-dessus d'herbiers de *P. oceanica* ou de *C. nodosa* ;
- S'il existe un herbier à proximité, une distance minimale de 200 m doit être respectée (distance de précaution augmentée à 400 m par Holmer *et al.* 2008 pour les posidonies et à 500 m par Riera *et al.* (2015) en cas de courant modéré (20 – 22 cm.s⁻¹) pour les cymodocées). Cette distance doit être accrue si c'est à proximité de la limite basse d'un herbier, celui-ci étant plus sensible à la turbidité que les herbiers en eaux peu profondes, et adaptée en fonction des courants et de la taille de la ferme. Le tableau 2 donne une grille décisionnelle vis-à-vis de ces distances par rapport aux herbiers de posidonies en fonction du tonnage et de l'exposition du milieu ;
- De manière générale, les exploitations doivent être installées au-dessus de fonds à 45-50 mètres de profondeur quand cela est possible ;
- Une étude d'impacts doit être réalisée en amont de chaque demande d'installation de ferme ;
- L'autorisation d'exploitation doit être réexaminée tous les quatre ans pour une possible expansion sous réserve que les herbiers proches n'ont pas régressé que ce soit en termes de taille ou de vitalité. Ainsi, il est nécessaire de mettre en place un suivi de l'herbier. La figure 4 permet de choisir les variables à prendre en compte en fonction des questions posées. Aussi, différentes méthodes de suivis (cartographie, évaluation de l'état écologique) sont disponibles dans UNEP *et al.* (2015) et Pergent (2007).

Algoculture sur filières

Aucune étude concernant les impacts de l'algoculture sur les herbiers de posidonies ou de cymodocées n'a été recensée. Cependant, il convient d'éviter ces sites puisque l'atténuation de la lumière peut atteindre 40 % à 5 m de profondeur quand la biomasse est maximale (Visch 2019). Aussi, la réglementation sur la culture d'espèces non indigènes doit être scrupuleusement respectée pour éviter des impacts qui pourraient être comparables à celle de la *Caulerpa taxifolia*¹⁹¹, algue verte introduite par d'autres biais (de Villèle & Verlaque 2009).

¹⁹¹ (M.Vahl) *C. Agardh*, 1817.

Tableau 2 : grille montrant l'éligibilité de sites d'élevage de pisciculture marine en fonction de la distance aux herbiers de *Posidonia oceanica*, de la profondeur sous les cages et de l'exposition du site (Boudouresque *et al.* 2012).

Profondeur	Exposition	Distance de l'herbier de Posidonies le plus proche				
		< 100 m	100-200 m	200-300 m	300-400 m	> 400 m
< 5 m	Milieu ouvert				< 100 t	< 500 t
	Milieu semi-fermé					< 100 t
5-10 m	Milieu ouvert			< 100 t	< 500 t	< 1000 t
	Milieu semi-fermé				< 100 t	< 500 t
10-20 m	Milieu ouvert		< 100 t	< 500 t	< 1000 t	< 2000 t
	Milieu semi-fermé			< 100 t	< 500 t	< 1000 t
20-40 m	Milieu ouvert			< 100 t	< 500 t	< 1000 t
	Milieu semi-fermé				< 100 t	< 500 t
> 40 m	Milieu ouvert		< 500 t	< 1000 t	< 2000 t	< 5000 t
	Milieu semi-fermé		< 100 t	< 500 t	< 1000 t	< 2000 t

• **Bancs de maërl (= banc de rhodolithes)**

Conchyliculture en eaux profondes (cages, filières, etc.)

Les interactions entre le maërl et la conchyliculture ont été peu étudiées et ont montré des influences négatives comme celle de la mytiliculture sur filières (e.g. Peña & Bárbara 2008). En effet, plusieurs publications indiquent que le dépôt de sédiments fins sur celui-ci entraîne une réduction des échanges avec le milieu et que ce recouvrement est délétère pour le maërl (Wilson *et al.* 2004). Il est donc recommandé d'éviter les secteurs de maërl pour l'installation d'exploitations conchylocoles et de conserver des distances minimales entre cet habitat et les implantations.

Pisciculture marine en cages

Au même titre que la conchyliculture, les études sur les interactions entre la pisciculture marine et le maërl ont montré des impacts négatifs sur cet habitat sensible par les effluents qui sédimentent sur le fond (fèces, résidus d'aliments) (Judas 1998; Hall-Spencer *et al.* 2006; Sanz-Lázaro *et al.* 2011; Nelson *et al.* 2012). Cette accumulation couplée avec les produits antiparasitaires peuvent aussi engendrer une variation des communautés de crustacés vivants dans le maërl (Hall-Spencer & Bamber 2007). Pour ces deux formes d'aquaculture, Barbera *et al.* (2003) recommandent :

- Un moratoire sur les licences permettant l'installation de cages à poissons ou d'autres structures d'élevage au-dessus de bancs de maërl non déjà soumis à ces pressions.
- Le mouillage des installations d'élevages de poissons ou de bivalves au-dessus du maërl doit être découragé pour éviter de recouvrir le fond avec des rejets d'aliments, des fèces ou pseudo-fèces. En effet, un seul événement anoxique peut faire précipiter une grande quantité de sédiment chargé en matière organique pouvant engendrer une perte irréversible du maërl vivant (sa croissance étant d'environ 1 mm par an (Bosence & Wilson 2003; Wilson *et al.* 2004), sa résilience est considérée comme très faible¹⁹²).
- Concernant les exploitations existantes sur des fonds de maërl, des suivis environnementaux doivent être mis en place.

Compte tenu de la faible résilience du maërl (> 25 ans), il est donc aussi vivement recommandé d'éviter cet habitat pour l'installation d'exploitation de pisciculture marine en cages et de conserver des distances minimales d'implantation intégrant la courantologie du secteur afin d'éviter un dépôt de

¹⁹² https://www.marlin.ac.uk/habitats/detail/255/maerl_beds

sédiment potentiellement impactant (cf. fiche « Acquisition de connaissances sur les habitats et espèces en Interactions avec les élevages marins »).

Algoculture sur filières

Aucune étude n'a été recensée à ce sujet. Cependant, il convient de préciser que la baisse de la lumière incidente sur le maërl est en mesure de réduire la photosynthèse effectuée par les rhodolithes (Cobacho *et al.* 2018). Or, comme indiqué ci-dessus la culture d'algues atténue la lumière pouvant profiter aux organismes photosynthétiques vivants en dessous (Visch 2019).

• Récifs d'hermelles (*Sabellaria alveolata*)

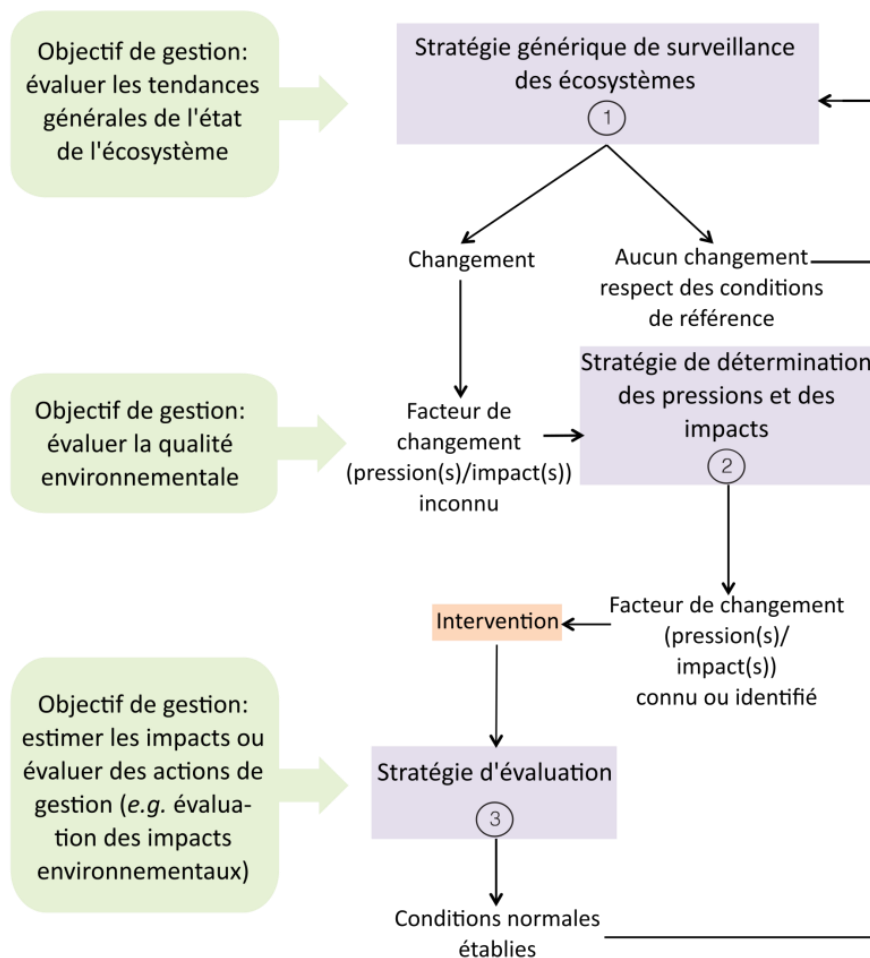
Conchyliculture intertidale

Les interactions entre la conchyliculture intertidale et les récifs d'hermelles peuvent avoir lieu lors de l'exploitation des élevages si les engins et le piétinement par les exploitants impactent physiquement les structures biogéniques. L'autre pression, qui est indirecte, concerne les compétitions trophique et spatiale que vont engendrer les récifs d'huîtres sauvages avec les hermelles (et les élevages d'un point de vue trophique) comme cela a été constaté dans la baie de Bourgneuf (Cognie *et al.* 2006). Néanmoins, cette compétition trophique est sans doute à modérer compte tenu des résultats des analyses isotopiques effectuées sur un ensemble d'organismes filtreurs (moules, huitres, hermelles, lanices, coques, crépidules) en Baie des Veys et à Lingreville-sur-mer (Lefebvre *et al.* 2009). En effet, cette étude montre que les hermelles de ce territoire ne consomment pas nécessairement les mêmes éléments de la chaîne alimentaire que les autres organismes filtreurs (phytoplancton vs microphytobenthos et détritiques de macroalgues).

L'interaction spatiale entre les exploitations (structures et circulation pour l'accès aux zones) et les récifs d'hermelles est donc à proscrire afin d'éviter les perturbations physiques de cet habitat. Concernant les relations trophiques, une vigilance est à apporter.

Pisciculture marine en cages et algoculture sur filières

Compte tenu des répartitions respectives de ces activités et des hermelles, il est peu probable que ces élevages puissent rentrer en interactions avec les récifs biogéniques.



1 Suivi générique des écosystèmes	2 Détermination des pressions et des impacts	3 Evaluation
<p>Indicateurs structurels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Densité, surface, profondeur maximale, biomasse foliaire ou racinaire <p>+</p> <p>Indicateurs génériques d'alerte précoce</p> <ul style="list-style-type: none"> - Azote (N) ou saccharose 	<p>Panel d'indicateurs spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eutrophisation: N, C/N, $\delta^{15}\text{N}$ de la chlorophylle dans les feuilles - Ombrage: $\delta^{13}\text{C}$ dans les feuilles, saccharose - Intrants organiques: S dans les rhizomes, $\delta^{34}\text{S}^{**}$ - Hypersalinisation: taux de photosynthèse, respiration dans l'obscurité - Enfouissement: longueur des rhizomes - Pollution métallique: Pb, Fe, Mn, Cd, Cu, Zn, Ni <p>+</p> <p>Indicateurs structurels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Densité, surface, profondeur maximale, biomasse foliaire ou racinaire 	<p>Indicateurs spécifiques du (2) relatifs aux pressions</p> <p>+</p> <p>Indicateurs structurels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Densité, surface, profondeur maximale, biomasse foliaire ou racinaire

Figure 4 : exemple de diagramme d'aide à la conception d'un programme de surveillance des herbiers en fonction des questions posées. Partie du dessus : arbre décisionnel pour savoir quelle stratégie de suivi choisir parmi trois types d'objectifs de gestion courants. Partie du dessous : panel d'indicateurs suggérés correspondant à chaque objectif de gestion défini dans l'arbre décisionnel. * indicateurs non testés dans la publication mais largement utilisé et accepté. ** représente des indicateurs de pressions qui nécessitent encore des développements (traduit et modifié de Roca *et al.* 2016).

Liens internet :

Pour la description des habitats sensibles et des espèces ingénieurs les composant :

Inventaire national du patrimoine naturel:

<https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>

MarLIN (The marine Life Information Network):

<https://www.marlin.ac.uk/>

Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques :

<https://doris.ffesfm.fr/>

Tableau relatif aux valeurs seuils de variables à partir desquels les *Zostera marina* sont impactées

(Vandermeulen 2005) :

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ResDocs-DocRech/2005/2005_032-eng.htm

Protocoles de suivis des magnoliophytes marines méditerranéennes (*Cymodocea nodosa*, *Halophila stipulacea*, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina* et *Zostera noltii*) :

https://drive.google.com/file/d/15kJezardLOdR1c2mS53NDAfL_-pClc6/view

http://www.rac-spa.org/sites/default/files/doc_mkh/vegetation/algue_eng_bd_cover.pdf

Rapports et publications :

- Barbera, C., Bordehore, C., Borg, J.A., Glémarec, M., Grall, J., Hall-Spencer, J.M., *et al.* (2003). Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, S65–S76.
- Basuyaux, O., Ravache, M., Delécrin, C., Savary, M. & Dauvin, J.-C. (2018). *Cartographie et interactions des zostères en secteur conchylicole sur la côte ouest du Cotentin (CIZO)* (Rapport d'étude CIZO, AESNN°Convention AESN 1063165). SMEL - CNRS - CRC NMN, Saint-Lo.
- Bonifazi, A., Lezzi, M., Ventura, D., Lisco, S., Cardone, F. & Gravina, M.F. (2019). Macrofaunal biodiversity associated with different developmental phases of a threatened Mediterranean *Sabellaria alveolata* (Linnaeus, 1767) reef. *Marine Environmental Research*, 145, 97–111.
- Bosence, D. & Wilson, J. (2003). Maerl growth, carbonate production rates and accumulation rates in the ne atlantic. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, S21–S31.
- Boudouresque, C., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., G, D., Meinesz, A., *et al.* (2012). *Protection and Conservation of Posidonia oceanica Meadows*.
- Campagne, C.S., Salles, J.-M., Boissery, P. & Deter, J. (2015). The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin*, 97, 391–400.
- Claudel, H. (2016). *Suivi de l'impact potentiel de la conchyliculture sur les herbiers de zostères naines Zostera noltii dans les traicts du Croisic et de Pen-Be*. In Vivo - CRC Bretagne Sud, La Forêt Fouesnant.
- Cobacho, S.P., Navarro, L., Pedrol, N. & Sánchez, J.M. (2018). Shading by invasive seaweeds reduces photosynthesis of maerl from the Ria de Vigo (NW Spain). *Botanica Marina*, 61, 453–457.
- Cognie, B., Haure, J. & Barillé, L. (2006). Spatial distribution in a temperate coastal ecosystem of the wild stock of the farmed oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, 259, 249–259.
- CRC PC & Unité des cultures marines (DDTM 17). (2015). *Volet environnemental du schéma des structures des cultures marines de Charente-Maritime*. Préfecture de la Charente-Maritime, La Rochelle.
- Cullain, N., McIver, R., Schmidt, A.L., Milewski, I. & Lotze, H.K. (2018). Potential impacts of finfish aquaculture on eelgrass (*Zostera marina*) beds and possible monitoring metrics for management: a case study in Atlantic Canada. *PeerJ*, 6, e5630.
- Delage, N. & Le Pape, O. (2016). *Zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française. Première partie: définitions, critères d'importance et méthode pour déterminer des zones d'importance à protéger en priorité* (Rapport d'étude N°44). AGROCAMPUS OUEST, Rennes.
- Delgado, O., Grau, A., Pou, S., Riera, F., Massuti, C., Zabala, M., *et al.* (1997). Seagrass regression caused by fish cultures in Fornells Bay (Menorca, Western Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 20, 557–563.
- Dubois, S., Retière, C. & Olivier, F. (2002). Biodiversity associated with *Sabellaria alveolata* (Polychaeta: Sabellariidae) reefs: effects of human disturbances. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82, 817–826.
- Ferriss, B.E., Conway-Cranos, L.L., Sanderson, B.L. & Hoberecht, L. (2019). Bivalve aquaculture and eelgrass: A global meta-analysis. *Aquaculture*, 498, 254–262.
- Guidetti, P. & Bussotti, S. (2000). Fish fauna of a mixed meadow composed by the seagrasses *Cymodocea nodosa* and *Zostera noltii* in the Western Mediterranean. *Oceanologica Acta*, 23, 759–770.
- Hall-Spencer, J. & Bamber, R. (2007). Effects of salmon farming on benthic Crustacea. *Ciencias Marinas*, 33, 353–366.
- Hall-Spencer, J., White, N., Gillespie, E., Gillham, K. & Foggo, A. (2006). Impact of fish farms on maerl beds in strongly tidal areas. *Marine Ecology Progress Series*, 326, 1–9.
- Holmer, M., Argyrou, M., Dalsgaard, T., Danovaro, R., Diaz-Almela, E., Duarte, C.M., *et al.* (2008). Effects of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows: Synthesis and provision of monitoring and management tools. *Marine Pollution Bulletin*, 56, 1618–1629.
- Judas, A. (1998). *Impact écologique de l'élevage de salmonidés à Camaret (finistère)*. (N°Rapport contrat Elsamer SA / Ecosystèmes). UBO, Brest.
- Kamenos, N.A., Moore, P.G. & Hall-Spencer, J.M. (2004). Nursery-area function of maerl grounds for juvenile queen scallops *Aequipecten opercularis* and other invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 274, 183–189.
- Kletou, D., Kletou, P., Savva, I., Attrill, M.J., Antoniou, C. & Hall-Spencer, J.M. (2018). Seagrass recovery after fish farm relocation in the eastern Mediterranean. *Marine Environmental Research*, 140, 221–233.
- Lefebvre, S., Marín Leal, J.C., Dubois, S., Orvain, F., Blin, J.-L., Bataillé, M.-P., *et al.* (2009). Seasonal dynamics of trophic relationships among co-occurring suspension-feeders in two shellfish culture dominated ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82, 415–425.
- Moore, K.A. & Short, F.T. (2006). *Zostera: Biology, Ecology, and Management*. In: *Seagrasses: biology, ecology and conservation* (eds. Larkum, A.W.D., Orth, R.J. & Duarte, C.M.). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 361–386.

- Nelson, W.A., Neill, K., Farr, T., Barr, N., D'Archino, R., Miller, S., *et al.* (2012). *Rhodolith Beds in Northern New Zealand: Characterisation of Associated Biodiversity and Vulnerability to Environmental Stressors*. Ministry for Primary Industries, Wellington.
- NOAA fisheries west coast region. (2014). *California Eelgrass Mitigation Policy and Implementing Guidelines*. NOAA.
- Nordlund, L.M., Jackson, E.L., Nakaoka, M., Samper-Villarreal, J., Beca-Carretero, P. & Creed, J.C. (2018). Seagrass ecosystem services – What's next? *Marine Pollution Bulletin*, Securing a future for seagrass, 134, 145–151.
- Peña, V. & Bárbara, I. (2008). Maërl community in the north-western Iberian Peninsula: a review of floristic studies and long-term changes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18, 339–366.
- Pérez, M., García, T., Invers, O. & Ruiz, J.M. (2008). Physiological responses of the seagrass *Posidonia oceanica* as indicators of fish farm impact. *Marine Pollution Bulletin*, 56, 869–879.
- Pérez, M., Invers, O., Ruiz, J.M., Frederiksen, M.S. & Holmer, M. (2007). Physiological responses of the seagrass *Posidonia oceanica* to elevated organic matter content in sediments: An experimental assessment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 344, 149–160.
- Pergent, G. (2007). *Protocol for the setting up of Posidonia meadows monitoring systems* (Memorandum of Understanding N°21/2007/RAC/SPA). Programme / RAC/SPA - TOTAL Corporate Foundation for Biodiversity and the Sea. MedPosidonia Nautilus-Okianos.
- Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.-F., Pasqualini, V. & Pergent, G. (2006). Impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows: a review. *Marine Ecology*, 27, 310–319.
- Peterson, B.J. & Kenneth, L.H.J. (2001). Positive interactions between suspension-feeding bivalves and seagrass – a facultative mutualism. *Marine Ecology Progress Series*, 213, 143–155.
- Pezy, J.-P., Delecrin, C., Baffreau, A., Basuyaux, O. & Dauvin, J.-C. (2019). Anthropogenic impact of oyster farming on macrofauna biodiversity in an eelgrass (*Zostera marina*) ecosystem of the English Channel. *Ecological Indicators*, 106, 105480.
- Préfet de la Manche, DML 50. (2016). Formulaire de conformité d'une demande d'autorisation d'exploitation de cultures marines avec le schéma des structures de la Manche.
- Préfet du Finistère, DML 29. (2011). Formulaire d'évaluation simplifiée des incidences Natura 2000. Demande d'autorisation d'exploitation de cultures marines.
- Regimbart, A., Guitton, J. & Le Pape, O. (2018). *Zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française. Deuxième partie: inventaire* (Rapport d'étude N°46). AGROCAMPUS OUEST, Rennes.
- Riera, R., Becerro, M.A., Ramos, E., Monterroso, Ó. & Rodríguez, M. (2015). Response of different benthic habitats to off-shore fish cages. *Aquaculture Research*, 46, 1490–1500.
- Roca, G., Alcoverro, T., Krause-Jensen, D., Balsby, T.J.S., van Katwijk, M.M., Marbà, N., *et al.* (2016). Response of seagrass indicators to shifts in environmental stressors: A global review and management synthesis. *Ecological Indicators*, 63, 310–323.
- Sandoval-Gil, J., Alexandre, A., Santos, R. & Camacho-Ibar, V.F. (2016). Nitrogen Uptake and Internal Recycling in *Zostera marina* Exposed to Oyster Farming: Eelgrass Potential as a Natural Biofilter. *Estuaries and Coasts*, 39, 1694–1708.
- Sanz-Lázaro, C., Belando, M.D., Marín-Guirao, L., Navarrete-Mier, F. & Marín, A. (2011). Relationship between sedimentation rates and benthic impact on Maërl beds derived from fish farming in the Mediterranean. *Marine Environmental Research*, 71, 22–30.
- Skinner, M.A., Courtenay, S.C., McKindsey, C.W., Carver, C.E. & Mallet, A.L. (2014). Experimental determination of the effects of light limitation from suspended bag oyster (*Crassostrea virginica*) aquaculture on the structure and photosynthesis of eelgrass (*Zostera marina*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 459, 169–180.
- Smith, C.S., Ito, M., Namba, M. & Nakaoka, M. (2018). Oyster aquaculture impacts *Zostera marina* epibiont community composition in Akkeshi-ko estuary, Japan. *PLoS One*, 13.
- UNEP, MAP-RAC & SPA. (2015). *Guidelines for Standardization of Mapping and Monitoring Methods of Marine Magnoliophyta in the Mediterranean*. United Nations Environment Programme - Mediterranean Action Plan - Regional Activity Centre for Specially Protected Areas, Tunis.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2015). *Programmatic Biological Assessment. Shellfish Activities in Washington State Inland Marine Waters* U.S. Army Corps of Engineers Regulatory Program. U.S. Army Corps of Engineers - Seattle district, Washington state.
- Vandermeulen, H. (2005). *Assessing Marine Habitat Sensitivity: A case study with eelgrass (Zostera marina L.) and kelps (Laminaria, Macrocystis)* (Research Document N°2005/032). Fisheries and Oceans Canada - Canadian Science Advisory Secretariat, Vancouver.
- Vassallo, P., Paoli, C., Rovere, A., Montefalcone, M., Morri, C. & Bianchi, C.N. (2013). The value of the seagrass *Posidonia oceanica*: A natural capital assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 75, 157–167.
- de Villèle, X. & Verlaque, M. (2009). Changes and Degradation in a *Posidonia oceanica* Bed Invaded by the Introduced Tropical Alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Botanica Marina*, 38, 79–88.
- Visch, W. (2019). Sustainable Kelp Aquaculture in Sweden. University of Gothenburg, Gothenburg.
- Wagner, E., Dumbauld, B.R., Hacker, S.D., Trimble, A.C., Wisheart, L.M. & Ruesink, J.L. (2012). Density-dependent effects of an introduced oyster, *Crassostrea gigas*, on a native intertidal seagrass, *Zostera marina*. *Marine Ecology Progress Series*, 468, 149–160.
- Walls, A.M., Kennedy, R., Edwards, M.D. & Johnson, M.P. (2017). Impact of kelp cultivation on the Ecological Status of benthic habitats and *Zostera marina* seagrass biomass. *Marine Pollution Bulletin*, 123, 19–27.
- Wilson, S., Blake, C., Berges, J.A. & Maggs, C.A. (2004). Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. *Biological Conservation*, 120, 279–289.

Mesure 2

ENCADREMENT DE L'ACCES AUX INFRASTRUCTURES D'ELEVAGE EN MER

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine sur le domaine public maritime.

Enjeux détaillés

Réduire les pressions relatives aux passages des engins d'exploitation (tracteurs, navires) sur ou au-dessus des habitats marins ainsi que le dérangement des espèces marines dont l'avifaune marine.

Activités

L'ensemble des types d'aquaculture marine sur l'estran ou en mer.

Objectifs environnementaux

DCSMM (2nd cycle 2019)

D01-HB-OE01 : adapter la pression de pâturage et réduire les perturbations physiques des prés salés et végétation pionnière à salicornes liées aux activités anthropiques (de loisir et professionnelles).

D01-HB-OE03 : réduire les perturbations physiques liées à la fréquentation humaine sur les habitats rocheux intertidaux*, notamment par la pêche à pied.
*Champs de blocs, bancs de moules intertidaux, ceintures à cystoseires et trottoirs à lithophyllum.

D01-HB-OE04 : éviter les perturbations physiques sur les bio-constructions à sabellaridés (hermelles) par le piétinement, la pêche à pied de loisir et les engins de pêche de fond.

OE s'appliquant sur l'ensemble des façades Manche est et Mer du nord (MEMN), nord atlantique Manche ouest (NAMO) et sud atlantique (SA) et ciblant certains secteurs en particulier (dont entre autres la baie du Mont Saint-Michel (Saint-Anne de Champeaux / La Frégate) ; Noirmoutier (sud de l'île, commune de Barbâtre) ; la baie de Bourgneuf ; la côte Oléronnaise (Ouest de l'île)).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Les engins d'exploitation (tracteurs amphibies ou non, barges /chalands) peuvent avoir un impact sur les habitats intertidaux et subtidiaux soit par tassement pour les machines non flottantes soit par abrasion superficielle et remaniement pour les navires ou équivalents travaillant à faible profondeur. Aussi, en cas d'avarie, il demeure des risques de pollutions par des contaminants (hydrocarbures et HAP, substances à caractère visqueux, etc.). De plus, ils sont aussi susceptibles de déranger l'avifaune (voire les mammifères marins dans de rares cas).

Objectifs :

Quand cela est techniquement possible, il faut encadrer au mieux l'accès aux infrastructures d'élevage de manière à limiter la dégradation des habitats par la modification des substrats (pressions M2, 4, 5, 6 et 8) ainsi que le dérangement des populations d'oiseaux et de mammifères marins (pressions P8 et P3). Ceci peut aussi participer à la réduction spatiale des risques de fuites d'hydrocarbures ou d'huiles.

Contexte et mise en œuvre

En premier lieu, comme indiqué dans l'arrêté portant schéma des structures des exploitations de la Manche¹⁹³, la circulation des véhicules sur l'estran doit s'effectuer conformément aux règles du code de l'environnement et du code général de la propriété des personnes publiques et prendre en compte les prescriptions des aires marines protégées et les intérêts du patrimoine naturel.

S'il y a lieu, cet encadrement peut être inscrit dans les schémas des structures d'exploitation des cultures marines ainsi que dans les arrêtés pour les installations classées pour l'environnement. Les services de l'Etat (DML et DREAL) en lien avec les professionnels et leurs représentants peuvent donc établir les différentes alternatives pour de possibles encadrements. Par exemple, l'arrêté portant SSECM de la Manche¹⁹³ interdit, hors concessions, de circuler sur les herbiers de zostères, les prés salés, les végétations de haut de plage et les banquettes à lanice ceux-ci présentant une fonctionnalité écologique avérée.

Dans le cas de certaines aires marines protégées (e.g. réserve naturelle nationale), il est aussi possible d'encadrer les accès au domaine public maritime.

Partenaires

Services déconcentrés de l'Etat, organisations professionnelles, collectivités territoriales (partie terrestre des accès), gestionnaires d'AMP, conservatoire du littoral.

Descriptif technique

Il s'agit globalement de définir des voies d'accès et/ou les modalités d'accès permettant d'éviter :

- le passage dans certaines zones (d'alimentation, de repos ou de nidification) et à certaines périodes peut générer un dérangement significatif et une alté-

¹⁹³ Arrêté du 30 avril 2018 n°CM18-025 portant schéma des structures des exploitations de cultures marines du département de la Manche.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D01-HB-OE5 éviter la perturbation physique des herbiers de zostères (par les mouillages, engins de pêche de fond et pêche à pied).

Pour les mouillages, OE s'appliquant sur l'ensemble des façades MEMN, NAMO et SA et ciblant certains secteurs en particulier (archipel de Chausey ; baie de Morlaix ; archipel des Glénan ; mer d'Iroise ; golfe du Morbihan ; estuaire de la Gironde et mer des Pertuis ; bassin d'Arcachon).

D01-OM-OE05 : maintenir ou restaurer les habitats fonctionnels des oiseaux marins dans les zones humides littorales La carte des habitats fonctionnels des Oiseaux Marins¹⁹⁵ sera établie à l'occasion du plan d'action des DSF.

D01-OM-OE06 : limiter le dérangement physique, sonore, lumineux des oiseaux marins¹⁹⁵ au niveau de leurs zones d'habitats fonctionnels.

D01-PC-OE05 : diminuer toutes les pressions qui affectent l'étendue et la condition des zones fonctionnelles halieutiques d'importance ZFHi identifiées (dont frayères, nourriceries, voies de migration), essentielles à la réalisation du cycle de vie des poissons, céphalopodes et crustacés d'intérêt halieutique (Delage & Le Pape 2016; Regimbart *et al.* 2018).

D01-MT-OE01 : limiter le dérangement anthropique des mammifères marins.

Pour les groupes sédentaires de grands dauphins, OE s'appliquant sur l'ensemble des façades mais ciblant en particulier : mer d'Iroise ; golfe Normand Breton.

Pour le phoque veau-marin, OE s'appliquant sur la façade MEMN et cible en particulier : estuaires picards et mer d'Opale ; baie de Seine ; baie du Mont Saint-Michel ; mer du nord méridionale et détroit du Pas-de-Calais.

Pour le phoque gris, OE s'appliquant sur l'ensemble des façades MEMN, NAMO et SA mais ciblant en particulier : Sept-Iles - Trégor-Goëlo ; mer d'Iroise.

ration des habitats d'espèces inscrites dans la directive « oiseaux »¹⁹⁴, notamment les oiseaux marins¹⁹⁵, ainsi que les espèces ayant servi à la désignation du site N2000 (comme indiqué dans la fiche l'établissement d'un calendrier annuel comme indiqué dans la fiche « Zones fonctionnelles pour les espèces Natura 2000 : évitement et réduction des pressions » est un outil d'intérêt pour cet objectif).le passage sur des habitats sensibles au tassement, à l'abrasion ou au remaniement du substrat (e.g. figure 36 dans Basuyaux et al. (2018)).

Il est difficile d'établir des mesures et recommandations universelles en la matière, compte tenu de la spécificité des contextes locaux et des pratiques d'élevage. Cependant, quelques recommandations générales issues ou non de références peuvent être citées (e.g. NOAA fisheries west coast region 2014; U.S. Army Corps of Engineers 2015) :

- Ne pas circuler en haut de plage avec des engins motorisés mais plutôt en bas d'estran pour éviter d'écraser entre autres la laisse de mer ;
- Toujours utiliser le même chemin d'accès / la même voie de navigation aux infrastructures ;
- Circuler / naviguer préférentiellement sur ou au-dessus de sables durs ou de roches peu colonisées par de la faune et de la flore ;
- Utiliser les accès à la mer prévus à cet effet ;
- Utiliser autant que possible des embarcations pour accéder aux infrastructures ;
- Utiliser des véhicules légers, à pneus larges ou sous-gonflés ;
- Veiller à l'entretien optimal des véhicules et des navires pour limiter le risque de pollution accidentelle ;
- Maintenir une colonne d'eau minimum sous le navire que ce soit en travaillant sur les exploitations ou en naviguant (e.g. éviter le départ des exploitations juste après le début de la marée montante).
- Les tracteurs et autres engins lourds sur le milieu intertidal peuvent être encadrés par une gestion des accès (fréquence de travail, limitation du nombre de véhicules au strict nécessaire) ;
- Incorporer des marges de recul de l'ordre de 15 à 50 mètres de l'habitat de zostère, dans la mesure du possible, afin de permettre une circulation plus large et d'atténuer les effets des dommages causés par les manœuvres, les échouements et les hélices des bateaux.

Ces recommandations générales sont à replacer dans un contexte local et une analyse spatiale appropriée de la répartition des habitats sensibles et des espèces Natura 2000, des élevages marins et des voies d'accès. Par exemple, le déplacement en bas d'estran peut ne pas être souhaitable comme dans le cas de l'existence d'un herbier de *Zostera marina*. Elles ne constituent donc que des pistes de réflexion pour la gestion des déplacements sur l'estran et d'accès aux infrastructures en mer, elles doivent s'adapter aux réalités socio-écologiques du territoire concerné.

¹⁹⁴ Directive 2009/147/CE (appelée plus généralement directive Oiseaux) du 30 novembre 2009.

¹⁹⁵ Cf. espèces d'oiseaux marins listées dans l'arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines (voir tableau de l'annexe p. 315).

Difficultés rencontrées

La mise en œuvre (concertation et prise de décision, réglementation et recommandations, contrôle) de tels encadrements est facilitée quand les entreprises et les exploitations sont concentrées sur un secteur (e.g. lotissements conchylicoles) et que les caractéristiques géomorphologiques de la côte ne laisse que peu d'accès au domaine public maritime. Dans ce cas de figure, un possible encadrement présente aussi plus de sens vis-à-vis de l'ampleur des pressions qui est accentuée par le volume des exploitants et des exploitations sur un site donné. En effet, quand les entreprises et les élevages sont dispersés sur un territoire, les pressions sont plus diffuses et nécessiteraient un encadrement au cas par cas. Pour éviter une liste de mesures d'encadrements spécifiques trop élevée, il convient dans ce cas de ne cibler que les accès et déplacements pouvant porter atteinte à des habitats ou à des zones fonctionnelles à forts enjeux (e.g. herbiers de zostères, zones de nidification pour le gravelot à collier interrompu, etc.).



Figure 1 : (a) tables ostréicoles, pignots et chaland. Commune de Lège-Cap Ferret. Parc naturel marin du bassin d'Arcachon (photo : A. Garreau / Office français de la biodiversité). (b) exploitation des moules de bouchot en baie de Somme. Commune de Saint-Quentin en Tourmont en baie de Somme. Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale (photo : L. Mignaux / Terra).

Références / Bibliographie

Rapports et publications :

- Basuyaux, O., Ravache, M., Delécrin, C., Savary, M. & Dauvin, J.-C. (2018). *Cartographie et interactions des zostères en secteur conchylicole sur la côte ouest du Cotentin (CIZO)* (Rapport d'étude CIZO, AESN No. Convention AESN 1063165). SMEL - CNRS - CRC NMN, Saint-Lo.
- Delage, N. & Le Pape, O. (2016). *Zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française. Première partie: définitions, critères d'importance et méthode pour déterminer des zones d'importance à protéger en priorité* (Rapport d'étude N°44). AGROCAMPUS OUEST, Rennes.
- NOAA fisheries west coast region. (2014). *California Eelgrass Mitigation Policy and Implementing Guidelines*. NOAA.
- Regimbart, A., Guitton, J. & Le Pape, O. (2018). *Zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française. Deuxième partie: inventaire* (Rapport d'étude N°46). AGROCAMPUS OUEST, Rennes.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2015). *Programmatic Biological Assessment. Shellfish Activities in Washington State Inland Marine Waters* U.S. Army Corps of Engineers Regulatory Program. U.S. Army Corps of Engineers - Seattle district, Washington state.



Figure 2 : (a) allée centrale stabilisée desservant les concessions sur la pointe de la Fumée. Commune de Fouras. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité). (b) Chalands ostréicoles amphibie sur roues. Commune du Vivier-sur-mer. A proximité du site Natura 2000 Baie du Mont Saint-Michel (photo : L. Mignaux / Terra). (c) traces du passage des tracteurs. Commune d'Agon-Coutainville. A proximité du site Natura 2000 Littoral Ouest Cotentin de Bréhal à Piriou (photo : L. Mignaux / Terra).

Mesure 3

GESTION, ENTRETIEN ET NETTOYAGE INDIVIDUEL OU COLLECTIF DES CONCESSIONS ET DES FRICHES CONCHYLICOLES

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités conchylicoles sur le domaine public maritime.

Enjeux détaillés

Eviter les modifications de substrats par accumulation de supports de fixation (tables, bouchots, récifs d'huîtres, etc.) et leurs répercussions sur les habitats et les espèces associées (e.g. limicoles).

Activités

Ostréculture intertidale surélevée, mytiliculture intertidale sur bouchots, conchyliculture en lagunes méditerranéennes.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D01-HB-OE03 : réduire les perturbations physiques liées à la fréquentation humaine sur les habitats rocheux intertidaux*, notamment par la pêche à pied.

*Champs de blocs, bancs de moules intertidaux, ceintures à cystoseires et trottoirs à lithophyllum.

D01-OM-OE03 : éviter les pertes d'habitats fonctionnels pour les oiseaux marins¹⁹⁶, en particulier dans les zones marines où la densité est maximale¹⁹⁷.

D01-OM-OE05 : maintenir ou restaurer les habitats fonctionnels des oiseaux marins dans les zones humides littorales.

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Ces dernières décennies ont été marquées dans plusieurs bassins de production conchylicole par un développement parfois important de friches conchylicoles, constituées de matériel d'exploitation inutilisé et en dégradation ainsi que de bivalves (coquilles uniquement ou individus vivants captés naturellement sur les substrats durs). Ces friches sont la conséquence d'une mauvaise ou d'une insuffisante exploitation des concessions ou de leur abandon, sans nettoyage préalable¹⁹⁸. Ces friches, qu'elles soient artificielles ou naturelles, sont aujourd'hui à l'origine d'un engorgement dans les zones concernées rehaussant les fonds par détérioration des conditions hydrauliques ainsi que d'une altération du paysage. Le problème est le plus souvent doublé d'une prolifération de crépidules, d'huîtres creuses sauvages *Magallana* (= *Crassostrea*) *gigas* se fixant sur les supports abandonnés (compétiteurs des élevages qui réduisent les rendements) ou d'autres espèces non-indigènes (Jourde 2018). Or, ces pressions sont en mesure de dégrader les habitats marins et les espèces associées (cf. II.C.1.b, II.C.3 et II.C.9). Dans certains cas, ces friches peuvent même porter atteinte à la sécurité de la navigation.



Figure 63 : processus de formation des « crassats » à partir de structures conchylicoles abandonnées (Life Baie l'Aiguillon - ©C. Rousse, LPO - PNR Marais Poitevin 2018).

Objectif :

Il s'agit de favoriser l'entretien et le nettoyage des concessions conchylicoles abandonnées ou non ainsi que les récifs d'huîtres s'installant dessus, soit par l'emploi de moyens collectifs, soit par un meilleur respect de la réglementation (cf. ci-dessous). Cette mesure vise à réduire les pressions relatives aux « Déchets solides (P4) », aux « Modifications des conditions hydrodynamiques (M11) », aux « Obstacles aux mouvements (P1) », aux « Changements d'habitats (M2) ».

Contexte et mise en œuvre

Les friches conchylicoles peuvent être composées d'anciennes tables ou de pieux de bouchots, de poches abandonnées (e.g. stabilisation des allers au sein des parcs), de collecteurs (coupelles et tubes, ardoises, tuiles) et des organismes s'y fixant (e.g. huîtres creuses, moules) demeurant sur le domaine public maritime après l'arrêt de l'activité.

L'article R. 923-11 du code rural et de la pêche maritime indique que, sauf mention contraire sur l'acte de concession, à l'échéance du titre d'occupation, les ouvrages, constructions ou installations de caractère immobilier existant sur la dépendance domaniale occupée sont démolis, soit par le titulaire de l'autorisation, soit à ses frais.

¹⁹⁶ Cf. espèces d'oiseaux marins listées dans l'arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines (voir tableau de l'annexe p. 315).

¹⁹⁷ La baisse des surfaces de vasières liée à la présence de déchets et/ou de récifs d'huîtres réduit entre autres les zones d'alimentation pour les limicoles

¹⁹⁸ e.g. <https://www.onml.fr/articles/le-dpm-en-charentes-maritime-restructuration-et-nettoyage-du-dpm-conchylicole/>

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D02-OE02 : limiter le transfert des espèces non indigènes à partir de zones fortement impactées¹⁹⁹.

D10-OE02 : réduire les apports et la présence de déchets en mer issus des activités, usages et aménagements maritimes.

Coûts (exemples non exhaustifs)

- Projet Life Baie de L'Aiguillon dont l'une des cinq actions et la restauration de la vasière de la RNN (coût de cette action 528 808 € – porteur de projet Parc naturel régional du Marais poitevin – Financement : U.E. Life Nature 49 % ; 11 % Ministère de la Transition écologie et solidaire ; 23 % CDC biodiversité Nature 2050 (filiale caisse des dépôts) ; région Nouvelle-Aquitaine 10 % ; DREAL des Pays de Loire 7 %). La part relative aux travaux s'élève à 350 000 €, à 47 500 € pour le temps de personnel et les frais généraux ainsi qu'à 131 200 € pour les études préalables et l'évaluation.

- Étude de l'impact de la restructuration des bouchots de Boyard (51021 € – porteur de projet CRC de Charente-Maritime – Financement : FEAMP DLAL Pays de Marennes-Oléron 40 %).

- Réhabilitation du Domaine Public Maritime (3 phases 2016 à 2018 pour un montant total de 712 000 € – porteur de projet CRC Arcachon Aquitaine – Financement : FEAMP art. 51 « Augmentation du potentiel des sites aquacoles » 60 %).

- Entretien et réorganisation du domaine public maritime en Charente-Maritime (3 phases de 2015 à 2017 pour un montant total de 1 005 160 € – porteur de projet CRC de Charente-Maritime – Financement : FEAMP art. 51 « Augmentation du potentiel des sites aquacoles » 60 %).

- Projet de restructuration en baie de Bourgneuf / Valorisation et traitement des déchets (293 474 € – porteur de projet CRC des Pays de Loire – Financement : FEAMP art. 51 « Augmentation du potentiel des sites aquacoles » 80 % ; CRC des Pays de Loire 20 %).

¹⁹⁹ Les récifs d'huitres creuses hébergent des espèces non-indigènes (Jourde 2018).

De plus, dans la grande majorité des cas, les schémas des structures des exploitations des cultures marines indiquent que quelle que soit la culture pratiquée les concessionnaires ont obligation : « *d'entretenir en permanence leurs parcs [...], de ramener à terre les structures inutilisées et tout détritus de toutes sortes présents sur leurs concessions ou provenant de celle-ci* »²⁰⁰ ; ou encore « *l'exploitant procède régulièrement à l'élimination des déchets conchylicoles sur ces concessions [...]. Il prend toute disposition utile pour éviter la dégradation de ses concessions à l'état de friche.* »²⁰¹ Or, l'article R. 923-40 stipule qu'« *en cas d'infraction à la réglementation générale des cultures marines ou aux clauses du cahier des charges annexé à l'acte de concession, au schéma des structures [...]* » que les concessions accordées peuvent être modifiées, suspendues temporairement ou retirées.

Cette mesure se décompose donc en trois temps : **suivi de l'état des concessions et respect de la réglementation tant que celles-ci sont concédées ; application de l'obligation de remise en état aux frais de l'exploitant quand la concession se termine ; si la législation n'a pas été appliquée, nettoyage des concessions et de leurs conséquences une fois que la parcelle n'est plus concédée.**

Ces nettoyages peuvent être réalisés de manière individuelle ou collective en fonction des moyens et des volontés locales.

Il est essentiel de préciser qu'il est préférable que les opérations d'entretien et de nettoyage du DPM d'une certaine ampleur soient inscrites dans le schéma des structures d'exploitation des cultures marines local (SSECM). En effet, en zone Natura 2000, en fonction de certains seuils (e.g. coût des travaux), elles peuvent être soumises à une évaluation d'incidence N2000 (cf. II.F.5.a du tome 1). Ainsi, leur intégration au sein du SSECM permet leur prise en compte en amont lors de son évaluation environnementale.



Figure 64 : friche ostréicole avec un amas de matériel. Estran de l'île Madame. Commune de Port-des-Barques. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité).

Partenaires / Financements

Partenariats : entreprises privées, organisations professionnelles, collectivités territoriales, institutions scientifiques, centres techniques.

Financements : Europe (LIFE, FEAMP), Etat, Caisse des dépôts (CDC biodiversité Nature 2050) Région, Département, exploitants.

Descriptif technique

De manière générale, l'entretien, le nettoyage et la réorganisation des zones de production sur le domaine public maritime est une action récurrente sur les grands bassins conchylicoles (bassins d'Arcachon ou de Marennes-Oléron, baie de Bourgneuf, etc.). Ces actions sont régulièrement financées par

²⁰⁰ e.g. Arrêté préfectoral n°2015334-0002 du 30 novembre 2015 portant schéma des structures des exploitations de cultures marines du département du Finistère.

²⁰¹ e.g. Arrêté préfectoral du 6 février 2014 portant schéma des structures des exploitations de cultures marines pour le département de la Gironde.

- Acquisition d'un chenillard marinisé (136 142 € – Porteur de projet CRC de Charente-Maritime – Financement : FEP 40 % ; État 60 %).
- Conception d'un navire polyvalent de nettoyage des parcs et friches (300 000 € – Porteur de projet CRC Arcachon Aquitaine - Financement : FEAMP DLAL du Pays Bassin d'Arcachon-Val de l'Eyre 40 % ; région 40 % ; 20 % CRCAA).

Difficultés rencontrées

Les principales difficultés vont d'abord concerner le respect et l'application de la réglementation en vigueur (entretien des parcelles et nettoyage à l'échéance de la concession). En effet, il faut que les ostréiculteurs aient les moyens techniques (grue et pelle pour dégager les éléments présents sous la vase) ou des financements nécessaires pour nettoyer les concessions (à titre indicatif, cela coûte 2400 € TTC par marée d'intervention pour le navire l'*Estey* (figure 3)), sachant qu'ils peuvent ne pas être responsables de l'état de la concession en fonction des transmissions au fil du temps. Aussi, les sanctions pour non-respect de cette réglementation sont lourdes à manier, nécessitant l'intervention d'un juge. De plus, elles sont très dépendantes de l'organisation des bassins conchylicoles (historique, densité des parcelles, accessibilité, nombre d'entreprises, etc.) par rapport au nombre d'agents de contrôle et des retours des autres professionnels²⁰² (CRC PC & Unité des cultures marines (DDTM 17) 2015). Si l'entretien et le nettoyage ne sont pas réalisés comme il se doit cela peut aboutir à des transformations majeures d'un habitat, souvent de type sablo-vaseux, en récif d'huitres.

les fonds européens (FEP et FEAMP), l'État et les collectivités territoriales. A titre indicatif, entre 2000 et 2015 cela représente un coût de 650 000 € /an pour les opérations de restructuration sur la Charente-Maritime (Girard & Perez Agundez 2015) et environ 1 millions d'euros pour la sous-région marine Golfe de Gascogne sur la période 2014-16 (58 % des coûts à l'échelle nationale) (Girard *et al.* 2017). Les déchets récoltés peuvent être valorisés (cf. fiche mesure « Réduction, Collecte, Gestion et valorisation des déchets et coproduits conchylicoles »).

• Nettoyage des friches ostréicoles du bassin d'Arcachon (2018-32) :

Les friches sur le bassin d'Arcachon représentent plus de 1000 hectares. A ce titre, le conseil de gestion du parc naturel marin du bassin d'Arcachon a établi dans son plan de gestion, validé en 2017, la sous-finalité 10.3 « Des friches ostréicoles réhabilitées ». Les niveaux d'exigence de cette sous-finalité sont d'aboutir à une réhabilitation à hauteur de 75 % en 15 ans, celle-ci devant être équilibrée entre espaces productifs et espaces de nature (PNM BA 2017). En 2018, un essai a été réalisé sur une surface de 5,7 ha basée sur le site du banc des Jacquets (25 ha). Elle a permis de préciser les techniques de nettoyage, les volumes attendus, les caractéristiques technico-économiques et le suivi environnemental correspondant (qualité de l'eau, évolution sédimentaire, macrofaune benthique, herbiers, etc.). Cela a pu être réalisé grâce au navire la *Trezence* (figure 3) accompagnée par un ponton flottant sur lequel repose une pelle et une dameuse (chenillard) marinisée. En 2019, l'opération a été réitérée sur dix marées et a abouti au nettoyage de 21 ha supplémentaires. Cela a permis de ramasser 30 t de déchets (dont 2 tonnes de poches et 26 tonnes de ferraille). Les différents résultats des suivis mis en place permettront de mieux comprendre les conséquences de ces actions de nettoyage.

• Conception d'un navire polyvalent de nettoyage des parcs et friches

Afin de ne plus dépendre d'un navire vieillissant (figure 3.a) ou parfois du navire du département voisin (figure 3.b), le comité régional de la conchyliculture Arcachon Aquitaine a lancé la conception d'un nouveau bateau polyvalent permettant d'intervenir de manière plus efficace dans les actions de nettoyage (faible tirant d'eau en charge, nettoyage des déchets directement à bord pour favoriser leur valorisation, travaillant à marée haute comme à marée basse, charge maximale plus élevée).



Vers un nouveau bateau de travail pour les ostréiculteurs...

Figure 3 : (a) l'*Estey*, bateau utilisé pour le nettoyage des parcs dans le bassin d'Arcachon (photo : *La dépêche du bassin*, n°1181, janvier 2019) ; (b) la *Trezence*, bateau utilisé pour le nettoyage des parcs en Charente-Maritime mais pouvant intervenir dans d'autres secteurs. La pelle sur ponton est visible à côté du bateau. Il est propriété du département de la Charente-Maritime (photo : RNN baie de l'Aiguillon, ONCFS-LPO).

• Retrait des friches conchylicoles dans la baie de l'Aiguillon (2016-20)

Suite à des années d'abandon des anciennes structures conchylicoles (bouchots et tables), la vasière de la baie de l'Aiguillon, zone d'importance pour l'avifaune migratrice²⁰³, montre de vastes aires recouvertes d'huitres creuses

²⁰² <https://www.onml.fr/articles/le-dpm-en-charentes-maritime-restructuration-et-nettoyage-du-dpm-conchylicole/>

²⁰³ En moyenne, ce n'est pas moins de 35000 limicoles (e.g. bécasseau variable, avocette élégante, barge à queue noire, courlis cendré), 25 à 35000 anatidés (e.g. oie cendrée, bernache cravant, sarcelle d'hiver) et 18000 Tadorne de Belon dénombrés en janvier sur la totalité de la RNN de la baie de l'Aiguillon (<http://www.reserve-baie-aiguillon.fr/faune/>).



Figure 4 : (a) pelleuse marinisée spécialement conçue pour les travaux en substrat meuble. Elle est équipée de flotteurs, de 2 moteurs hydrauliques pour la propulsion et d'un broyeur automoteur. (b) opération de retrait des friches conchylicoles (crassats) en baie de l'Aiguillon (photos : RNN baie de l'Aiguillon, ONCFS-LPO).

Magallana (= *Crassostrea*) *gigas* (environ 350 ha) (PNR Marais Poitevin 2017) (figure 5). L'étude bio-sédimentaire des communautés benthiques (Jourde 2018) a permis de mettre en évidence une richesse spécifique plus importante (80 taxons toutes stations confondues) dans les récifs d'huîtres que sur la vase nue (15 au maximum) mais dont 15 % d'entre elles sont non-indigènes (dont 6 espèces sur les 9 systématiquement présentes). Cette diversité est relative au caractère tridimensionnel de l'habitat « récif d'huîtres ». L'objectif final de cette action est de tester la restauration de la vasière sur une surface d'environ 100 ha et de d'évaluer une filière de recyclage (figure 4). Cette réserve naturelle nationale est comprise dans le périmètre du parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. De ce fait cette action participe à deux finalités de son plan de gestion : « limiter les effets négatifs de l'activité sur le milieu marin : modifications hydro-sédimentaires, déchets, espèces et habitats à enjeu majeur de préservation » (n°27) ; et « limiter l'impact des espèces invasives concurrentes des coquillages cultivés » (n°28) (PNM EGMP 2018).



Figure 5 : friches conchylicoles (crassats) en vue proche et éloignée dans la baie de l'Aiguillon (photos : RNN baie de l'Aiguillon, ONCFS-LPO).

- **Projet de restructuration en baie de Bourgneuf / Valorisation et traitement des déchets (2019) :**

Ce projet a pour objectif de nettoyer et de valoriser les déchets présents sur une surface de 16 ha au cours de l'année 2019. Le marché indique que 50 % des déchets récoltés par le prestataire devront être valorisés.

Références / Bibliographie

Liens internet :

Life Baie de l'aiguillon :

<https://life.reserve-baie-aiguillon.fr/>

Nettoyage des friches ostréicoles dans le bassin d'Arcachon :

<https://www.siba-bassin-arcachon.fr/sites/default/files/2018-06/OPERATION%20TEST%20DE%20NETTOYAGE%20DU%20DPM%20Banc%20des%20Jacquets.pdf>

<https://www.siba-bassin-arcachon.fr/pole-de-competences/travaux-maritimes/le-nettoyage-du-domaine-public-maritime/operation-test-de-nettoyage>

<https://youtu.be/3zZH1C8G7kE>

Rapports et publications :

CRC PC & Unité des cultures marines (DDTM 17). (2015). *Volet environnemental du schéma des structures des cultures marines de Charente-Maritime*. Préfecture de la Charente-Maritime, La Rochelle.

Girard, S., Mongruel, R. & Monnier, L. (2017). *Coûts liés à la dégradation des ressources biologiques exploitées. Cas des ressources conchylicoles* (Projet d'annexe au DSF SA/Coûts de la dégradation). UMR AMURE (Ifremer, UBO), Plouzané.

Girard, S. & Perez Agundez, José.A. (2015). *Le foncier ostréicole à Marennes-Oléron: enjeux, gestion et déterminants de la valeur* (Série Rapports N°R-38-2015). Publications électroniques Amure, IFREMER-UBO-IUEM, Brest.

Jourde, J. (2018). *Etude biosédimentaire des communautés benthiques des récifs d'huîtres en baie de l'Aiguillon. Etat des lieux avant travaux. Marché 14NAT/FR/000669-A1-2*. Laboratoire LIENSs, La Rochelle.

PNM BA. (2017). *Plan de gestion du parc naturel marin du bassin d'Arcachon (2017-32)*. AFB, Le Teich.

PNM EGMP. (2018). *Plan de gestion du parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (2018-33)*. AFB, Marennes.

PNR Marais Poitevin. (2017). *Chroniques estuariennes - La Lettre d'info du LIFE Baie de l'Aiguillon* (N°2). PNR Marais Poitevin - LPO - ONCFS, Coulon.

PNR Marais Poitevin. (2018). *Chroniques estuariennes - La Lettre d'info du LIFE Baie de l'Aiguillon* (N°5). PNR Marais Poitevin - LPO - ONCFS, Coulon.

Mesure 4

DECLARATION DE PRODUCTION DES ELEVAGES MARINS ET DES SURFACES DE CONCESSIONS REELLEMENT EXPLOITEES

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine sur le domaine public maritime.

Enjeux détaillés

Habitats côtiers (et espèces marines) sous l'influence d'exploitations d'aquaculture marine.

Activités

Tous types d'aquaculture marine nécessitant des concessions sur le domaine public maritime.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

Variation en fonction des écosystèmes et des types d'aquaculture considérés.

Difficultés rencontrées

Les principales difficultés concernent d'abord les moyens de l'Etat accordés aux services des cultures marines afin de sensibiliser et de contrôler les professionnels à ce sujet puis de banqueriser ces données. La deuxième difficulté est d'ordre technique, politique et culturel : les administrés ont-ils l'habitude de satisfaire à cette obligation légale ? Quelle est la position historique locale de l'administration et des professionnels à ce sujet ? Les usagers ont-ils le temps nécessaire à consacrer à ces demandes et conçoivent-ils ces informations ? Ainsi, en fonction des territoires, de grandes disparités peuvent exister sur ce sujet et se doivent d'être harmonisées pour permettre à plus long terme l'usage de telles données dans des études environnementales.

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Sans données exhaustives sur les usages d'aquaculture marine sur le domaine public maritime, il est difficile d'établir de manière pertinente l'influence des exploitations sur les habitats les hébergeant et sur les espèces y vivant tout ou partie de leur cycle de vie.

Objectifs :

En fonction des territoires, l'obligation de transmission des données de production globale devant être transmises annuellement par les entreprises d'aquaculture marine²⁰⁴ aux services des cultures marines des DDTM n'est pas toujours respectée. Cette déclaration concerne toutes les catégories de produits (naissain/alevins, demi-élevage/juveniles, production consommable) et doit préciser le volume de produits non finis (naissain/alevins, demi-élevage/juveniles ou autres) acquis au cours de la période (du 1^{er} juillet au 30 juin). Il conviendrait d'atteindre des taux de retour plus élevés de la part des professionnels. De plus, il demeure difficile de connaître les concessions réellement exploitées par une entreprise l'aquaculture marine sur une période donnée. Cette caractéristique des exploitations n'est pas obligatoire mais mériterait d'être recensée.

En effet, par le biais de modélisations adaptées (e.g. http://www.aquaspace-h2020.eu/?page_id=13343, cf. fiche « Acquisition de connaissances sur les habitats et espèces en Interactions avec les élevages marins »), des données plus exhaustives concernant les surfaces réellement exploitées (présence ou non d'infrastructures) et des productions (type, biomasse, densités, etc.) permettraient de mieux évaluer les pressions potentielles des exploitations sur la colonne d'eau et sur les habitats benthiques (charge en particules (M12), en nutriments (C6) et en matériel organique (C7) ; modification des conditions hydrodynamiques (M11) ; etc.). Dans le cas de pressions significatives avérées, ces données permettraient d'optimiser les élevages afin d'être le plus adapté aux capacités de support du milieu naturel²⁰⁵ (cf. II.A.3.I) (McKindsey *et al.* 2006b).

Contexte et mise en œuvre

Les services des cultures marines des DDTM sont en charge de collecter et de banqueriser les données relatives aux productions des entreprises. En fonction du contexte local, les retours par les professionnels sont plus ou moins élevés. Par exemple, le service des cultures marines de la Manche adresse des lettres de mise en demeure pour inciter les professionnels à transmettre ces informations.

Partenaires

Services déconcentrés de l'Etat (DML, DREAL), organisations professionnelles (syndicats locaux et CRC), professionnels, gestionnaires d'AMP.

Descriptif technique

En premier lieu, les services des DML et les organisations professionnelles doivent communiquer vers les aquaculteurs afin de leur

²⁰⁴ Art. 5.7 de l'annexe de l'arrêté du 6 juillet 2010 portant approbation du cahier des charges type des autorisations d'exploitation de cultures marines sur le domaine public maritime (cf. II.B.2.b du tome 1 « Contexte national et européen de l'encadrement des activités de cultures marines »)

²⁰⁵ e.g. Art. 10 de l'arrêté n°CM18-025 portant schéma des structures des exploitations de cultures marines du département de la Manche.

rappeler cette obligation légale de déclaration et leur expliquer l'intérêt/l'utilité de disposer de ces informations puis, dans un second temps, si nécessaire, de recourir à des moyens coercitifs (mise en demeure, verbalisation, etc.) pour aboutir à des taux plus élevés de retour. Concernant les données relatives aux concessions réellement exploitées tout ou partie de l'année, compte tenu du fait que ces informations ne font pas l'objet d'une obligation légale, il conviendrait de tester cette demande sur des territoires pilotes afin d'évaluer son opérationnalité. Au-delà des considérations relatives à la vérification des obligations du concessionnaires (respect du schéma des structures des exploitations de cultures marines), pour présenter un intérêt plus élevé, cette démarche peut être accompagnée en parallèle d'études scientifiques sur les interactions entre les élevages marins et les écosystèmes marins nécessitant l'usage de telles données (e.g. capacité de support du milieu, cf. II.A.3.I).

A terme, des données exhaustives anonymisées sur les occupations réelles des concessions (emprise spatiale et temporelle ; densités réelles des espèces élevées ; stade de vie ; etc.) et sur les productions couplées avec le suivi des paramètres environnementaux (t°C, courantologie, sédimentation, production primaire, etc.) pourrait permettre à l'échelle des façades des évaluations plus précises et plus pertinentes des impacts potentiels générés par l'aquaculture marine sur un habitat donné (e.g. élevages conchylicoles et herbiers de zostères naines dans le golfe de Gascogne ; méta-analyse comme dans Ferriss *et al.* (2019)).

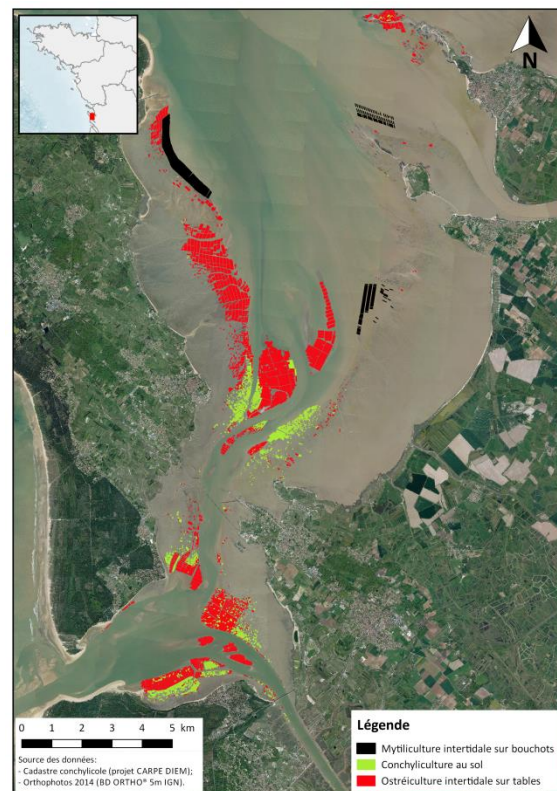


Figure 1 : cadastre conchylicole montrant l'emplacement des différentes zones de cultures sur le secteur du bassin de Marennes Oléron.

Références / Bibliographie

Rapports et publications :

- Ferriss, B.E., Conway-Cranos, L.L., Sanderson, B.L. & Hoberecht, L. (2019). Bivalve aquaculture and eelgrass: A global meta-analysis. *Aquaculture*, 498, 254–262.
- McKindsey, C.W., Thetmeyer, H., Landry, T. & Silvert, W. (2006). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*, 261, 451–462.

Mesure 5

REDUCTION, COLLECTE, GESTION ET VALORISATION DES DECHETS ET COPRODUITS CONCHYLICOLES

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités conchylicoles.

Enjeux détaillés

Tous enjeux relatifs aux écosystèmes marins qui peuvent bénéficier d'une réduction des déchets dans le milieu.

Activités

Ostréculture intertidale surélevée, conchyliculture au sol, mytiliculture intertidale sur bouchots, conchyliculture en lagunes méditerranéennes, conchyliculture sur filières.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D02-OE02 : limiter le transfert des espèces non indigènes (ENI) à partir de zones fortement impactées²⁰⁶.

D10-OE02 : réduire les apports et la présence de déchets en mer issus des activités, usages et aménagements maritimes.

Coûts (exemples non exhaustifs)

Equipements biosourcés et réduction des déchets en amont :

- Projet pilote : mise au point de coupelles pour la captation de naissain d'huîtres à base de matériaux biosourcés / biodégradables (47323 € - porteur de projet CRC de Charente-Maritime – Financement : FEAMP DLAL Pays de Marennes Oléron 40 %).

- Projet de sensibilisation des conchyliculteurs et de leurs clients : favoriser le non usage des sacs plastiques (initiative du CRC des Pays de Loire sur autofinancement) (figure 1) ; recyclage des poches (collaboration CRC PdL / entreprise Intermas) (figure 4).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Au même titre que la plupart des activités anthropiques, la conchyliculture est génératrice d'un nombre élevé de déchets que ce soit par l'usage de matériel à usage unique (filets de catinage, élastiques, coupelles, etc.) ou à usage plus pérenne (poches, tables, etc.) (e.g. Fournier 2018). Ces déchets sont susceptibles d'être dispersés dans l'environnement lorsqu'ils sont perdus ou arrachés par les tempêtes. Une fois en mer, ces déchets sont en mesure de favoriser la dissémination des espèces non-indigènes (cf. II.C.9), la contamination de la chaîne trophique (cf. II.C.2.b), une modification des apports en matière organique et l'introduction de pathogènes (coquilles avec chair) ainsi que d'engendrer des blessures ou de la mortalité de la faune par ingestion (cf. II.C.2.b).

Objectifs :

Dans ce cadre, les objectifs sont multiples et doivent répondre à la politique nationale de prévention et de gestion des déchets, levier essentiel de la transition vers une économie circulaire (article L. 541-1 du code de l'environnement – cf. II.F.9 du tome 1). Cette politique se repose sur : 1- la **prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets** ; 2- la **préparation des déchets en vue de la réutilisation** ; 3- le **recyclage** ; 4- **toute autre valorisation, notamment la valorisation énergétique** ; 5- **l'élimination**.

Ainsi, toute initiative visant à réduire l'usage de matériel (biodégradable ou non), à augmenter le caractère biodégradable des matériaux utilisés, à améliorer la collecte et la valorisation des déchets conchylicoles est susceptible de concourir à l'atteinte de ces objectifs. Cette mesure cible la pression relative aux « Déchets solides (P4) ».

Contexte et mise en œuvre

Contexte :

Les déchets conchylicoles appartiennent au groupe des « déchets d'activités économiques » et à différentes catégories pour lesquelles les objectifs de réduction et de traitements peuvent être différents (décision 2000/532/CE) (cf. II.F.9 du tome 1) :

- **Déchets dangereux** : ces déchets vont correspondre principalement aux combustibles fossiles, aux huiles de vidange et hydrauliques, aux déchets organiques susceptibles d'être porteur d'agents infectieux (ces derniers sont considérés comme des sous-produits animaux de catégorie 2 ou 3 (cf. II.F.9 du tome 1)).
- **Déchets non dangereux** : ils correspondent à une grande partie des déchets produits par la conchyliculture (collecteurs, poches, tables, etc.)
- **Déchets inertes** : ils correspondent par exemple aux anciens collecteurs en ardoise ou en tuiles.
- **Biodéchets** : ils concernent en conchyliculture les résidus minéraux exempts de matière organique issus de la récolte des mollusques marins (coquilles sans chair).

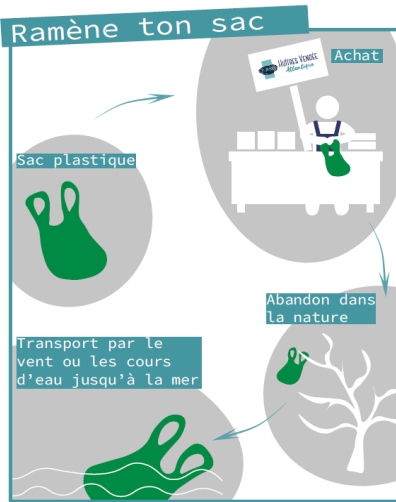
Mise en œuvre :

La mise en œuvre de ce type de mesure commence en amont par la réduction du volume d'équipements utilisés pour les élevages et l'usage de matériaux biosourcés, s'ensuit le regroupement individuel ou collectif des déchets puis leur collecte et leur valorisation.

²⁰⁶ Les déchets de l'aquaculture pouvant être vecteurs d'ENI (Rech et al. 2018), leur réduction limite ce risque.

Coûts (exemples non exhaustifs) (suite)

- Projet INdIGO (INnovative fishing Gear for Ocean) (4,2 millions d'euros dont 2,9 issus des Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)).



Évitons l'utilisation excessive de sacs plastiques. Apportez vos sacs isothermes et boîtes alimentaires.



Figure 1 : campagne de sensibilisation à la réduction de l'usage des sacs plastiques à l'attention des clients des conchyliculteurs représentés par le CRC des Pays de Loire.

Tri et collecte :

- Plateforme de collecte des déchets conchylicoles finaux pour améliorer la gestion des déchets par les professionnels et garantir une plus grande sécurité environnementale pour le site et la collectivité (64600 € - porteur de projet Association Conchylicole de Jospinet – Financement : FEAMP DLAL Pays de Saint-Brieuc 40 % ; Région 20 % ; Public (autre) 20 % ; Asso. Conchy. 20 %).
- Aménagement de centres de collecte pour les déchets conchylicoles et organisation d'un process visant la valorisation des coproduits conchylicoles de Leucate (67510 € / 27116 € - porteur des projets Mairie de Leucate – Financement : FEAMP DLAL Etang Mer Aude 40 % ; Région 20 % ; Département 20 % ; Mairie 20 %).

Pour les coquilles et les résidus de chairs, cette valorisation peut concerner un ensemble de secteurs : agronomie (amendement calcique des sols et alimentation des élevages), bâtiments et travaux (ciment, pavés et remblais de chemins), alimentation humaine et d'animaux domestiques, peinture de signalisation, pharmaceutique et cosmétique, plasturgie, réhabilitation de carrière, médias de filtration pour l'épuration des eaux sur cultures fixées, habitats artificiels pour larves de poissons, mobilier urbain, lunettes, abrasif pour aérogommage (traitement de surface dérivé de la technique du sablage), rechargement d'îlots de nidification pour les larvo-limicoles coloniaux (Marais du Vigueirat 2013), céramiques²⁰⁷ ou encore paillage décoratif.

Les déchets relatifs au matériel, ils peuvent être recyclés (poches à huîtres, ferrailles des tables, etc.), réemployés (poches à huîtres sous forme de sacs et autres objets) ou encore en dernier lieu incinérés pour valorisation énergétique (filets de gatinage, poches trop abimées, coupelles, etc.).

Partenaires / Financements

Partenariats : entreprises privées, organisations professionnelles, collectivités territoriales, institutions scientifiques, centres techniques (CREAA, CEPRALMAR, etc.).

Financements : privés, U.E. (FEAMP (National / DLAL), Interreg), collectivités territoriales, ADEME, etc.

Descriptif technique

La problématique des déchets conchylicoles est centrale pour ce secteur d'activité et elle fait l'objet de nombreuses initiatives portées principalement par la profession. Ces initiatives peuvent intervenir à toutes les étapes de la vie des équipements utilisés et se concentrent pour une partie d'entre elles sur le devenir des sous-produits animaux. A ce titre, il est difficile d'être exhaustif, néanmoins, plusieurs projets peuvent être cités.

• Composition et nature des équipements :

- Innovation en termes de zootechnie avec l'utilisation de nouvelles structures d'élevages pouvant nécessiter moins de matériel présentant un usage limité dans le temps (e.g. élastique pour tenir les poches) et/ou plus résistant aux tempêtes : paniers australiens (Blin 2018), lanternes japonaises, cages pour les élevages en eaux profondes (e.g. Mille *et al.* 2008; Glize & Meneur 2018) ou encore certaines expérimentations en cours de développement (élevage biomimétique d'huîtres dans les bassins conchylicoles de Nouvelle-Aquitaine (Barbier *et al.* 2019)) ;
- Remplacement des tahitiennes (jupes de protection au pied des pieux de bouchots) par des cônes thermo soudés pour limiter les pertes dans le milieu. Cônes numérotés pour connaître l'entreprise à l'origine de la perte du matériel (baie du Mont-Saint-Michel, CRC Bretagne Nord) ;
- Usage de matériaux biosourcés :
 - Pour les coupelles de captation des naissains : projet pilote CRC Charente-Maritime / SeaBird / SOGEMAP (Perraudeau 2018) ;
 - Pour les filets de catinage : projet BIOFILET²⁰⁸ (début printemps 2019) et sa suite le projet FILATIC (débuté en 2020), filets de catinage biosourcés, mailles extrudées / tricotées, alternatives au conditionnement plastique (SMIDAP, CRC Bretagne Sud, CRC Pays de Loire, entreprise Intermas) ; gamme des filets de l'entreprise Filt (matière synthétique et/ou coton (biodégradable)).
 - Pour l'ensemble de la filière pêche et aquaculture : le projet INdIGO (INnovative fishing Gear for Ocean) (2019-23) qui vise à développer des matériaux biodégradables à la fois résistants et à durées de vie contrôlées (partenariat entre les universités de Bretagne Sud, de Ply-

²⁰⁷ Matériaux KAOMER, produit par la start-up ALEGINA (Vendée).

²⁰⁸ Des premiers tests sont en cours et montrent pour l'instant une solidité insuffisante : <https://www.letelegramme.fr/economie/conchyliculture-des-filets-biodegradables-en-test-dans-le-morbihan-17-10-2018-12109731.php>

Coûts (exemples non exhaustifs) (suite)

Valorisation des coproduits et des déchets :

- Brevetage du procédé d'hydrolyse enzymatique séparant chair et coquille afin de valoriser les deux sous-produits (investissement de 500000 € - porteur de projet Mytililab).

- Etude de la faisabilité d'éco procédés autour de l'exploitation des déchets mytilicoles (8825 € - porteur de projet CRC PC – Financement : FEAMP DLAL Pays de Marennes Oléron / Ré La Rochelle Oléron 40 %).

- Projet de valorisation des coproduits de coquillages. Etude de faisabilité de la valorisation de coproduits jus et chair des moules sous-tailles (70316 € - porteur de projet société JUIN et FILS, collaboration avec la société MANE – Financement : FEAMP DLAL Pays de Saint-Brieuc 40 % ; Région 40 % ; Société JUIN et FILS 20 %).

- Etude pour le déploiement d'une économie circulaire des coproduits coquilliers du Bassin d'Arcachon (49850 € - porteur de projet COBAS, communauté d'agglomération Bassin d'Arcachon Sud-Pôle Atlantique – Financement : FEAMP DLAL Pays bassin d'Arcachon – Val de l'Eyre 40 % ; Région 40 % ; COBAS 20 %) (Perrin *et al.* 2018).

- Etude relative à l'intérêt de la mise en place d'une entreprise permettant de répondre aux besoins du territoire en revalorisation des coproduits sous différentes formes (15809 € - porteur de projet ValO'strea – Financement : FEAMP DLAL Hisséo la Normandie 40 % ; Etat 40 % ; ValO'strea 20 %).

- Valorisation des coquilles de moules en baie de somme. Etude technico-économique. Création d'une boucle d'économie circulaire à partir de coquilles de moules (46047 € - CABS, Communauté d'Agglomération de la Baie de Somme – Financement : FEAMP DLAL 3 estuaires 40 % ; Région 40 %) (figure 2.b).

mouth et de Portsmouth, NaturePlast (Expert en Bioplastiques), Filt (Fabrication de filets), le SMEL (Synergie Mer Et Littoral), Centre for Environnement, Fisheries and Aquaculture Science (CEFAS) l'Institut Régional des Matériaux Avancés (IRMA) et Marine Southeast).

• De la collecte à la valorisation:

- Tri, regroupement et collecte des déchets conchylicoles : fondement des 1^{es} démarches concernant la gestion des déchets conchylicoles (e.g. création du centre de traitement de Mourre Blanc – Bassin de Thau) (figure 2.a), plusieurs projets concernent la sensibilisation à la réduction de déchets, au tri et à la collecte (e.g. figures 1, 2 et 4) et d'autres à la création de zones dédiées pour limiter les risques environnementaux et favoriser la valorisation (e.g. association conchylicole du Jospinet (22), mairie de Leucate (65)) ;



Figure 2 : (a) consignes de tri données aux conchyliculteurs sur le bassin de Thau. (b) set de table pour favoriser la valorisation des coquilles de moules sous forme d'objets en wasterial©.

- Matériel conchylicole perdu : plusieurs initiatives de collecte des déchets sur les plages par la profession et les citoyens en partenariat ou non avec des associations (e.g. Surfrider foundation europe) existent (figure 3). Elles sont aussi parfois directement financées par les professionnels comme l'association de réinsertion Pass'Emploi 35 qui intervient durant 3 à 4 jours après chaque grande marée en baie du Mont-Saint-Michel ;
- Mise en place de bacs à marées pouvant être financés par les CRC (e.g. société TEO et CRC CM) ;
- Valorisation des sous-produits et déchets plastiques des filières pêche, conchyliculture et algues en plasturgie dans Hégron Macé *et al.* 2017. Cette étude décrit les possibilités de valorisation en plasturgie (tableau 1) ;
- Valorisation des coquilles vides et/ ou avec résidus de chairs :
 - o Coquilles vides :
 - Coquilles d'huîtres, partenariat entre l'association Perlistrenn créée en 2018 (anciennement Perlucine), l'usine de Kervellerin (Cléguer (56)) et le CRC BS. Valorisation des coquilles d'huîtres sous forme d'un ingrédient naturel dénommé Ostrécal®, concentré de poudre de coquilles d'huîtres à usages multiples ;
 - Coquilles d'huîtres, entreprise OVIVE (Charente-Maritime). Usage en animalerie, en paysagisme, en agro-alimentaire et en agriculture ;
 - o Coquilles d'huîtres et/ou de moules avec chairs :
 - Syndicat mixte du bassin de Thau et la société COVED (Hérault). Box de stockage et de stabilisation par aération forcée avant valorisation pendant 4 à 6 semaines (= accélération de la dégradation de la matière organique) (Tirman & Lambert 2018) ;
 - Projet VALMOCCO : compostage agricole et/ou industriel des sous-produits de moules. Validation de la faisabilité technique d'un compostage de déchets verts avec des moules (Marchand 2015) (CRC Normandie / mer du Nord) ;
 - Valorisation des moules sous-tailles des producteurs de Pénestin par l'entreprise Mussella pour l'alimentation humaine (moules cuites à la vapeur pour le grand public ou l'industrie agroalimentaire) ;

Coûts (exemples non exhaustifs) (suite)

- Projet pour apporter une solution de valorisation des produits coquilliers viable, durable et locale (137 500 € – Porteur de projet ACCETEM – Financement : FEAMP DLAL Côte d'émeraude – Baie du Mont 40 % ; Région 40 % ; ACCETEM 20 %).

- Projet de test d'un écodigesteur (Ecocrobe) sur les produits conchylicoles (moules sous taille et crépidules) en Baie du Mont St-Michel pour un emploi en agronomie et en pharmaceutique (études de marché et techniques soutenu à hauteur de 185 000 € par le FEAMP ainsi que par la région Bretagne et la profession).

Difficultés rencontrées

Les principales difficultés vont concerner en premier lieu le développement de matériel biosourcé (e.g. filets de catinage) ou recyclé (e.g. poches à huîtres). En effet, il faut que les coûts de production soit équivalents ou légèrement supérieurs et que le matériel biosourcé soit aussi résistant que le matériel conventionnel pour être compétitif et ouvrir un marché au sein de la profession conchylicole.

En ce qui concerne la possibilité d'établir des zones collectives de collecte des déchets, cela n'est envisageable que lorsque les établissements ne sont pas trop dispersés sur le territoire considéré. En effet, la collecte peut alors devenir trop coûteuse pour une filière de valorisation et la consommation de carburant engendrée peut faire perdre son sens à une telle démarche.

Pour la valorisation, elle doit d'abord trouver des débouchés techniquement et économiquement viables. Certaines problématiques techniques sont récurrentes comme par exemple la propreté nécessaire des poches à huîtres préalablement à leur recyclage (sel, épibiontes), la séparation des chairs et des coquilles. Aussi, d'un point de vue économique, il faut que les volumes à traiter soient suffisamment importants sans pour autant devoir faire appel à un usage conséquent de transports sur de longues distances (préférence pour les petites unités de traitement en local).

- Coquilles de crépidules et/ou d'huîtres (et hors problématiques conchylicoles les pétoncles et/ou les Saint-Jacques), projets VALCOQAGRI (amendement calcique dans les sols agricoles bas-normand), VECOP (éco-pavés drainants) et de l'ACCETEM (association de Concertation et de Communication Economique de la Terre et de la Mer).

Tableau 1 : extraits modifiés de certains éléments traités dans les fiches techniques de l'analyse AFOM (atout, faiblesse, opportunité, menace) réalisée dans Hégron Macé et al. (2017).

Sous-produits / Déchets	Facteurs positifs	Facteurs négatifs
SOUS-PRODUITS OSTREICOLES: Coquilles d'huîtres	Si traitement adéquat, coquilles répondent au besoin des matières premières utilisables en plasturgie. Calcaire des coquilles peut servir de charge dans le développement de bioplastiques. Intérêt particulier des sous-produits coquilliers ostréicoles dans le cadre du développement de bioplastiques. Exploitation de ces gisements doit prendre en compte l'éclatement de celui-ci et donc la nécessité d'une collecte structurée.	Prétraitement coquille : besoin d'un broyage relativement performant (millimétrique).
SOUS-PRODUITS MYTILICOLES: Moules sous-taille, moules cassées	Si traitement adéquat, coquilles répondent au besoin des matières premières utilisables en plasturgie. Calcaire des coquilles peut servir de charge dans le développement de bioplastiques. L'analyse AFOM montre l'intérêt des sous-produits mytilicoles. Valorisation des coquilles en plasturgie ne peut se satisfaire à elle-même, les coûts de prétraitement (retrait de la matière organique, séchage, broyage, etc.) apparaissent trop importants. Positionnement en complément d'une filière de valorisation de la chair des moules sous-taille.	Sous-produits animaux de catégorie 3 : incidences sur les possibilités de valorisation. Présence de chair : nécessité d'une séparation de la partie organique. Prétraitement coquille : besoin d'un broyage relativement performant (millimétrique).
POCHES A HUÎTRES: Polyéthylène (PE) / PE Haute Densité (PEHD)	PEHD est valorisable. Matière homogène au niveau de sa composition. Professionnels réalisant déjà le stockage et le conditionnement de leurs poches usagées. Existence de réseaux de collecte. Aptitude au recyclage : typologie du matériau, salissures limitées, etc. Au regard de l'analyse AFOM, les poches à huîtres usagées semblent constituer un gisement pertinent à des essais de valorisation en plasturgie. Les volumes et la faisabilité technique est confortée par l'existence d'une filière de recyclage déjà en place.	Nécessité d'étape préalable de lavage et de prétraitement (retrait corps étrangers, broyage,...)
MYTILICOLES: Catins : Filis extrudés : PP et (PE) / Filets mixtes : Coton et PP, coton et PA ; Filets anti-prédation : PEHD ou PP avec additifs	Volumes conséquents. Consommable annuel. Absence actuelle de valorisation. Intérêt certain au niveau de leur valorisation. Volumes générés conséquents. Fortes problématiques liées à la nature des déchets de filets mytilicoles. Mise en place d'une valorisation doit lever certaines problématiques, à savoir : - Séparation des filets de compositions différentes - Présence de souillures (byssus, algues, matière organique, etc.) avec leurs conséquences sur le nettoyage des filets.	Nécessité de réussir à dissocier les différentes natures de catin. Phases de nettoyage et prétraitement conséquentes. Nécessité de mettre en place une logistique de collecte.
TAHITIENNES: Polyéthylène (PE)	Produits en PE, valorisable. Déchets facile à travailler (nettoyage, broyage). Volumes ne justifiant pas la mise en place d'une filière de valorisation. Intérêt de les produire à partir de plastiques biosourcés biodégradables. Perte régulière des tahitiennes lors de la récolte des moules, argument en faveur de leur développement en bioplastiques biodégradable. Nécessite de répondre à un cahier des charges spécifique (durée de vie, résistance, coût).	Volumes générés sont trop faibles pour constituer une filière de valorisation spécifique. Traçabilité difficile quant aux matériaux d'utilisation. Nécessité de mettre en place une logistique de collecte.
COLLECTEURS: Collecteur : PP, Tube : PVC	Le développement de collecteurs en bioplastiques intégrant des sous-produits coquilliers peut supposer une meilleure capacité de captage du naissain. PEHD est valorisable. Valorisation des collecteurs peut avoir un intérêt dans région de captage. Collecteurs fabriqués à base de bioplastiques intégrant une fraction de coquille peut présenter un intérêt.	Collecteurs présentent un recouvrement important en faune fixées, notamment avec coquilles calcaire (reste naissain huître, spirorbes (annélides polychètes), ...). PEHD et PVC ne sont pas valorisables ensemble ce qui suppose la séparation de ces matières.



Figure 3 : affichage de mobilisation pour le nettoyage des plages du Morbihan à l'initiative du CRC Bretagne sud en partenariat avec l'association Surfriider foundation Europe.



Figure 4 : (a) sticker et (b) affiche de sensibilisation pour les entreprises ostréicoles représentées par le CRC des Pays de Loire dans le cadre du projet de recyclage des poches avec l'entreprise Intermas.

Références / Bibliographie

Liens internet :

• Equipements et matériaux recyclés ou biosourcés :

- Poches en matériel recyclé à 50 % : <https://www.intermas.com/fr/nos-activites/aquaculture/ostreiculture//poches-ecologiques.html>
- Filets de gatinage en coton (biodégradable) : https://www.filt.fr/web/le_filet.html
- Projet de coupelles biosourcées : https://webgate.ec.europa.eu/pfis/cms/farnet2/sites/farnet/files/3b_ecodesign_biosourced-coupelle-fr_0.pdf et http://www.seabird.fr/scripts/files/5d42be4c05f043_59236063/seabird-sea156---coupelles-ostreicoles.pdf
- Projet INDIGO : <https://www.ifremer.fr/peche/Le-role-de-l-Ifremer/Recherche/Projets/Description-projets/INDIGO>

• Collecte et valorisation des coproduits / déchets conchyliques :

- Associations / entreprises œuvrant pour la valorisation des coquilles d'huîtres : <https://perlistrenn.fr/> ; <https://www.ovive-sa.fr/> ; <https://alegina.fr/> , <https://youtu.be/NdyDzZFrLU>
- Etablissements intervenant dans la valorisation des moules sous-taille (aboutie ou en développement) :
 - Méthanisation de moules sous taille, groupement Cultimer (<http://www.cultimer.com/>), en développement (thèse) : https://www.utc.fr/fileadmin/user_upload/SITE-UTC/documents/Presse/Interactions_presse/Methanisation/Article_recherches_methanisation_UTC_UniLaSalle.pdf
 - Séparation des coquilles et de la chair pour obtention d'un hydrolysate. Groupe Mytilimer, filiale Mytililab. Site pilote installé en 2020 à Cancale : <https://fr.linkedin.com/company/la-cancalaise---groupe-mytilimer>
 - Valorisation des coproduits des moules de Pénestin (chairs en agro-alimentaire et coquilles pour le captage et la cosmétique (Aquatonale group) : https://actu.fr/bretagne/penestin_56155/penestin-mussella-petites-moules-arrivent-dans-lassiette_22905979.html ; <https://www.youtube.com/watch?v=QNK2ield2U>
- Projets VALCOQAGRI, VECOP et VALMOCCO : http://www.normandiefraicheurmer.fr/media/jdb18_062463600_1413_25112015.pdf
- Syndicat mixte du bassin de Thau et la société COVERED : <https://www.smbt.fr/content/traitement-des-d%C3%A9chets-conchyliques>
- Mise en place d'une filière de gestion des sous-produits coquilliers (Baie de Somme – Picardie maritime) (JCP - Partner 2016, 2017) : [et-ademe-region-hdf.fr/docs/2018/22-03-2018_boucles_locales_economies_circulaires/FT_BS3V.pdf](https://ademe-region-hdf.fr/docs/2018/22-03-2018_boucles_locales_economies_circulaires/FT_BS3V.pdf)
- Bacs à marées : <https://bacamaree.fr/>
- Chantiers d'insertion récupérant les poches ostréicoles pour leur recyclage : <http://www.naviculebleue.com/terre-mer-chantiers/>

Opérations de ramassage des déchets sur les plages par les conchyliculteurs et les citoyens :

- <https://www.ouest-france.fr/normandie/la-conchyliculture-agit-pour-des-plages-propres-4079718>
- <https://www.ouest-france.fr/normandie/coutances-50200/les-conchyliculteurs-en-action-pour-nettoyer-les-plages-de-la-manche-4073290>
- https://actu.fr/normandie/asnelles_14022/bessin-courseulles-arromanches-ostreiculteurs-nettoient-plages_25182824.html
- <https://www.letelegramme.fr/morbihan/arradon/nettoyage-des-plages-une-cinquantaine-de-volontaires-sur-le-pont-17-06-2019-12313099.php>
- <https://www.letelegramme.fr/bretagne/mer/cote-morbihannaise-12-journees-de-nettoyage-avec-les-conchyliculteurs-07-04-2016-11022712.php>
- <https://www.letelegramme.fr/morbihan/locmariaquer/saint-pierre-les-conchyliculteurs-ont-nettoye-les-plages-25-04-2017-11488825.php>
- http://www.brech.fr/Journees-de-nettoyage-de-la-cote-morbihannaise_a_1229_c_8.html
- <https://www.initiativesoceanes.org/fr/collecte/10980>
- <https://www.initiativesoceanes.org/fr/collecte/11363>
- <https://www.initiativesoceanes.org/fr/collecte/11364>

Rapports et publications :

- Barbier, P., Eustache, S., Retailleau, K. & Vieira, J. (2019). *Projet BIOMIMÉTISME « Étude d'opportunité d'une filière d'élevage biomimétique de l'huître creuse dans les bassins conchylicoles de la Nouvelle-Aquitaine »*. Rapport d'expérimentation. (Rapport d'expérimentation). CREEA, Le Château d'Oléron.
- Blin, J.-L. (2018). *Nouveau système d'élevage des huîtres "Poches australiennes."* SMEL, Saint-Lo.
- Fournier, M. (2018). *Etat des lieux des pratiques et pertes de matériel en conchyliculture*. UBO, Brest.
- Glize, P. & Meneur, C. (2018). *Diversification conchylicole en baie de Bourgneuf: potentialités de l'élevage au large (offshore)*. SMIDAP, Nantes.
- Hégron Macé, L., Moal, S., Thomas, B., Lefèvre, T., Raingué, A. & Bêlard, L. (2017). *Sous-produits et déchets plastiques des filières pêche, conchyliculture et algues en Normandie : potentiels de valorisation en plasturgie*. SMEL, IVAMER, NaturePlast.
- JCP - Partner. (2016). *Etude de faisabilité technico-économique pour la mise en place d'une filière de gestion des sous-produits coquilliers: de la collecte à la valorisation en baie de Somme - Picardie maritime* (Phase 1 : diagnostic / Etude du territoire). Syndicat Mixte Baie de Somme Trois Vallées.
- JCP - Partner. (2017). *Etude de faisabilité technico-économique pour la mise en place d'une filière de gestion des sous-produits coquilliers: de la collecte à la valorisation en baie de Somme - Picardie maritime* (Phase 2 : étude des scénarios applicables sur le territoire). Syndicat Mixte Baie de Somme Trois Vallées.
- Marais du Vigueirat. (2013). *Un réseaux pour la protection des oiseaux du littoral*. Life+ ENVOLL. Mise en réseau de sites de production sur le pourtour méditerranéen français pour la protection des laro-limicoles coloniaux.
- Marchand, M. (2015). *Etude de faisabilité de la valorisation des sous-produits de moules en compostage agricole et/ou industriel* (Mémoire de Fin d'Études). AGROCAMPUS OUEST-ENSAIA-CRC NMN, Rennes.
- Mille, D., Oudot, G., Dubillot, E. & Geay, A. (2008). *Etude de la faisabilité de l'élevage d'huîtres en eau profonde dans la baie de La Malconche*. CREEA, Le Château d'Oléron.
- Perraudau, A. (2018). *Projet pilote : mise au point de coupelles pour la captation de naissains d'huîtres à base de matériaux biosourcés / biodégradables*.
- Perrin, O., Taussat, A.-E. & Le Puil, F. (2018). *Etude pour le déploiement d'une économie circulaire des coproduits coquilliers*. GIRUS.
- Rech, S., Salmina, S., Borrell Pichs, Y.J. & García-Vazquez, E. (2018). Dispersal of alien invasive species on anthropogenic litter from European mariculture areas. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 10–16.
- Tirman, C. & Lambert, V. (2018). *Usine de traitement des déchets conchylicoles de Mèze (34). Site du Mourre-Blanc-Rapport annuel exploitation 2017*. COVED.

Mesure 6

COMPOSES CHIMIQUES : INVENTAIRES, PLANS DE PREVENTIONS DES RISQUES ET FORMATION DU PERSONNEL

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Eviter tous rejets intentionnels ou accidentels de composés chimiques dans l'environnement.

Activités

Tous types d'aquaculture marine.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D08-OE02 : réduire les apports directs en mer de contaminants, notamment les hydrocarbures liés au transport maritime et à la navigation.

D08-OE03 : réduire les rejets d'effluents liquides (eaux noires, eaux grises), de résidus d'hydrocarbures et de substances dangereuses issus des navires de commerce, de pêche ou de plaisance.

D08-OE04 : limiter le rejet dans le milieu naturel de contaminants et la dissémination d'espèces non indigènes lors du carénage des navires (plaisance et professionnels) et des équipements immergés (bouées, structures d'élevages, etc.).

D08-OE05 : limiter les apports directs, les transferts et la remobilisation de contaminants en mer liés aux activités en mer autres que le dragage et l'immersion (ex: creusement des fonds marins pour installation des câbles, EMR, transport maritime...) et supprimer les rejets, émissions, relargage des substances dangereuses prioritaires mentionnées en annexe 10 de la DCE.

Coûts (exemples non exhaustifs)

- Formation sanitaire pour les conchyliculteurs des Hauts-de-France (formation HACCP) (10495 € – porteur de projet Comité Régional de la Conchyliculture Normandie - Mer du Nord – Financement : FEAMP DLAL 3 estuaires 40 % ; Région 40 % ; CRC NMN 20 %).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Les installations d'aquaculture marine et les engins d'exploitation nécessitent certains produits chimiques que ce soit pour le fonctionnement des machines, le nettoyage des filets, des bassins et des locaux ou encore pour des besoins vétérinaires (e.g. Bondad-Reantaso *et al.* 2008; MPO 2010). Or, ces substances sont susceptibles de porter atteinte à l'environnement en cas de fuite accidentelle (défaut de manipulation, durite vétuste, bidon / réservoir défailants, mauvaise conservation, etc.).

Objectif :

Il s'agit de minimiser le risque de dispersion de produits chimiques dans le milieu naturel, pouvant affecter les écosystèmes marins, par l'élaboration et la mise en œuvre de plans préventifs d'entretien et nettoyage des équipements, de plans d'intervention d'urgence en cas de pollution et de consignes au personnel des établissements aquacoles. Cela concerne les pressions « Contamination par des éléments traces métallique (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1) », « Contamination par hydrocarbures et HAP (C2) », « Contamination par composés synthétiques (C3) » et « Introduction de substance à caractère visqueux (C5) ».

Contexte et mise en œuvre

Premièrement, il faut minimiser l'utilisation de composés chimiques quels qu'ils soient pour réduire le risque de dissémination dans l'environnement. Deuxièmement, il convient mettre en œuvre des méthodes / outils / bonnes pratiques permettant d'éviter tout rejet dans le milieu et enfin de plans d'intervention d'urgence en cas d'accident susceptible de mener à des risques de dispersion dans le milieu naturel. Ces dispositions ne seront opérationnelles que si le personnel est informé et formé aux bonnes pratiques (affichage de consignes, règlement intérieur, formation extérieure, etc.).

Partenaires

Services déconcentrés de l'Etat (DML, DREAL, DDPP / DDCSPP (direction départementale de la protection des populations), DIRECCTE (Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi)), organisations professionnelles, centres techniques (CREAA, etc.), Agences de l'eau.

Descriptif technique

- **Généralités sur les produits chimiques**

La minimisation de l'utilisation de composés chimiques et des risques de rejets dans le milieu marin s'opère principalement par l'information et la formation du personnel sur les bonnes pratiques d'usage : fréquence et modalités des opérations de nettoyage ; dosages adaptés pour chaque substance utilisée ; stockage systématique des composés chimiques dans des locaux spécifiques ; etc. Aussi, il faut que chaque exploitation dispose également d'un plan de nettoyage et de désinfection des installations, assorti de consignes au personnel. Enfin, il convient d'établir un plan d'intervention d'urgence adapté à chaque composé chimique ou groupe de substances en cas de déversement accidentel.

Difficultés rencontrées

L'établissement de ce type de procédure peut être long et coûteux et donc peu supportable pour des entreprises qui sont généralement de type familiale (d'où la notion de « dérogation d'agrément » vis-à-vis de l'HACCP pour une activité marginale, localisée et restreinte). Dans le secteur de l'aquaculture marine, les usages en termes de machines d'engins et de produits chimiques ne vont varier que selon quelques grandes catégories d'espèces exploitées et de modalités d'élevages : usages ou non de produits vétérinaires ; élevages en mer ou intertidaux vs élevages à terre ; transformations ou non des produits élevés. Ainsi, l'intégration à des guides existants (e.g. Marty *et al.* 2008) de recommandations en termes de gestion des produits chimiques (ou sous d'autres formes : formations spécifiques ou attenantes à d'autres thématiques, etc.) peut être envisagée pour diffuser et partager ces éléments concernant la gestion des risques environnementaux vis-à-vis de ces contaminants potentiels.

• Sécurité sanitaire des aliments et HACCP

Un ensemble de dispositions est déjà en partie mis en œuvre dans les exploitations aquacoles dont la production est destinée à la consommation humaine, au travers de la réglementation sanitaire européenne (cf. Tome 1 II.C et II.D). La méthode d'analyse des risques dite HACCP (« *Hazard Analysis Critical Control Point* ») est une procédure d'hygiène utilisée dans les entreprises du secteur alimentaire afin de maîtriser la sécurité sanitaire des denrées alimentaires²⁰⁹.

Cette méthode permet (ANSES 2014) :

- D'analyser (c'est à dire identifier et évaluer) les dangers associés aux différents stades du procédé de production/fabrication ;
- De définir les moyens nécessaires à leur maîtrise ;
- De valider, puis de surveiller et de vérifier l'efficacité de ces moyens.

Elle se focalise sur trois classes de dangers : biologiques (virus, bactéries, levures, phycotoxines, etc.) ; chimiques (pesticides, désinfectants, métaux lourds, lubrifiants etc.) ; physiques (débris de bois, plastiques, métaux, etc. ; insectes ; etc.) ; et allergènes potentiels. Une phase préalable est nécessaire à sa mise en œuvre, les programmes pré-requis (PRP) qui dans ce cas correspondent majoritairement aux « bonnes pratiques d'hygiène » (BPH), ils forment un « socle hygiène » qui inclus par exemple des règles en termes : d'hygiène corporelle et vestimentaire ; de plans de nettoyage/désinfection ; de lutte contre les nuisibles ; etc. L'HACCP intervient ensuite pour vérifier que les mesures des PRP/BPH suffisent à maîtriser les dangers relatifs à la sécurité des produits de façon satisfaisante. Suivent les mesures de maîtrise qui selon la norme NF V01-002, sont définies comme : « une action et activité à laquelle on peut avoir recours pour prévenir ou éliminer un danger qui menace la sécurité des aliments ou pour le ramener à un niveau acceptable. ». Sans rentrer dans le détail, cette méthode aboutit à la constitution d'un dossier dans lequel figure toutes les procédures et tous les relevés concernant ces principes et leur mise en application.

• HACCP et risques environnementaux

En cas de composés chimiques à risque non évalués par le biais de la mise en œuvre de la réglementation sanitaire²¹⁰ (cf. arrêté du 8 juin 2006 relatif à l'agrément sanitaire des établissements mettant sur le marché des produits d'origine animale ou des denrées contenant des produits d'origine animale) et/ou de la réglementation relative aux installations classées pour l'environnement (cf. Tome 1 II.F.4). Il peut être ainsi pertinent d'effectuer une analyse complémentaire de l'utilisation de composés chimiques non examinés dans l'établissement aquacole en se basant sur une démarche de type HACCP, mais en considérant cette fois-ci les risques environnementaux liés aux composés chimiques utilisés. En effet, comme l'analyse HACCP décompose les activités de l'exploitation en étapes élémentaires du cycle de production, ce document peut faciliter l'analyse initiale de l'utilisation de substances chimiques dans l'établissement.

Il s'agit donc d'identifier, à chaque étape du cycle de production, les opérations associées à l'usage de composés chimiques, les risques de déversement accidentel, les mesures préventives (entretien des équipements, zones de stockages, zone de manipulation et de contention, consignes au personnel, etc.) et les mesures correctives à appliquer en cas d'urgence. Sur ce dernier point, il convient de rédiger un protocole d'intervention proportionné aux risques retenus, assorti d'une description des moyens humains et techniques à mettre en œuvre (pompage, produits de nettoyage adaptés, etc.), des organismes et administrations à informer en urgence, etc.

²⁰⁹ Procédure initialement développée par la NASA et une firme pour l'élimination totale des défauts potentiels de conserves pour les astronautes.

²¹⁰ e.g. Les groupements de défense sanitaire aquacole (GDSa) peuvent fournir un appui à ces démarches.

Une fois le protocole définit, il faut alors former le personnel de l'exploitation aquacole.

Les quelques dispositions ci-dessous sont des exemples d'actions associées à cette mesure :

- **Respect de la législation applicable pour les produits chimiques** (cf. tome 1 II.C et II.D) pour être en accord avec les standards et les limites autorisées à travers l'Union européenne ;
- **Formation des futurs professionnels et du personnel** quant à l'utilisation sécuritaire des produits chimiques (carburants, produits de nettoyage et de désinfection, etc.) lors de l'usage courant et en cas de déversement accidentel ;
- **Usage des composés chimiques**
 - o **Stockage des composés chimiques dans un local spécifique** (que ce soit avant leur usage ou en vue de leur élimination), fermé à clef, hors d'eau et hors d'air, équipé d'un système de rétention ;
 - o **Récupération et tri** des huiles usagées, produits chimiques et équipements divers (filtres, durites, etc.) dans des contenants adaptés avant leur dépôt en déchetterie ou leur retrait par une société spécialisée ;
 - o Favoriser au maximum l'usage de la vaccination pour réduire l'usage de traitements curatifs (antibiotiques) (e.g. Lautraite & Le Breton 2006; Science for Environment Policy 2015) (cf. II.C.7) ;
 - o Ne pas utiliser d'antibiotique en prophylaxie (Burrige *et al.* 2010) ;
 - o Utiliser au maximum les traitements curatifs en zone contrôlée (bassin équipé de dispositif particulier pour le traitement des eaux), privilégier les traitements incorporés à la nourriture pour minimiser les rejets et opter pour des traitements alternatifs que ce soit en préventif ou en curatif (extraits de plantes, probiotiques autorisés, immunostimulants naturels, homéopathie, etc. (Assefa & Abunna 2018)) ;
 - o Favoriser les mises en jachère des cages²¹¹ pour contrôler les maladies (Science for Environment Policy 2015) ;
 - o Sélection génétique favorisant la résistance aux maladies.
- **Nettoyage et entretien des installations et des moyens de transports :**
 - o Utilisation de produits aptes au contact alimentaire et/ou biodégradables pour le nettoyage des installations ;
 - o Nettoyage à terre des filets des cages piscicoles avec de l'eau sous haute pression (IUCN 2007), le nettoyage en mer peut relâcher une quantité importante d'antifouling (Burrige *et al.* 2010) ;
 - o Précaution lors du ravitaillement en carburant et des vidanges en les réalisant dans une zone spécifique avec tout le matériel adapté (e.g. entonnoirs, bidons anti-gouttes, etc.), équipée d'un système de rétention et disposant d'équipements de nettoyage des déversements accidentels (matériaux absorbants appropriés aux produits stockés : neutralisants, incombustibles, coussins oléophiles, etc.) ;
 - o Entretien des équipements motorisés par un professionnel ;
 - o Carénages des embarcations dans les aires spécialisées ;
 - o Utilisation d'antifouling alternatifs les moins néfastes possibles pour l'environnement en l'état des connaissances en fonction des usages (navires, filets, etc.) : élastomères de siloxane à faible énergie de surface, polymères fluorés, exposition à l'air,

²¹¹ Compte tenu du faible développement de la pisciculture marine en France, cette recommandation est peu pertinente car peu applicable vu la taille des exploitations.

immersion dans l'eau douce, jets de bulles d'air, contrôle biologique par des brouteurs, etc. (IUCN 2007; Fitridge *et al.* 2012; Science for Environment Policy 2015).

Références / Bibliographie

Liens internet :

Tableau comparatif de différents anti-fouling en fonction de quatre variables (efficacité du produit, praticité de la mise en œuvre, toxicité pour l'environnement et son coût) :

<http://www.aires-marines.fr/Media/Agence/Fichiers/Documents-techniques/Grille-resultats-antifouling-AFB>

Stockage des produits chimiques :

<http://www.inrs.fr/risques/chimiques/stockage-produits-chimiques.html>

Rapports et publications :

- ANSES. (2014). Fiche-outil pour un guide des bonnes pratiques d'hygiène. L'analyse des dangers présente dans les guides de bonnes pratiques d'hygiène: à quoi ça sert? Comment la réalise-t-on? ANSES.
- Assefa, A. & Abunna, F. (2018). Maintenance of Fish Health in Aquaculture: Review of Epidemiological Approaches for Prevention and Control of Infectious Disease of Fish. *Veterinary Medicine International*. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/vmi/2018/5432497/>. Last accessed 15 April 2019.
- Bondad-Reantaso, M.G., Arthur, J.R. & Subasinghe, R.P. (2008). Understanding and applying risk analysis in aquaculture (N°519). FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. FAO, Rome.
- Burridge, L., Weis, J.S., Cabello, F., Pizarro, J. & Bostick, K. (2010). Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306, 7–23.
- Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J. & Nys, R. de. (2012). The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, 28, 649–669.
- Huntington, T.C., Roberts, H., Cousins, N., Pitta, V., Marchesi, N., Sanmamed, A., *et al.* (2006). Some Aspects of the Environmental Impact of Aquaculture in Sensitive Areas. Report to the DG Fish and Maritime Affairs of the European Commission. Poseidon Aquatic Resource Management, Hampshire, UK.
- IUCN. (2007). Guide pour le développement durable de l'aquaculture méditerranéenne. Interactions entre l'aquaculture et l'environnement. IUCN, Gland, Suisse et Malaga, Espagne.
- Lautraite, A. & Le Breton, A. (2006). Guide des bonnes pratiques sanitaires en élevages piscicoles. FFA, UNPSA, CIPA, DPMA, OFIMER, IFOP.
- Marty, C., Mazouni, N., Gervasoni, E. & Douillon, S. (2008). Guide de l'exploitation conchylicole en Languedoc-Roussillon. CEPALMAR, Sète.
- MPO. (2010). Avis scientifique sur les séquences d'effets liés à l'aquaculture des poissons, des mollusques et des crustacés (Avis scientifique N°2009/71). Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS), Ottawa.
- Science for Environment Policy. (2015). Sustainable Aquaculture (Future brief N°11). Brief produced for the European Commission DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol.

Mesure 7

GESTION ET TRAITEMENT DES EFFLUENTS

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine nécessitant des bassins à terre.

Enjeux détaillés

Eviter et réduire toutes pressions significatives relatives à un traitement insuffisant des effluents.

Activités

Tous types d'aquaculture marine nécessitant des bassins à terre pour la purification, le grossissement, l'alevinage, etc.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D05-OE02 : réduire les apports de nutriments (nitrates et phosphates) notamment en provenance des petits fleuves côtiers, débouchant sur des zones marines sensibles du fait de leur confinement ou de la présence d'habitats sensibles* à ces apports.

*habitats sensibles à l'eutrophisation en Manche et Atlantique : bancs de maërl, bioconstructions à sabellaridés, herbiers de zostères et prés salés.

D05-OE03 : ne pas augmenter les apports de nutriments dans les zones peu ou pas impactées par l'eutrophisation.

Difficultés rencontrées

Les principales difficultés vont être principalement les coûts relatifs à l'installation et la maintenance des équipements de traitement des rejets ainsi qu'à la consommation d'énergie qui peut en découler (Roque d'Orbcastel 2008).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Les rejets des installations d'aquaculture marine peuvent être catégorisés en deux types : provenant de bassins et d'eaux de lavage sans intrants comme c'est le cas pour la conchyliculture (purification, affinage, etc.) ; provenant de bassins avec des élevages nécessitant des intrants (alimentation, produits thérapeutiques, etc.). En fonction des types d'élevage et des traitements effectués avant l'évacuation des effluents (= rejet net), ils peuvent polluer de diverses manières les eaux réceptrices (matière organique, pathogènes, composés chimiques, etc.).

Concernant les effluents des installations conchylicoles à terre et d'autres élevages extensifs (*i.e.* sans intrants), ils sont principalement composés de matière en suspension, organiques et minérales, qui provient du lavage des coquillages et ateliers : débris de coquilles, d'algues, byssus, petits animaux (balanes, ascidies, etc.), vases (*e.g.* DDASS *et al.* 1996).

Par rapport aux effluents des élevages nécessitant des intrants ou s'appuyant sur des organismes issus de croisement (*e.g.* éclosion de naissains d'huîtres triploïdes, Stavrakakis & Cordier 2017), ils peuvent en cas de traitements insuffisants induire une pollution des eaux par différents éléments biologiques ou chimiques (pathogènes, antibiotiques, azote dissout et particulaire, etc.) (*e.g.* Vandeputte *et al.* 2011).

Objectif :

Il est de réduire les concentrations des éléments pouvant porter atteinte à la qualité des eaux et aux écosystèmes récepteurs avant évacuation des effluents vers le milieu naturel. Cette mesure vise à réduire les pressions relatives aux « Dépôts faibles ou importants de matériel (M9 et M10) », à la « Désoxygénation (C8) », à la « Contamination par composés synthétiques (C3) », aux modifications « de la charge en particules (M12) », « de la température (P5) », « de la salinité (P6) » ou encore « des apports en nutriments (C6) ou en matériel organique (C7) », une partie d'entre elles pouvant engendrer un « Changement d'habitat (M2) ».

Contexte et mise en œuvre

Les normes de rejet sont définies par la loi sur l'eau (cf. tome 1, II.F.3), elles contribuent aux objectifs de la directive cadre sur l'eau (cf. tome 1, II.F.1.b). Les effluents sont composés de matière solide (*e.g.* sable, organismes) et de matière dissoute (*e.g.* ammoniac, antibiotiques) pour lesquels les traitements à employer diffèrent (*e.g.* Acierno *et al.* 2006). Les éléments à prendre en compte pour le type de traitement à mettre en place dépendent du circuit d'eau (ouvert / recirculé, débit, taux de renouvellement, etc.), des caractéristiques de l'élevage (densités, aliments, espèces) et des paramètres abiotiques (pH, t°C, débit d'étiage, oxygénation) (*e.g.* Laguerre *et al.* n.d.).

Partenaires

Services déconcentrés de l'Etat (DDTM, DDPP, DREAL), organisations professionnelles, collectivités territoriales, institutions scientifiques, centres techniques, agences de l'eau, entreprises d'équipements pour le traitement des eaux.

Descriptif technique

Concernant les établissements conchylicoles, deux catégories sont à considérer :

- Les grands établissements conchylicoles de production et/ou de conditionnement et d'expédition de coquillages, les petits établissements



Figure 1 : Visite d'une nurserie. Commune d'Arvert. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : S. Remy / Office français de la biodiversité).



Figure 2 : bassin d'installation ostréicole. Commune de Marennes. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : L. Mignaux / Terra).

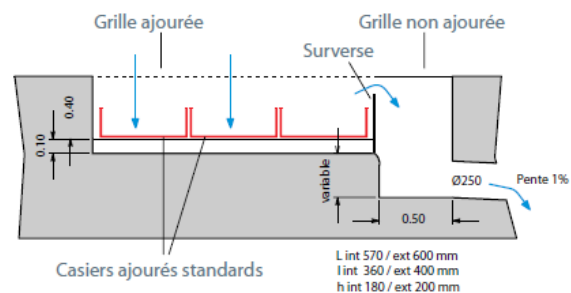
conchylicoles de production rassemblés en lotissements ou zones d'aménagement conchylicole. Ces infrastructures sont la plupart du temps soumises à la loi sur l'eau et disposent de bassins de décantation et autres équipements, ainsi qu'une filière d'élimination des boues de décantation ;

- Les petits établissements conchylicoles plus ou moins dispersés dans les bassins de production. Quand ils ne sont pas équipés de système de traitement avant rejet, ces établissements rejettent leurs eaux de lavage des coquillages et ateliers directement dans le milieu. A l'échelle d'un établissement, ces rejets ne posent aucun problème, les concentrations en matière en suspension (MES) et le niveau de rejet total quotidien sont peu élevés et inférieurs dans tous les cas aux seuils déclaratifs au titre de la Loi sur l'eau. Mais à l'échelle d'un bassin de production, en secteurs fermés ou dans les zones de concentration de ces établissements, le cumul des rejets individuels peut générer des interactions avec les habitats et les espèces marines. La mesure proposée s'adresse à ces établissements mais ne peut être obligatoire sans un constat probant et sans aide financière, compte tenu des coûts qui sont peu supportables pour ces entreprises familiales.

Ainsi, si l'information n'est pas disponible, la première action à réaliser est un diagnostic d'assainissement, portant sur le rejet des eaux qu'elles soient issues des eaux du lavage des sols (eaux plus contaminées sur le plan bactériologique), des eaux de lavage des coquillages (eaux les plus chargées sur le plan particulaire) et les eaux de surverses des bassins de purification (eaux « claires » à forte charge hydraulique) (DDASS *et al.* 1996). Ceci afin de déterminer le niveau d'équipement pour chaque type d'eaux. Ensuite, en cas d'insuffisance de traitement préalable avant rejet dans le milieu, il peut être pertinent d'équiper l'établissement ou d'améliorer celui existant.

Les systèmes de décantation proposés assurent une première filtration par des dégrilleurs. L'ajout de casiers ajourés standard ou de pallox, selon le type de décanteur, améliore de façon importante l'efficacité de la décantation des MES et permet de faciliter le nettoyage, en retenant les gros éléments et ralentissant ainsi le remplissage du décanteur (figure 3). L'entretien des pallox ou casiers ajourés doit être quotidien. Ce point est important puisqu'un mauvais entretien peut entraîner le relarguage des matières initialement retenues (DDASS *et al.* 1996). Plusieurs types de décanteurs existent, en canal pour les petites entreprises, en pallox pour les plus grosses (figure 3).

• **Système type canal avec ajout de casiers**
(entreprise sans moyen de levage)



• **Système Type Pallox**
(entreprise avec moyen de levage)

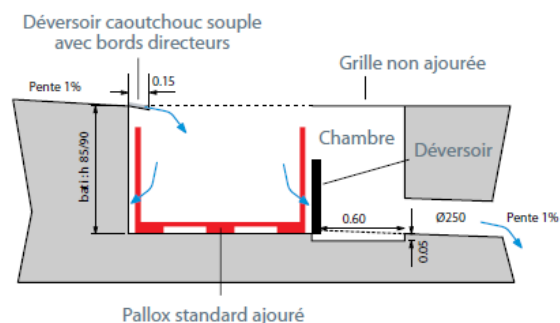


Figure 3 : exemples de système pour faciliter la mécanisation du nettoyage des décanteurs (Marty *et al.* 2008).

Concernant les autres types d'élevage en bassins, il faut adapter les traitements des effluents en fonction du type de circuit (ouvert ou fermé), des espèces exploitées (indigènes vs non-indigènes ou génétiquement différentes), des intrants utilisés (aliments, antibiotiques, etc.), des paramètres abiotiques (e.g. débit, oxygénation) et des obligations réglementaires (i.e. normes de rejets). Les traitements possibles sont ainsi très variés (e.g. Laguerre *et al.* n.d.; Acierno *et al.* 2006; Stavrakakis & Cordier 2017) (figure 4) : bassin de décantation, lagunage ou marais construits ; filtration sur lit granulaire (e.g. filtre à sables) ; tamisage (e.g. tambour rotatif) ; filtres biologiques à lits agités fluidisés (bactéries libres) ; filtres sur supports fixes (mousses, pouzzolane, etc.) ; filtration membranaire et colonne de dépression ; traitements aux UV ou à l'ozone, etc. Compte tenu des coûts de traitements (installation et entretien des équipements, énergie nécessaire à leur fonctionnement), il convient avant tout de réduire au maximum les intrants quels qu'ils soient.

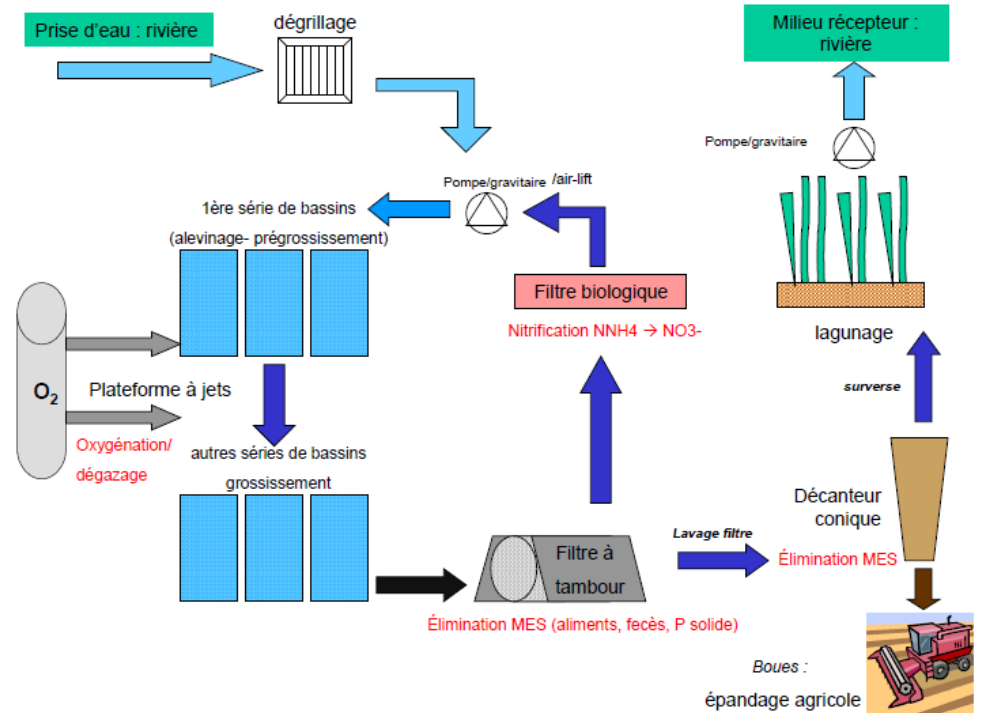


Figure 4 : exemple de traitements possibles des effluents salmonicoles (Laguerre *et al.* n.d.).

Références / Bibliographie

Rapports et publications :

- Acierno, R., Blancheton, J.-P., Ceruti, L., Roque d'Orbcastel, E., Claricoates, J. & Donaldson, G. (2006). *Manual on effluent treatment in aquaculture: Science and Practice. Aquaetreat.* (N°CONTRACT N. COLL-CT-2003-5003 05).
- DDASS, IFREMER & DDE. (1996). *Les rejets générés par les établissements conchylicoles en Basse-Normandie. Evaluation et essais d'optimisation.* IFREMER-DDASS-DDE.
- Laguerre, H., Aubin, J. & Gayet, V. (n.d.). *Le traitement des effluents en salmoniculture* (Enseignement agricole - Formations grandeur nature N°Fiche EAU n°1,3). Agrocampus Ouest, Rennes.
- Marty, C., Mazouni, N., Gervasoni, E. & Douillon, S. (2008). *Guide de l'exploitation conchylicole en Languedoc-Roussillon.* CEPALMAR, Sète.
- Roque d'Orbcastel, E. (2008). *Optimisation de deux systèmes de production piscicole : biotransformation des nutriments et gestion des rejets.* Institut national polytechnique de Toulouse, Toulouse.
- Stavrakakis, C. & Cordier, C. (2017). *Projet TREFFLE : traitement d'effluents d'écloserie conchylicole par filtration membranaire et colonne de dépression* (No. Convention DPMA 2016-IFREMER 16/1212569). IFREMER-Université Aix-Marseille.
- Vandeputte, M., Aubin, J., Médale, F., Quillet, E., Duchaud, E., Boudinot, P., *et al.* (2011). *Vers une pisciculture durable à hautes performances environnementales.* *Innovations Agronomiques*, 12, 179–188.

Mesure 8

BIOSECURITE : TRANSMISSION DE PATHOGENES, INTRODUCTION D'ESPECES NON-INDIGENES (OU LOCALEMENT ABSENTES) ET INTROGRESSION GENETIQUE

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Eviter toutes pressions relatives à l'introduction d'espèces indigènes ou localement absentes potentiellement invasives. Réduire tous risques de transmission de pathogènes vers les populations sauvages. Réduire les risques d'introggression génétique entre populations élevées et sauvages.

Activités

Tous types d'aquaculture marine.

Objectifs environnementaux

DCSMM (2nd cycle 2019)

D02-OE01 : limiter le risque d'introduction d'espèces non indigènes lié à l'importation de faune et de flore.

D02-OE02 : limiter le transfert des espèces non indigènes (ENI) à partir de zones fortement impactées.

D02-OE04 : limiter les risques de dissémination des espèces non indigènes lors de l'introduction et du transfert des espèces aquacoles.

Coûts (exemples non exhaustifs)

- Projet de construction et de déploiement de la marque collective « Les Huitres Arcachon Cap Ferret® » (111 022 €²¹² – Porteur de projet CRCAA – Financement : FEAMP DLAL Pays bassin d'Arcachon – Val de l'Eyre 40 % ; Région 40 % ; CRCAA 20 %).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Comme indiqué dans le II.C.9, l'histoire récente (XX^e siècle) de l'aquaculture marine en fait le deuxième vecteur d'introduction d'espèces invasives à travers le monde après le transport maritime avec des conséquences néfastes aussi bien sur les écosystèmes que sur les élevages eux-mêmes (e.g. crépidules) (e.g. Molnar *et al.* 2008). Or, les espèces invasives sont l'une des causes majeures du déclin de la biodiversité et potentiellement de nombreux services écosystémiques (Katsanevakis *et al.* 2014). Aussi, la transmission de pathogènes par les élevages aquacoles aux espèces marines (e.g. Rees *et al.* 2015; Morton *et al.* 2017) ou aux autres exploitations (e.g. Brenner *et al.* 2014) peut être respectivement une cause de réduction des populations naturelles ou de calamité pour les entreprises. Enfin, l'échappement d'individus d'élevages, au-delà de la transmission d'agents pathogènes, est en mesure, en cas de reproduction, d'engendrer une modification génétique (voire un appauvrissement) des populations sauvages ce qui peut porter atteinte à la pérennité de la population à long terme, voire, de l'espèce (e.g. Glover *et al.* 2017).

Objectif :

Eviter toute introduction d'espèces non-indigènes (hors obtention d'un permis, celui-ci nécessitant au préalable de lever les risques relatifs au caractère potentiellement invasif de l'espèce considérée) ou localement absentes dans les écosystèmes marins ; réduire le risque de transmission de pathogènes entre individus élevés et populations sauvages (mais aussi entre élevages) ; et limiter les possibilités d'introggression génétique entre populations élevées et sauvages. Cet objectif concerne les pressions « Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1) », « Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2) », « Introduction de pathogènes (B3) » et « Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7) ».

Contexte et mise en œuvre

Les textes européens relatifs aux problématiques zoonosaires (Directive 2006/88/CE²¹³, cf. tome 1 II.D), à l'introduction d'espèces non indigènes en aquaculture (Règlement (CE) 708-2007, cf. tome 1 II.F.8) (concernant les bivalves, revue partielle dans Muehlbauer *et al.* 2014) et à la prévention et à la lutte contre les espèces invasives (Règlement (UE) 1143/2014) sont assez complets et traitent de ces questions par un ensemble de dispositions. Afin d'accompagner ces aspects législatifs, il convient de faire connaître et d'appliquer ces réglementations et de promouvoir la mise en œuvre de bonnes pratiques contribuant à éviter tout impact de ces pressions sur les écosystèmes marins.

Partenaires

Services déconcentrés de l'Etat (DML, DREAL, DDPP), organisations professionnelles, institutions scientifiques, centres techniques (CREAA, etc.).

²¹² Seule une partie de cette somme concerne la gamme Tradition® décrite dans cette fiche.

²¹³ Abrogée à compter du 21 avril 2021 par le règlement 2016-429 du parlement européen et du conseil du 9 mars 2016 relatif aux maladies animales transmissibles.

Les principales difficultés vont être :

- Pour l'introduction d'espèces non-indigènes (ou localement absentes) en dehors de l'application de la législation existante : de trouver les moyens de destruction des espèces susceptibles d'être invasives présentes sur le matériel et les individus en élevage sans pour autant nuire à ces derniers et d'inciter les professionnels à le faire sans une réglementation et des contrôles contraignants.

- Pour la transmission des pathogènes : la quasi-impossibilité d'anticiper les épizooties (surtout pour les agents pathogènes émergents) avant leur déclaration puis de déterminer les agents pathogènes responsables et les facteurs associés (température, salinité, etc.), et enfin, de mettre en place les moyens de lutte adéquat à temps pour limiter les conséquences négatives sur les élevages et/ou les écosystèmes.

- Pour l'introgression génétique entre populations élevées et sauvages : d'obtenir des conditions d'élevage (pratiques, structures, etc.) qui permettent de tendre vers un risque nul d'échappement des individus en élevage.

• Introduction d'espèces non-indigènes (ou localement absentes)

Les conséquences possibles parfois délétères d'un point de vue écologique et socio-économique de l'introduction d'espèces-non indigènes (ou localement absentes) sont précisées au II.C.9.

En ce qui concerne les installations ouvertes, la réglementation en la matière impose l'octroi d'un permis par l'autorité compétente pour exploiter ce type d'espèce, appuyé ou non d'un comité consultatif scientifique pour l'expertise)²¹⁴. Une évaluation des risques ainsi que l'établissement de mesures d'atténuation, de surveillance et de plans d'urgence sont à prévoir (e.g. ICES 2005; Cowx *et al.* 2009) afin de lever les menaces d'invasivité. Cela ne s'applique pas aux transferts d'espèces localement absentes à l'intérieur d'un État membre sauf en cas de craintes pour l'environnement (art. 2.2 du règlement 708-2007). Au titre de cette réglementation, l'avis donné par le conseil scientifique régional du patrimoine naturel (CSRPN) de Bretagne appuyé par un groupe d'experts en algologie relatif à la liste des espèces d'algues éligibles à l'algoculture dans les schémas des structures conchylicoles de la région est un exemple de travaux menés par ce type de comité consultatif scientifique (CSRPN de Bretagne 2013).

Considérant que cette réglementation, si elle est correctement appliquée, est suffisante pour protéger les écosystèmes marins de l'introduction d'espèces non-indigènes, il convient de se focaliser uniquement sur les transferts d'espèces au sein du territoire européen. En effet, compte tenu des nécessités zootechniques et socio-économiques des entreprises de nombreux transferts ont lieu entre zones de captage, de pré-grossissement, grossissement et potentiellement d'affinage (e.g. Gouletquer *et al.* 2002). Or, les autorités compétentes ne peuvent limiter les transferts que pour les agents pathogènes listés (e.g. *Microcytis mackini*, *M. refringens*). Ainsi, la présence d'une espèce invasive comme *Crepidula fornicata* ne permet pas de restreindre les transferts de stocks (Muehlbauer *et al.* 2014). Or, ne serait-ce qu'en France métropolitaine certains organismes sont suspectés d'avoir été transportés (ou du moins en partie) d'un bassin de production à un autre par les transferts de bivalves comme c'est le cas pour *Ocenebrellus inornatus*²¹⁵ (Sauriau 2002) ou *Crepidula fornicata*²¹⁶ (Blanchard 1995; Dupont 2004).

Afin de limiter les risques de transferts d'espèces dites « auto-stoppeuses » potentiellement invasives et/ou dommageables aux cultures (cf. II.C.9) ainsi que des agents pathogènes, la première solution est d'éviter les transferts d'individus élevés entre les bassins de production en milieu ouvert (e.g. ostréiculture). Cela n'est possible que, lorsque d'un point de vue technique et économique, le captage, le pré-grossissement, le grossissement et l'affinage sont possibles sur le même bassin. La marque des huîtres « Arcachon Cap Ferret » dite « Tradition® » revendique des huîtres produites entièrement sur le bassin, du captage du naissain à l'huître commercialisable et elle présente donc une solution à ce type de problématique. Néanmoins, cette solution ne peut être mise en œuvre sur tous les bassins de production (même si le réchauffement des eaux pourrait modifier cet état de fait).

Autrement, il convient de limiter en amont le biofouling (cf. fiche « Composés chimiques : Inventaires, plans de préventions des risques et formation du personnel ») et de nettoyer le matériel et les individus élevés avant leur transfert ou avant leur mise en élevage dans le milieu naturel (sous réserve que les effluents des bassins servant au nettoyage du lieu de réception soient correctement traités). Ce point est détaillé dans le code des pratiques en aquaculture marine de l'Irlande (Kelly & Maguire 2009) selon une procédure en quatre étapes : inspecter, retirer, éliminer, signaler.

²¹⁴ L'Etat membre peut s'il est adhérent au CIEM, demander une évaluation des risques par cet organisme avant que le comité consultatif n'émette son avis.

²¹⁵ (Récluz, 1851).

²¹⁶ (Linnaeus, 1758).

Ce guide demeurant très général, il convient en fonction des besoins de mieux cibler les modalités à mettre en œuvre à chaque étape. Par exemple, afin de retirer le bigorneau perceur, Sauriau (2002) indique qu'un nettoyage à l'eau douce 20 min maximum en bassin à terre permet un stress suffisant pour les décoller des supports. Les individus doivent être ensuite détruits au sec à terre (voir aussi le tableau 2 de la même publication pour une revue des moyens de lutte).

Dans les installations aquacoles fermées, il convient de se conformer à la définition du règlement (CE) N°708/2007²¹⁷, c'est-à-dire :

- « l'aquaculture est pratiquée dans un milieu aquatique impliquant une recirculation de l'eau ;
- Les rejets n'ont aucune connexion quelle qu'elle soit avec des eaux libres avant tamisage et filtrage ou percolation et traitement pour empêcher la libération de déchets solides dans le milieu aquatique et toute fuite hors de l'installation d'espèces d'élevage et d'espèces non visées susceptibles de survivre et, ultérieurement, de se reproduire ;
- Installation qui empêche des pertes d'individus d'élevage ou d'espèces non visées et d'autre matériel biologique, y compris d'éléments pathogènes, dues à des facteurs tels que les prédateurs [...] et les inondations [...] (e.g. de l'esturgeon sibérien lors de la tempête Martin de 1999 dans Gouletquer *et al.* 2002) ;
- Installation qui empêche, par des moyens raisonnables les pertes d'individus d'élevage ou d'espèces non visées et d'autre matériel biologique, y compris d'éléments pathogènes, dues au vol et au vandalisme ;
- Et qui assure l'élimination appropriée des organismes morts. »

En définitive, Cowx *et al.* (2009) indiquent que les trois étapes majeurs sont : la prévention, la détection précoce et une réponse rapide et enfin l'éradication et le contrôle. La prévention doit être absolument privilégiée compte tenu des difficultés (financière et technique), voire l'impossibilité, d'éradiquer et de contrôler certaines espèces invasives (e.g. crépidules). A ce titre, le code des pratiques en aquaculture marine de l'Irlande propose d'utiliser la méthode d'analyse des risques « HACCP » afin de lutter contre les espèces invasives (cf. fiche « Composés chimiques : Inventaires, plans de préventions des risques et formation du personnel »).



Figure 1 : (a) coupelles de captage d'huîtres aux Boucholeurs. Commune de Châtelailon-Plage. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : L. Mignaux / Terra). (b) installation des cordes en fibre de coco pour le captage des moules sur les bouchots de la plage des Saumonards. Commune de Saint-Georges-d'Oléron. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : C. Barreaud / Office français de la biodiversité).

• Transmission de pathogènes entre élevages et vers les populations sauvages

Les types d'agents pathogènes potentiels, leurs impacts observés et les vecteurs possibles de transmission ainsi que les mécanismes physiologiques

²¹⁷ Règlement (CE) N°708/2007 du Conseil relatif à l'utilisation en aquaculture des espèces exotiques et des espèces localement absentes modifié par le règlement (UE) N°304/2011 du parlement européen et du conseil du 9 mars 2011.



Figure 2 : (a) femelle de saumon européen (*Salmo salar*) sautant sur le barrage Utxondo, sur la Nivelle (photo : Jean-Pierre Borda / Office français de la biodiversité). (b) élevage de saumons (*Salmo salar*) en cages en mer aux Orcades, Ecosse, U.K. (photo : B. Guichard / Office français de la biodiversité).

et les modes d'élevage pouvant favoriser leur prolifération sont détaillés au II.C.7. Les stratégies de biosécurité déjà évoquées sont (e.g. Kesarcodi-Watson *et al.* 2008; Jones *et al.* 2015; Kennedy *et al.* 2016; Assefa & Abunna 2018) :

- L'usage de pratiques aquacoles adaptées (surveillance, mise en quarantaine, assecs, jachère, etc.) ;
- La restriction et le contrôle des déplacements d'individus élevés ;
- Le recours à des stocks génétiquement résistants ;
- L'usage de traitements prophylactiques (non envisageable en conchyliculture) : compléments alimentaires, stimulants immunitaires non spécifiques, vaccins, probiotiques et prébiotiques, produits issus de plantes médicinales ;
- Le contrôle biologique de l'eau : filtration voire désinfection de l'eau (UV, ozone) (usage possible uniquement dans des petits volumes à traiter : système recirculé, écloserie) ;
- L'usage ciblé d'antibiotiques.

• Introgression génétique entre populations élevées et sauvages

Les mécanismes et les risques relatifs à l'introgression génétique des populations sont détaillés au II.C.8.a Cowx *et al.* (2009) donnent une liste de recommandations pour limiter ou éviter les impacts génétiques sur les populations sauvages de poissons (cependant, certains éléments sont transposables aux autres types d'élevages) :

- L'usage d'élevages clos et résistants demeure la meilleure façon de contenir les individus, par exemple avec des élevages à terre. A ce titre, pour les cages en mer, le rapport de la FAO (Cardia & Lovatelli 2015) donne un ensemble d'éléments techniques et logistiques pour la construction et la maintenance de ces structures afin qu'elles soient le plus robustes possibles dans le temps (e.g. usage de polyéthylène à haute performance (HPPE) pour les filets et les cordes ; vérification de l'usure des structures ; éviter les filets blancs qui invitent certaines espèces à les mordre et donc à les fragiliser ; types de nœuds en fonction des besoins ; filets anti-prédateurs ; etc.) ;
- Eviter l'introduction d'espèces ou de variétés qui peuvent potentiellement se croiser avec les espèces présentes dans le milieu naturel ;
- Eviter les espèces qui peuvent potentiellement se reproduire ;
- L'usage d'individus stériles, ceci évitant les effets génétiques directs. Par exemple, grâce à l'usage d'individus triploïdes. Ce point est à nuancer puisque la triploïdie n'est pas toujours un outil de confinement génétique sûr, des cas de reproduction existant par exemple chez l'huitre creuse (Brenner *et al.* 2014) ;
- Localiser les installations dans des lieux éloignés des populations sauvages et qui minimisent les risques d'échappements et de flux de gènes vers les populations sauvages ;
- Etablir des réserves où l'aquaculture est prohibée afin de protéger les populations sauvages ;
- Restreindre au maximum le transport d'individus vivants afin de réduire la propagation de gènes exotiques et de maladies ;
- Réduire les différences génétiques afin de limiter les effets des flux de gènes entre les individus échappés ou relâchés et les populations sauvages ;
- A cela, il faut rajouter l'établissement de protocoles d'urgence de récupération des individus échappés qui peuvent être réalisés, par exemple, en association avec des pêcheurs qu'ils soient plaisanciers ou professionnels (e.g. Sepúlveda *et al.* 2013).

Liens internet :

Code irlandais des bonnes pratiques face aux espèces invasives en aquaculture marine :

<https://invasivespeciesireland.com/biosecurity/aquaculture/>

Guide FAO des opérations de construction et de maintenance des cages en mer à poisons :

<http://www.fao.org/3/a-i4508e.pdf>

Code de Conduite du CIEM pour les introductions et les transferts d'organismes marins :

<https://www.nobanis.org/globalassets/ices-code-of-practice.pdf>

Rapports et publications :

- Blanchard, M. (1995). Origine et état de la population de *Crepidula fornicata* (Gastropoda Prosobranchia) sur le littoral français. *Haliotis*, 24, 75–86.
- Brenner, M., Fraser, D., Van Nieuwenhove, K., O'Beirn, F., Buck, B.H., Mazurié, J., *et al.* (2014). Bivalve aquaculture transfers in Atlantic Europe. Part B: Environmental impacts of transfer activities. *Ocean & Coastal Management*, 89, 139–146.
- Cardia, F. & Lovatelli, A. (2015). *Aquaculture operations in floating HDPE cages: a field handbook*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. FAO, Rome.
- Cowx, I., Angelopoulos, N., Nunn, A., Britton, R. & Copp, G. (2009). *Environmental impacts of alien species in aquaculture. Coordination action priority FP6 2005-SSP-5A sustainable management of Europe's natural resources D4.4. Guidelines for environmentally sound practices for introductions and translocations in aquaculture.*
- CSRPN de Bretagne. (2013). *Avis du CSRPN de Bretagne N°2013-10-Espèces-Natura 2000 Liste des espèces d'algues éligibles à l'algoculture dans les schémas des structures conchylicoles*. CSRPN de Bretagne, Rennes.
- Dupont, L. (2004). Invasion des côtes françaises par le mollusque exotique *Crepidula fornicata* : contribution de la dispersion larvaire et du système de reproduction au succès de la colonisation.
- Glover, K.A., Solberg, M.F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M.W., *et al.* (2017). Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: Status of knowledge and unanswered questions. *Fish and Fisheries*, 18, 890–927.
- Gouletquer, P., Bachelet, G., Sauriau, P.G. & Noel, P. (2002). Open Atlantic Coast of Europe — A Century of Introduced Species into French Waters. In: *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management* (eds. Leppäkoski, E., Gollasch, S. & Olenin, S.). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 276–290.
- ICES. (2005). *Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms*. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
- Katsanevakis, S., Wallentinus, I., Zenetos, A., Leppäkoski, E., Çınar, M.E., Oztürk, B., *et al.* (2014). Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: a pan-European review. *Aquatic Invasions*, 9, 391–423.
- Kelly, J. & Maguire, C.M. (2009). *Marine aquaculture code of practice: draft* (Prepared for NIEA and NPWS as part of Invasive Species Ireland.). EnviroCentre, Quercus.
- Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C. & Spalding, M.D. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 485–492.
- Morton, A., Routledge, R., Hrushowy, S., Kibenge, M. & Kibenge, F. (2017). The effect of exposure to farmed salmon on piscine orthoreovirus infection and fitness in wild Pacific salmon in British Columbia, Canada. *PLOS ONE*, 12, e0188793.
- Muehlbauer, F., Fraser, D., Brenner, M., Van Nieuwenhove, K., Buck, B.H., Strand, O., *et al.* (2014). Bivalve aquaculture transfers in Atlantic Europe. Part A: Transfer activities and legal framework. *Ocean & Coastal Management*, 89, 127–138.
- Rees, E.E., St-Hilaire, S., Jones, S.R.M., Krkošek, M., DeDominicis, S., Foreman, M.G.G., *et al.* (2015). Spatial patterns of sea lice infection among wild and captive salmon in western Canada. *Landscape Ecol*, 30, 989–1004.
- Sauriau, P.-G. (2002). *Les bigorneaux perceurs des Pertuis Charentais : éléments de biologie - Synthèse des moyens de lutte*. CNRS - Ifremer, L'Houmeau.
- Sepúlveda, M., Arismendi, I., Soto, D., Jara, F. & Farias, F. (2013). Escaped farmed salmon and trout in Chile: incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. *Aquaculture Environment Interactions*, 4, 273–283.

Mesure 9

ZONES FONCTIONNELLES POUR LES ESPECES NATURA 2000 : EVITEMENT ET REDUCTION DES PRESSIONS

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Eviter (ou réduire si l'évitement est impossible) toutes pressions significatives relatives à l'aquaculture marine sur les zones fonctionnelles pour l'avifaune et les pinnipèdes.

Activités

Tous types d'aquaculture marine.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D01-OM-OE03 : éviter les pertes d'habitats fonctionnels pour les oiseaux marins²¹⁸, en particulier dans les zones marines où la densité est maximale.

D01-OM-OE04 : réduire la pression exercée par certaines espèces introduites et domestiques sur les sites de reproduction des oiseaux marins.

D01-OM-OE05 : maintenir ou restaurer les habitats fonctionnels des oiseaux marins²¹⁸ dans les zones humides littorales. La carte des habitats fonctionnels des Oiseaux Marins sera établie à l'occasion du plan d'action des DSF.

D01-OM-OE06 : limiter le dérangement physique, sonore, lumineux des oiseaux marins²¹⁸ au niveau de leurs zones d'habitats fonctionnels.

D01-MT-OE01 : limiter le dérangement anthropique des mammifères marins. Pour les groupes sédentaires de grands dauphins, OE s'appliquant sur l'ensemble des façades mais ciblant en particulier : mer d'Iroise ; golfe Normand Breton. Pour le phoque veau-marin, OE s'appliquant sur la façade MEMN et cible en particulier : estuaires picards et mer d'Opale ; baie de

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Les zones fonctionnelles représentent des enjeux élevés au regard de la préservation des espèces marines. En effet, ces zones présentent différentes fonctions nécessaires au cycle de vie des espèces. Par exemple, certaines zones intertidales sont essentielles à l'alimentation des oiseaux limicoles (e.g. Eybert *et al.* 2003; Catry *et al.* 2011) (cf. II.C.10.c), certains bancs de sables et îlots rocheux servent de lieux de reproduction et de mue pour les phoques (e.g. Cunningham *et al.* 2009) ou encore les zones d'upwellings ou les bords des plateaux continentaux sont des zones d'alimentation privilégiées pour certains oiseaux pélagiques (Weimerskirch 2007; Arcos *et al.* 2012).

Il convient donc de limiter les pressions des activités anthropiques qui engendrent une altération de leurs fonctions que ce soit par le biais du dérangement, de la modification de l'habitat ou le prélèvement d'espèces cibles (déprédation).

A ce titre, cette fiche se focalise sur les zones fonctionnelles pour l'avifaune marine et les pinnipèdes (phoque gris et phoque veau marin) susceptibles d'être soumises à des pressions exercées par l'aquaculture marine.

Objectifs :

L'objectif général est de réduire les interactions réciproquement négatives entre l'aquaculture marine et les espèces Natura 2000 :

- En évitant les nouvelles pressions sur les espèces Natura 2000 ;
- En réduisant autant que possible les pressions existantes tout en tenant compte des enjeux socio-économiques.

Cette mesure vise à réduire les pressions relatives aux « Emissions sonores (et vibrations) (P8) », aux « Prélèvements d'espèces cibles (B5) », aux « Dérangements visuels d'espèces (P3) », aux « Morts ou blessure par collision / interaction (P2) » et aux « Obstacles au mouvement (P1) » ainsi que celles qui pourraient altérer les habitats de ces zones fonctionnelles.

Contexte et mise en œuvre

Ce panel de mesure peut intervenir : dans le cadre de l'élaboration ou la révision des schémas des structures d'exploitation des cultures marines (SSECM) ou des schémas de développement régional de l'aquaculture marine (SRDAM) ; dans les avis rendus vis-à-vis d'une demande d'autorisation d'exploitation des cultures marines (avec ou sans autorisation ICPE) ou dans les formulaires de conformité / d'évaluation simplifiée des incidences Natura 2000 qui peuvent y être attenants (Préfet du Finistère, DML 29 2011; Préfet de la Manche, DML 50 2016) ; pour les préconisations environnementales potentiellement inscrites dans les arrêtés portant SSECM.

Partenaires

Services déconcentrés de l'Etat, organisations professionnelles, collectivités territoriales, institutions scientifiques, centres techniques, associations.

²¹⁸ Cf. espèces d'oiseaux marins listées dans l'arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines (voir tableau de l'annexe p. 315).

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019) (suite)

Seine ; baie du Mont Saint-Michel ; mer du nord méridionale et détroit du Pas-de-Calais. Pour le phoque gris, OE s'appliquant sur l'ensemble des façades MEMN, NAMO et SA mais ciblant en particulier : Sept-Iles - Trégor-Goëlo ; mer d'Iroise.

Difficultés rencontrées

Les principales difficultés vont être de définir ces zones fonctionnelles d'importance et leur qualité (alimentation, repos, reproduction) en fonction des multiples espèces potentielles. Cet exercice est plus simple pour les populations de phoques pour lesquels les reposoirs et les sites de mise bas, même s'ils peuvent varier, sont plutôt bien connus mais il est beaucoup plus complexe en ce qui concerne l'avifaune, ne serait-ce que par le nombre d'espèces à considérer. Aussi, compte tenu des surfaces potentiellement vastes des zones fonctionnelles, en fonction des espèces considérées (e.g. espèce en danger vs espèce de préoccupation mineure), il peut être nécessaire de hiérarchiser en leur sein, les secteurs de plus hautes importances pour les espèces Natura 2000.

Descriptif technique

• Préambule

Quelles que soient les espèces concernées, il convient :

- D'éviter l'installation de nouvelles exploitations sur ces zones fonctionnelles afin de se soustraire au risque de déprédation pour les exploitations et ne pas générer de nouvelles pressions pour les espèces concernées ;
- Limiter l'extension des exploitations existantes sur ces zones fonctionnelles afin d'éviter les modifications potentielles des habitats, le dérangement et les risques de déprédation pour les exploitations. Aussi, pour ces installations, les actions de lutte entraînant la mort des animaux (tirs létaux) sont à proscrire et les autres type d'actions d'effarouchements actives doivent être limitées et coordonnées à l'échelle des secteurs fonctionnels afin de ne pas engendrer la perte de ce site fonctionnel (un dérangement répété pourrait entraîner l'abandon d'un secteur fonctionnel par l'espèce, voire avoir des effets négatifs sur d'autres espèces parfois plus menacées et nuire ainsi au bon déroulé des cycles de vie de ces espèces). L'adoption de bonnes pratiques (présence humaine renforcée, limiter la visibilité des bouées non nécessaires à la sécurité de la navigation, coordination des actions de lutte (cf. fiche « Evaluation et moyens de lutte contre la déprédation et les compétiteurs »)) tenant compte des enjeux socio-économiques locaux et permettant la réduction des pressions potentielles sur ces zones fonctionnelles est recommandée.

• Avifaune marine

Compte tenu du nombre d'espèces potentiellement concernées (86 espèces et sous-espèces), il est impossible d'indiquer ici des mesures spécifiques aux multiples cas de figure, celles-ci pouvant varier en fonction des espèces, des zones fonctionnelles (alimentation, repos, nidification) et du type d'aquaculture considérés. De ce fait, il est absolument nécessaire de se rapprocher des gestionnaires des espaces naturels du secteur (services de l'Etat, collectivités territoriales, associations) et de la communauté scientifique d'étude de l'avifaune locale (e.g. Groupe Ornithologique Normand – GONm, Bretagne Vivante, LPO) pour connaître les espèces présentes sur les sites et leur sensibilité aux différentes pressions.



Figure 1 : (a) phoques veaux marins (*Phoca vitulina*) sur une aire de repos au Hourdel. Commune de Cayeux-sur-Mer. Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale (photo : M. Loeuillet / Office français de la biodiversité). (b) bécasseau maubèche (*Calidris canutus*), variable (*Calidris alpina*) et sanderling (*Calidris alba*) se nourrissant. Golfe Normand-Breton (photo : A. Sturbois / Réserve naturelle nationale de la Baie de Saint-Brieuc).

Il demeure cependant possible de citer quelques grandes généralités :

- Définir les zones fonctionnelles locales susceptibles d'être en interactions avec l'aquaculture marine en précisant les espèces concernées et les raisons de leur présence sur le territoire (halte migratoire, reproduction, hivernage), leur usage par ces populations (alimentation, repos, nidification) et les périodes durant lesquelles elles sont présentes ;
- Connaître l'évolution démographique à l'échelle de l'espèce et des populations locales (baisse, hausse, stable), le statut de l'espèce (préoccupation mineure, espèce quasi-menacée, espèce vulnérable,

etc.) et d'en déduire l'importance du ou des site(s) pour l'espèce (effectif locaux / nationaux / européens). Les plans de gestion des aires marines protégées peuvent être en mesure de fournir ces éléments (e.g. PNM EGMP 2018).

- Ce recueil d'informations permet ensuite de définir les actions à mettre en œuvre pour limiter les pressions. Celles-ci peuvent être de multiples natures, se doivent d'être concertées avec les acteurs locaux et prendre en compte l'effet potentiel sur le cycle de vie des espèces :
 - Déplacement / réaménagement des concessions si cela est possible sans perte de productivité ;
 - Définition des zones d'accès aux concessions et restrictions possibles de circulation en certaines périodes (e.g. nidification en haut de plage) (cf. fiche « Encadrement de l'accès aux infrastructures d'élevage en mer ») ;
 - Réduction du volume des travaux d'exploitation ou retrait des installations sur certaines périodes sensibles ;
 - Modalités de lutte contre la déprédation. Celles-ci ne devraient être que passives en Zone de Protection Spéciale²¹⁹ (ZPS) ainsi que pour les nouvelles installations sur les zones fonctionnelles hors ZPS (l'exploitant s'installe en connaissances de cause et devrait anticiper autant que possible le risque de déprédation dans son modèle économique d'installation). Toutefois, la recolonisation de certains secteurs fonctionnels par les espèces peut générer des interactions et de la déprédation pour les entreprises en place. Dans cette situation, si les actions passives sont toujours à privilégier, en l'absence d'efficacité de ces mesures, les mesures actives (en excluant les tirs létaux) pourraient être envisagées de manière coordonnée à l'échelle du secteur fonctionnel pour l'(les) espèce(s) en lien avec les services de l'Etat si les actions envisagées ne remettent pas en cause l'utilisation du site par les espèces visées et potentiellement impactées par l'action.

L'intégration de l'ensemble de ces éléments dans un calendrier annuel couplant travaux d'exploitation et présence des espèces peut faciliter la mise en exergue de l'adéquation ou non entre activités et avifaune marine. Il permet ainsi de prioriser les actions à mettre en place et à quelle période.

• Phoques

Les interactions entre phoques et aquaculture vont concerner les risques de dérangement sur les zones de reposoirs et de mise bas qui peuvent être notamment problématiques pour la survie des juvéniles (et dans une moindre mesure lors des périodes de mues) (e.g. Jansen *et al.* 2010; Becker *et al.* 2011). En fonction des espèces, des groupes d'individus et de leur nombre, de la période de l'année, de l'individu en lui-même (apprentissage, accoutumance, sensibilité, etc.) (cf. figure 16 dans II.C.5) et des sources de dérangement considérées, le comportement de mise à l'eau des phoques est très variable (e.g. Terhune & Brillant 1996; Andersen *et al.* 2012). Par exemple, Johnson & Acevedo-Gutiérrez (2007) indiquent que pour les phoques veaux-marins (*Phoca vitulina*) de l'état de Washington le passage de bateaux à moteur à moins de 100 m des individus n'engendrent pas de fuite mais que l'arrêt de kayaks ou de bateaux au-delà de cette distance entraînent des mises à l'eau. Pour la même espèce au Danemark, Andersen *et al.* (2012) constatent des fuites à une distance comprise entre 510 et 830 m et entre 165-260 m à l'approche respectivement de navires et de marcheurs. A l'inverse, pour les deux espèces métropolitaines (phoques gris et veau marin), Renouf *et al.* (1981) ne constatent aucune influence du trafic maritime (intensité et direction) sur les mouvements des populations à Miquelon.

²¹⁹ Désignées à partir de l'inventaire des Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) définies par la directive « Oiseaux » (cf. tome 1 II.F.1.a). C'est l'un des deux types de zones réglementaires du réseau Natura 2000.

Ainsi, il est difficile de donner une distance fixe d'évitement (zone tampon) autour de ces zones, chaque cas de figure nécessiterait une distance adaptée. Dans les aires marines protégées où les populations de phoques font l'objet d'un suivi, les gestionnaires d'aires marines protégées (AMP) et/ou associations en charge de ces suivis peuvent fournir une expertise sur les distances minimales à respecter. Si aucune information plus précise ne peut être fournie sur les spécificités des populations locales, il convient de maintenir une distance minimale de 100 m avec les animaux.



Figure 2 : (a) Phoques gris (*Halichoerus grypus*) se prélassant sur les rochers de l'archipel des Etocs. Site Natura 2000 Roches de Penmarc'h (photo : C. Gicquel / Office français de la biodiversité). (b) Barges à queues noires (*Limosa limosa*) sur l'estran. Parc naturel marin d'Iroise (photo : B. Dumeau / Office français de la biodiversité).

Références / Bibliographie

Liens internet :

Pour la description des espèces :

Inventaire national du patrimoine naturel:

<https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>

MarLIN (The marine Life Information Network):

<https://www.marlin.ac.uk/>

Rapports et publications :

- Andersen, S.M., Teilmann, J., Dietz, R., Schmidt, N.M. & Miller, L.A. (2012). Behavioural responses of harbour seals to human-induced disturbances. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22, 113–121.
- Arcos, J.M., Bécares, J., Villero, D., Brotons, L., Rodríguez, B. & Ruiz, A. (2012). Assessing the location and stability of foraging hotspots for pelagic seabirds: An approach to identify marine Important Bird Areas (IBAs) in Spain. *Biological Conservation*, Seabirds and Marine Protected Areas planning, 156, 30–42.
- Becker, B.H., Press, D.T. & Allen, S.G. (2011). Evidence for long-term spatial displacement of breeding and pupping harbour seals by shellfish aquaculture over three decades. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21, 247–260.
- Catry, T., Alves, J.A., Andrade, J., Costa, H., Dias, M.P., Fernandes, P., *et al.* (2011). Long-term declines of wader populations at the Tagus estuary, Portugal: a response to global or local factors? *Bird Conservation International*, 21, 438–453.
- Cunningham, L., Baxter, J.M., Boyd, I.L., Duck, C.D., Lonergan, M., Moss, S.E., *et al.* (2009). Harbour seal movements and haul-out patterns: implications for monitoring and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19, 398–407.
- Eybert, M.-C., Geslin, T., Questiau, S. & Feunteun, E. (2003). Shorebird community variations indicative of a general perturbation in the Mont-Saint-Michel bay (France). *Comptes Rendus Biologies*, 326, 140–147.
- Jansen, J.K., Boveng, P.L., Dahle, S.P. & Bengtson, J.L. (2010). Reaction of Harbor Seals to Cruise Ships. *The Journal of Wildlife Management*, 74, 1186–1194.
- Johnson, A. & Acevedo-Gutiérrez, A. (2007). Regulation compliance by vessels and disturbance of harbour seals (*Phoca vitulina*). *Can. J. Zool.*, 85, 290–294.
- PNM EGMP. (2018). *Plan de gestion du parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (2018-33)*. AFB, Marennes.
- Préfet de la Manche, DML 50. (2016). Formulaire de conformité d'une demande d'autorisation d'exploitation de cultures marines avec le schéma des structures de la Manche.
- Préfet du Finistère, DML 29. (2011). Formulaire d'évaluation simplifiée des incidences Natura 2000. Demande d'autorisation d'exploitation de cultures marines.
- Renouf, D., Gaborko, L., Galway, G. & Finlayson, R. (1981). The effect of disturbance on the daily movements of harbour seals and grey seals between the sea and their hauling grounds at Miquelon. *Applied Animal Ethology*, 7, 373–379.
- Terhune, J.M. & Brilliant, S.W. (1996). Harbour seal vigilance decreases over time since haul out. *Animal Behaviour*, 51, 757–763.
- Weimerskirch, H. (2007). Are seabirds foraging for unpredictable resources? *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, Bio-logging Science: Logging and Relaying Physical and Biological Data Using Animal-Attached Tags, 54, 211–223.

EVALUATION ET MOYENS DE LUTTE CONTRE LA DEPRÉDATION ET LES COMPÉTITEURS

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Oiseaux marins²²⁰ et toutes autres espèces susceptibles de faire l'objet de moyens de lutte contre la déprédation ou d'être impactés sans en être les cibles.

Activités

Tous types d'aquaculture marine impactée par des phénomènes de déprédation, de forte compétition pour la ressource ou d'entrave à l'exploitation.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

D01-OM-OE06 : limiter le dérangement physique, sonore, lumineux des oiseaux marins²²⁰ au niveau de leurs zones d'habitats fonctionnels.

Coûts (exemples non exhaustifs)

- Projet PREDADOR (564 000 € – Porteur de projet CRC Bretagne sud – Financement : Région Bretagne et Département du Morbihan).
- Plan anti étoile de mer sur le secteur de Pénestin (99885 € – Porteur de projet Syndicat conchylicole de Pénestin – Financement : à 14 % du FEAMP).
- Projet SNOTRA (700 000 € – Porteur de projet SMEL – Financement : FEAMP 68 % ; autofinancement et département 32 %).
- Construction de navires afin de surveiller et protéger les zones mytilicoles (baies de Saint-Brieuc et du Mont Saint-Michel) (coûts respectifs de 57 579 € et 85 155 € – Porteur de projet CRC Bretagne Nord – Financement : FEP 67 et 71 % ; État 33 et 29 %).

²²⁰ Cf. espèces d'oiseaux marins listées dans l'arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines (voir tableau de l'annexe p. 315).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

L'aquaculture marine peut être attractive pour de nombreuses espèces marines, soit parce que les structures recouvertes de biofouling présentent un intérêt pour les populations sauvages (protection contre la prédation, alimentation via les aliments en surplus et/ou les rejets) (cf. II.C.2.c), soit parce que les individus en élevage sont eux-mêmes une source potentielle de nourriture pour les organismes (Callier *et al.* 2018).

Ce dernier cas peut avoir un impact non négligeable sur les exploitations (perte de production, destruction de matériel) et la rentabilité des entreprises. Par exemple, Giffon & Gervasoni (2016) estiment les pertes occasionnées par les daurades en région Occitanie à 25 % sur les moules et 10 % sur les huîtres et ceci malgré l'usage de filets de protection par 85 % des conchyliculteurs.

Ainsi, afin de limiter ces pressions de déprédation de nombreuses méthodes ont été développées (cf. II.C.5). Aussi, certaines espèces, dites compétitrices, peuvent réduire la production soit en colmatant les filets et poches (e.g. algues vertes), soit en réduisant l'espace disponible ou encore en captant une partie des aliments présents dans la colonne d'eau (e.g. crépidules).

Les espèces prédatrices des individus élevées en aquaculture marine peuvent être classées en deux types :

- Celles faisant l'objet d'un statut juridique particulier²²¹ (strictement protégées ou pouvant être chassables sous certaines conditions²²²) : cormorans, goélands, macreuses, eiders, phoques, loutres, etc.
- Celles ne faisant l'objet d'aucun statut particulier : dorades, bigorneaux perceurs, étoile de mer, araignées de mer, crépidules, crabes verts, etc.

Objectif :

Dans le cas des espèces sous statut, en présence de déprédation et après la mise en place de mesures d'évitement dédiées (cf. fiche mesure «Zones fonctionnelles pour les espèces Natura 2000 : évitement et réduction des pressions»), il est nécessaire de mettre en place des actions ciblées afin de limiter la déprédation, dans la mesure où elles se doivent de ne pas porter atteintes aux espèces protégées ou doivent être autorisées par disposition réglementaires (e.g. filets de protection vs tirs d'effarouchements vs tirs létaux). Ainsi, ces actions se doivent d'être le moins dommageables possibles (voire sans aucun dommage pour les espèces protégées sauf autorisations particulières) pour les populations ciblées et non ciblées²²³, peu dispendieuses, simples d'utilisation et dont l'efficacité de répulsion / d'exclusion est probante en fonction de l'espèce considérée.

Dans le cas des espèces hors statut, il s'agit de privilégier les méthodes d'exclusion passives (filets, tahitiennes) ou celles ayant un impact limité sur

²²¹ e.g. Directive 2009/147/CE du parlement européen et du conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages ; Arrêté du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection.

²²² e.g. Art. 7.1. de la Directive 2009/147/CE : « Les États membres veillent à ce que la chasse de ces espèces [Annexe II] ne compromette pas les efforts de conservation entrepris dans leur aire de distribution. »

²²³ En fonction des moyens de lutte, des espèces non ciblées peuvent aussi être impactées, certaines pouvant être sous statut.

Difficultés rencontrées

La première problématique est d'estimer les pertes réelles relatives à l'espèce dommageable aux cultures considérées par rapport à d'autres formes de prédation ou à d'autres aléas (coups de vent, compétition intraspécifique, qualité de la nourriture, etc.). Ce point est particulièrement important pour bien cibler qualitativement et quantitativement les mesures à prendre à mettre en place, surtout s'il s'agit d'espèces protégées.

Ensuite, il s'agit de mettre en œuvre des moyens de lutte, ceux-ci pouvant prendre de nombreuses formes en fonction des objectifs désirés (cf. II.C.5). Ces méthodes doivent être peu coûteuses (en matériel comme en temps), simples à mettre en œuvre, efficaces et dans la mesure du possible polyvalentes si plusieurs espèces sont impliquées.

Il s'agit de créer un réflexe pavlovien d'évitement par peur des blessures ou de la douleur (Schakner & Blumstein 2013) (cf. figure 16 dans II.C.5).

Néanmoins, les mesures d'évitement (*i.e.* se soustraire aux zones fréquentées par les prédateurs potentielles) et les mesures de conservation / restauration des habitats des prédateurs demeurent celles à privilégier pour limiter les pressions sur les espèces et les coûts des dispositifs de dissuasion / d'exclusion. Si cela est impossible, les dispositifs passifs d'exclusion restent (filets, cages) les plus efficaces malgré la manutention et les coûts conséquents que cela peut représenter. À ce titre, Richman (2013) précise que les protections rigides en fils soudés enduit de PVC limitent les besoins de nettoyage et de réparation, la réduction de l'hydrodynamisme et les captures accidentelles.

Aussi, compte tenu des capacités potentielles d'accoutumance des vertébrés aux dispositifs de dissuasion, une lutte intégrée se basant sur un panel de dispositifs intervenant aléatoirement dans l'espace et dans le temps sera la plus efficace (*e.g.* Moisan & Cauvier 2010; Richman 2013).

les habitats (ramassage manuel vs drague) et qui suivent les caractéristiques citées précédemment (coût faible, simplicité d'usage, efficacité maximum). Cette mesure vise à réduire les pressions relatives au « Prélèvement d'espèces cibles (B5), à la « Mort par blessure collision / interaction (P2) » et au « Dérangement visuel d'espèces (P3) ».

Contexte et mise en œuvre

Les contextes et les mises en œuvre des moyens de lutte contre la déprédation sont très variables en fonction des territoires, des cultures marines considérées et des espèces prédatrices associées.

Partenaires / Financements

Partenariats : institutions scientifiques (IFREMER, MNHN, etc.), bureaux d'étude, associations environnementales, organisations professionnelles (CRC, CIPA, etc.), centres techniques (CREAA, CEPALMAR, etc.), administrations, entreprises privées.

Financements : Agences de l'eau, U.E. ((DLAL) FEAMP, FEDER), collectivités territoriales (*e.g.* départements et régions), privés.

Descriptif technique

Les documents et projets relatifs à ce sujet peuvent s'intéresser directement aux impacts des déprédations, aux moyens de luttés et/ou à la valorisation des espèces nuisibles.

À ce sujet plusieurs documents ou projets peuvent être cités :

- **Transversaux à toutes les formes de prédateurs / compétiteurs :**
 - Éléments généraux sur les moyens de lutte contre les prédateurs et les compétiteurs de la conchyliculture (Marteil 1976, 1979). Ces documents souvent caducs sur les moyens de lutte (entre autres par l'abandon des cultures à plat et l'usage antérieur de produits chimiques) restent néanmoins d'actualité sur les espèces nuisibles aux élevages conchylicoles.
 - Quelques éléments sur les prédateurs de la conchyliculture en Méditerranée et les moyens de lutte (fiche 2.2.4 dans Marty *et al.* 2008) : dorades, éponges du genre *Cliona*²²⁴ et vers marins du genre *Polydora*²²⁵.
 - Revue complète des moyens de lutte contre la prédation des poissons en bassins extérieurs en eau douce au Québec mais qui présente un intérêt pour la pisciculture marine à terre (Marcotte 2007). Elle conclut qu'il n'y a pas de système polyvalent et qu'il faut s'adapter à la localisation du site et à sa configuration ainsi qu'au nombre et aux espèces de prédateurs présents, tout en choisissant une solution viable économiquement pour les entreprises.
- **Spécifiques aux prédateurs aviaires :**
 - Evaluations préalables des pertes de production :**
 - Mécanismes de distribution des macreuses en liens avec le climat, les ressources benthiques et la mytiliculture (Tolon 2013). Ce rapport met en avant la complexité de l'évaluation des pertes sur les bouchots par les macreuses. En effet, il est difficile :
 - D'obtenir une vision exhaustive des déplacements et des comportements alimentaires individuels au sein la population (certains individus s'alimentent dans les parcs et d'autres non) ;
 - De connaître les pertes liées à une ingestion directe des petites moules et celles relatives au surplus d'arrachement qui peut s'exercer pour atteindre les individus de faibles tailles (pertes indirectes) ;
 - De quantifier cette source de prédation par rapport aux autres prédateurs potentiels.

²²⁴ Grant, 1826.

²²⁵ Bosc, 1802.

Difficultés rencontrées (suite)

Les cultures marines pouvant être attractives pour des espèces non présentes à l'origine sur la zone, il convient dans ce cas de prendre en compte cet aspect des choses lors de l'instruction d'une demande de dérogation (cf. Tome 1 II.F.6).



Figure 1 : goéland argenté (*Larus argentatus*) se servant des bouchots comme reposoir. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis (photo : R. Coz / Office français de la biodiversité).

- Etude de la déprédation aviaire sur les élevages de moules de Boyard (Charente-Maritime) (Mille 2017). Cette étude s'est confrontée à un ensemble de difficultés (nombre de réplicats insuffisants, pertes de moules liés aux filets, cages heurtant les pieux, évitement par les oiseaux, etc.) rendant l'évaluation des impacts et de l'influence des moyens de protection peu concluante. Elle permet de mieux comprendre les écueils possibles lors de la réalisation de tels travaux d'évaluation ;
- Etude sur l'estimation de la prédation des moules de bouchots par les goélands argentés dans les Côtes d'Armor (Bourgès 2018). Cette étude indique que Les pertes de moules relatives aux goélands argentés s'élèvent à 22 % (± 16) en baie de Saint-Brieuc, 17 % (± 16) en baie de Fresnaye et à 20 % (± 15) en baie de l'Arguenon et ce malgré la mise en place de gardiennage. Ils se nourrissent en grande majorité de naissains pendant la période de juin à septembre. Aussi, les différentes techniques testées à ce jour ne se sont pas montrées probantes, soit parce que les protections mécaniques présentent trop de contraintes (coût, temps d'installation et de maintenance, réduction de la croissance des moules), soit parce que les dispositifs sonores passifs sont limités à l'usage (accoutumance des oiseaux et gênes occasionnées pour les riverains à proximité). Ainsi, selon cette étude, la méthode la plus efficace demeure les tirs à blanc d'effarouchement accompagnés ponctuellement par des tirs létaux pour que ces premiers soient réellement efficaces dans la durée. La mise en place d'amas de moules sous-tailles à proximité aide à limiter le retour immédiat des individus sur les bouchots. Il faut aussi noter que les juvéniles sont la part la moins farouche de la population.
- Pré-évaluation de la prédation par l'huitrier pie dans l'ouest Cotentin (Besson 2014). Ce rapport d'enquête conclut que même s'il existe une prédation sur les huîtres par l'espèce, celle-ci est trop négligeable pour nécessiter des études complémentaires.

Mise en œuvre de mesures d'effarouchement et de destruction :

En avant-propos, il convient de répreciser que ces actions doivent être précédées de toutes les mesures d'évitement possibles comme la limitation d'autorisation de nouvelles installations sur les zones fonctionnelles sensibles (e.g. alimentation de malacophages) ou dans les AMPs dédiées partiellement ou totalement à la protection de l'avifaune (e.g. ZPS, RNN). Si cela est impossible, il convient en amont d'évaluer les pertes et profits pour mesurer la fiabilité financière du projet en l'absence de tirs d'effarouchement et/ou létaux qui ne doivent pas être autorisés sur ces zones (risque de porter atteinte à d'autres espèces non prédatrices).

Dans le cas d'installations préexistantes à la désignation d'aires marines protégées dédiées à l'avifaune, dans le cas de déprédation relatives à des espèces protégées, il est nécessaire de montrer que c'est dans l'objectif « *de prévenir des dommages importants notamment aux cultures, aux forêts, aux pêcheries, aux eaux et à d'autres formes de propriété* »²²⁶ et que cette dérogation ne doit pas nuire « *au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle* »²²⁷.

Dossiers de demande d'effarouchement et de destruction de goélands argentés (CRC Normandie / Mer du Nord 2016a, 2017a, 2018). Ces dossiers comprennent un ensemble de documents (e.g. ONCFS 2003; Batailler 2005; Blin *et al.* 2013; CRC Normandie / Mer du Nord 2016b, 2017b; Gallien & Debout 2016) représentant de bons exemples des exigences de suivi, de connaissances, de concertation relatives au demande de dérogations concernant les espèces protégées. Dans ce contexte, depuis les années 2000 un groupe de travail spécifique a été

²²⁶ Art. L. 411-2-4^b du Code de l'environnement.

²²⁷ Art. L. 411-2-4 du Code de l'environnement.



Figure 2 : poches ostréicoles recouvertes d'algues vertes. Site Natura 2000 Ria d'Étel (photo : A. Pibot / Office français de la biodiversité).



Figure 3 : daurade royale (*Sparus aurata*²²⁸). Parc national des calanques (photo : B. Guichard / Office français de la biodiversité).



Figure 4 : étoile de mer commune (*Asteria rubens*²²⁸). Parc naturel marin d'Iroise (photo : Y. Turpin / Office français de la biodiversité).

constitué, il composé des services de l'Etat (DDTM et DREAL), de l'ONCFS, du Groupe Ornithologique Normand, du CRC Normandie – Mer du Nord et, ces dernières années, du CELRL, du SMEL, de l'AFB et de la RNN de Beauguillot ;

- Un rapport (Moisan & Cauvier 2010) et une note (Richman 2013b) sur la prédation des moules d'élevages sur filières par les canards sur la côte est de l'Amérique du nord préconisent plusieurs recommandations :
 - o Être présents sur les filières. Les activités humaines sur les sites d'élevages induisent une réduction de la présence des oiseaux. Cependant, certaines espèces peuvent se nourrir la nuit ;
 - o Accroître la connaissance des éleveurs sur les prédateurs : quelle(s) espèce(s) ? En quel nombre ? Où ? Les dates d'arrivée et de départ ? Leur(s) comportement(s) ?
 - o Les bouées servent d'appeaux aux canards les attirant sur les sites d'élevages. Dans la mesure du possible, il ne faut garder à la surface que les bouées nécessaires au marquage du site et que tous les producteurs le fassent en même temps. Aussi, il faut chasser le plus rapidement possible les premiers oiseaux arrivant au risque qu'ils attirent les autres ;
 - o A l'échelle d'un bassin de production, il faut que les exploitants se concertent pour établir un protocole d'intervention intégré et commun, sinon, cela risque juste de reporter le problème sur les élevages voisins.
 - o La conservation et la restauration d'habitats alternatifs permet aux oiseaux d'avoir d'autres lieu pour s'alimenter ;
 - o Accroître l'habitat des prédateurs naturels des oiseaux (e.g. rapaces) ou l'installation de plateforme de nidification à proximité des sites d'élevage ;
 - o Avant la sélection des sites de production, consulter les ornithologues locaux pour éviter les aires de conflits potentiels connus pour héberger les canards ;
 - o L'usage d'une combinaison de méthodes de dissuasion, appliquées de manière aléatoire et constante (intensité et usage) et renforcées de tirs létaux quand la prédation est trop importante.
- **Spécifiques aux autres prédateurs / compétiteurs des élevages (bigorneaux perceurs, étoiles de mer, algues, etc.) :**
 - Prédations par les bigorneaux perceurs, moyens de luttés et valorisation des individus récoltés sur les bouchots normands (Basuyaux *et al.* 2012, 2015) ; les bigorneaux perceurs au sein des Pertuis Charentais, biologie et synthèse des moyens de lutte (Sauriau 2002). Ces documents indiquent que les moyens de lutte contre ces nuisibles ne peuvent être unique et nécessitent souvent une main d'œuvre importante (e.g. tableau 2 dans Sauriau (2002)). Aussi, ils doivent être adaptés en fonction de la période de l'année et donc des phases de vie du gastéropode. Le meilleur moyen demeurant d'éviter leur introduction sur les zones de production. D'un point de vue de leur valorisation, l'alimentation humaine et son usage ancestral en tant que teinture sont des pistes d'intérêt ;
 - Prédations par les étoiles de mer (figure 4) et les bigorneaux perceurs en baie de Quiberon (Mazurie *et al.* 2013), l'une des conclusions est que la lutte contre les prédateurs, compte tenu de l'interdépendance entre concessionnaires doit être menée de manière la plus collective possible pour être efficace ;
 - **PREDADOR** – Préserver les élevages conchylicoles des attaques de dorades (2013-15) ; **PREDADOR 2** – Validation d'un système acoustique répulsif de lutte contre la prédation des élevages conchylicoles par les daurades royales (2016-19). La première phase a permis de développer un prototype de répulsif acoustique de type alarme sonore, de faible puissance, dont la portée d'efficacité est estimée entre 200 et 300 mètres. La deuxième phase vise à fiabiliser

²²⁸ Linnaeus, 1758.

ce système répulsif en vue d'une commercialisation en collaboration avec la profession conchylicole. Il prévoit de concevoir une vingtaine de répulsifs acoustiques pilotes qui seront déployés sur plusieurs sites en Atlantique, Manche, et Méditerranée. Cette multiplicité des sites permettra de tester tous les phénomènes : acoustique, accoutumance, spécificités de zones, comportement de la daurade royale, etc ;

- L'enquête du CEPRALMAR sur les prédateurs de moules par les daurades (figure 3) à l'échelle internationale (Giffon & Gervasoni 2016) recense les différents prédateurs des moules (figure 5) et les moyens de lutte associés : filets de protection ; répulsifs acoustiques ; cordes de captage permettant de fortes densités de naissains ; technique d'élevage en « paquet » (les individus sur les bords extérieurs de l'élevage subissant les prédateurs, ils protègent les individus situés vers l'intérieur) ; coopération entre conchyliculteurs et les pêcheurs plaisanciers ou les pêcheurs professionnels, ceux-ci capturant les daurades à proximité immédiate des exploitations ;
- Projets **SARGASSES** et **SNOTRA** sur la valorisation de *Sargassum muticum*²²⁹ en Normandie, algues nuisibles aux exploitations conchylicoles. Pien *et al.* (2016) indiquent que la biomasse d'algues est suffisante pour être intéressante pour l'exploitation ainsi que les molécules qui la composent qui sont connues et valorisables. Cette première étude a abouti au projet SNOTRA qui poursuit ces travaux.

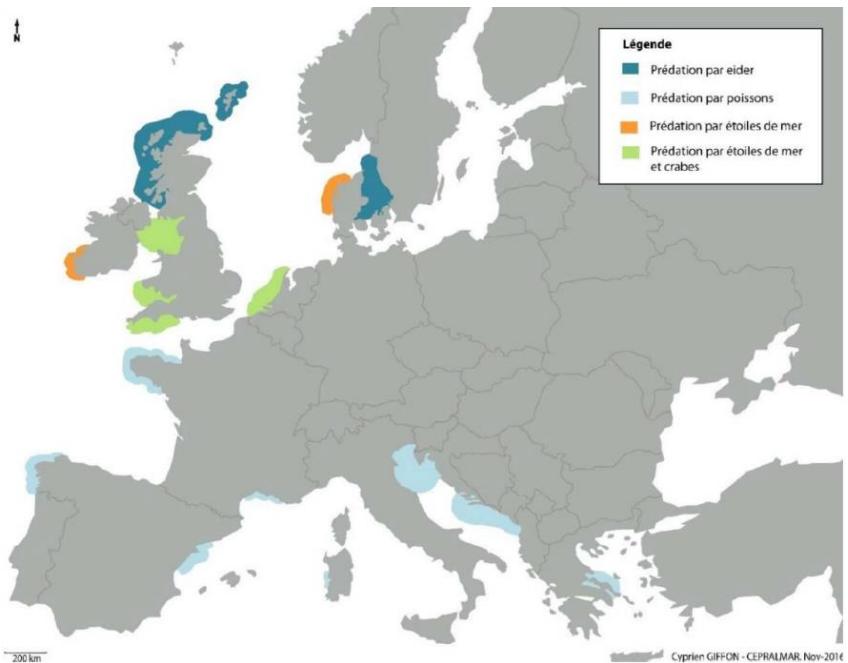


Figure 5 : principaux prédateurs rencontrés sur les zones de production mytilicole européennes (Giffon & Gervasoni 2016).

²²⁹ (Yendo) Fensholt, 1955.

Liens internet :

Projets PREDADOR (2013-15) et PREDADOR 2 (2016-19) :

<https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/component/projects/project/2434>

https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/?option=com_projects&view=project&id=2441

Plan anti-étoile de mer dans l'estuaire de la Vilaine (2016-17) :

<https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/data/1185/reader/reader.html#!preferred/1/package/1185/pub/1191/page/9>

Prédation en baie de Quiberon et revue de Marteil sur la conchyliculture :

<https://archimer.ifremer.fr>

Rapports sur les bigorneaux perceurs et les sargasses :

<http://www.smel.fr>

Documents produits par le CEPRALMA :

<http://www.cepralmar.org/predation-des-moules-par-les-daurades-quelles-solutions.html>

http://www.cepralmar.org/guide_conchylicole/projet/Guide-Conchyliculture.pdf

Rapports sur la prédation aviaire à Boyard (Charente-Maritime) :

<https://creaa.pagesperso-orange.fr/doc/PredationMytiBoyard.pdf>

Dossiers de demande de dérogations pour l'effarouchement et la destruction de goélands argentés :

<http://www.pas-de-calais.gouv.fr/index.php/content/download/38180/241741/file/CRC%20-%20Dossier%20Go%C3%A9land%20Pas%20de%20Calais-V2%20pour%20site.pdf>

http://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dossier_dde_autorisation_chausey_2017.pdf

http://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/5-00505-manche_2018_partie_1.pdf

Rapports et publications :

- Basuyaux, O., Buret, R., Laisney, N. & Jacqueline, J.-M. (2012). *Prédation par les perceurs dans le secteur conchylicole de la pointe d'Agon à Gouville sur mer*. SMEL, Saint-Lo.
- Basuyaux, O., Lefebvre, V., Gauquelin, T., Laisney, N., Roussel, D., Auger, B., et al. (2015). *Moyens de luttés et valorisation des bigorneaux perceurs en secteur mytilicole*. SMEL, Saint-Lo.
- Batailler, C. (2005). *Les oiseaux prédateurs de moules de bouchots dans le département de la Manche. Synthèse bibliographique*. ONCFS, SRC Normandie Mer du Nord, Saint Georges d'Aunay.
- Besson, M. (2014). *Pré-évaluation de la prédation des huîtres par l'huître pie dans l'ouest Cotentin*. SMEL - CRC Normandie / Mer du Nord, Saint-Lo.
- Blin, J.-L., Savary, M., Gauquelin, T. & Lefebvre, V. (2013). *Impact sur la productivité mytilicole de systèmes passifs de protection contre la prédation des oiseaux*. SMEL - CRC Normandie / Mer du Nord.
- Bourgès, A. (2018). *Etude sur l'observation et l'estimation de la prédation des moules de bouchots par les goélands argentés dans les bassins de production mytilicole des Côtes d'Armor*. CRC Bretagne Nord, Morlaix.
- Callier, M.D., Byron, C.J., Bengtson, D.A., Cranford, P.J., Cross, S.F., Focken, U., et al. (2018). Attraction and repulsion of mobile wild organisms to finfish and shellfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10, 924–949.
- CRC Normandie / Mer du Nord. (2016a). *Demandes d'autorisation d'effarouchement et de tir à blanc des goélands argentés sur les côtes de la Manche. Demande de dérogation de perturbation intentionnelle de goélands argentés sur les côtes de la Manche. Demande de dérogation de destruction de goélands argentés sur les secteurs de Donville les bains à Coudeville sur mer*. CRC Normandie / Mer du Nord, Gouville sur Mer.
- CRC Normandie / Mer du Nord. (2016b). *Effarouchement par les mytiliculteurs des goélands argentés, prédateurs de moules de bouchot sur les côtes du département de la Manche entre janvier 2015 et décembre 2015*. CRC Normandie / Mer du Nord, Gouville sur Mer.
- CRC Normandie / Mer du Nord. (2017a). *Demandes d'autorisation d'effarouchement et de tir à blanc des goélands argentés sur l'archipel des Îles Chausey. Demande de dérogation de perturbation intentionnelle de goélands argentés sur l'archipel des Îles Chausey*. CRC Normandie / Mer du Nord, Gouville sur Mer.
- CRC Normandie / Mer du Nord. (2017b). *Effarouchement par les conchyliculteurs des goélands argentés, prédateurs de moules de bouchot et de palourdes sur l'archipel des Îles Chausey entre janvier 2016 et décembre 2016*. CRC Normandie / Mer du Nord, Gouville sur Mer.
- CRC Normandie / Mer du Nord. (2018). *Demandes d'autorisation d'effarouchement et de tir à blanc des goélands argentés sur les côtes de la Manche. Demande de dérogation de perturbation intentionnelle de goélands argentés sur les côtes de la Manche. Demande de dérogation de destruction de goélands argentés sur les secteurs de Donville les bains à Coudeville sur mer*. CRC Normandie / Mer du Nord, Gouville sur Mer.
- Gallien, F. & Debout, G. (2016). *Note sur l'impact des effarouchements et des tirs létaux de goéland argenté sur l'avifaune dans l'archipel des Îles Chausey*. Groupe Ornithologique Normand (GONm).
- Giffon, C. & Gervasoni, E. (2016). *La prédation des moules par les daurades : quels moyens de lutte ? Résultats d'une enquête menée à l'échelle européenne*. CEPRALMAR, Sète.
- Marcotte, D. (2007). *Systèmes de protection contre les prédateurs* (Document d'information DADD-22). Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation., Québec.
- Marteil, L. (1976). La conchyliculture française. 2eme partie. Biologie de l'huître et de la moule. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 40, 149–346.
- Marteil, L. (1979). La conchyliculture française 3° Partie L'ostreiculture et la mytiliculture. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 43, 10–130.
- Marty, C., Mazouni, N., Gervasoni, E. & Douillon, S. (2008). *Guide de l'exploitation conchylicole en Languedoc-Roussillon*. CEPRALMAR, Sète.
- Mazurie, J., Stanisière, J.-Y., Bouget, J.-F., Langlade, A., Leclerc, E., Quinsat, K., et al. (2013). *Les risques conchylicoles en Baie de Quiberon. Deuxième partie : le risque de prédation sur l'huître creuse Crassostrea gigas. Rapport final du projet Risco 2010-2013*. Ifremer.
- Mille, D. (2017). *Etude de la déprédation aviaire sur les bouchots d'élevage mytilicole de Boyard. Volet productivité des études collaboratives CREA - LPO menées pour le compte du CRC Poitou-Charentes. Bilan des deux saisons d'étude. Etude 2013-2016*. CREA, Le Château d'Oléron.
- Moisan, N. & Cauvier, C. (2010). *Prédation de la moule d'élevage par les canards : proposition de méthodes d'atténuation*. (N°35). Les publications de la direction de l'innovation et des technologies. MAPAQ, Grande-Rivière.

- ONCFS. (2003). *Prédation des moules de bouchots sur l'archipe de Chausey 2003*. Délégation régionale ONCFS haute et basse Normandie, Saint Georges d'Aunay.
- Pien, S., Brebion, J., Jacquette, J.-M., Rusig, A.-M., Lefebvre, V., Dehail, M., et al. (2016). *Etude de l'algue invasive Sargassum muticum en vue d'une exploitation et d'une valorisation en Normandie*. SMEL - ALGANACT - CRC NMN - UMR BOREA, Blainville sur mer.
- Richman, S.E. (2013a). *Sea duck predation on mussel farms: a growing conflict*.
- Richman, S.E. (2013b). *Sea duck predation on mussel farms: a growing conflict*. Department of Natural Resources Science, University of Rhode Island, Kingston.
- Sauriau, P.-G. (2002). *Les bigorneaux perceurs des Pertuis Charentais : éléments de biologie - Synthèse des moyens de lutte*. CNRS - Ifremer, L'Houmeau.
- Schakner, Z.A. & Blumstein, D.T. (2013). Behavioral biology of marine mammal deterrents: A review and prospectus. *Biological Conservation*, 167, 380–389.
- Tolon, V. (2013). *Mécanismes et patrons de distribution des macreuses en Europe, en France et en Basse Normandie: liens avec le climat, les ressources benthiques et la mytiliculture*. Maison de l'estuaire - CNRS - AAMP - LPO, Le Havre.

ACQUISITION DE CONNAISSANCES SUR LES HABITATS ET ESPECES EN INTERACTIONS AVEC LES ELEVAGES MARINS

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Tous enjeux relatifs à Natura 2000 ou à la DCSMM qui nécessitent de mieux connaître les interactions entre les activités de cultures marines et les espèces et les habitats afin de permettre une gestion adaptative des pratiques.

Activités

Tous types d'aquaculture marine.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

Variables en fonction des écosystèmes et des types d'aquaculture considérés.

Coûts (exemples non exhaustifs)

Outils d'aide à la décision :

- Projet ECASA (3 142 046 € - Porteur de projet *The Scottish association for marine science* (Royaume-Uni) – Financement : U.E. H2020 80 %).
- Projet TAPAS (6 918 512 € - Porteur de projet *University of Stirling* (Royaume-Uni) – Financement : U.E. H2020 100 %).
- Projet AQUASPACE (3 625 581 € - Porteur de projet *The Scottish association for marine science* (Royaume-Uni) – Financement : U.E. H2020 80 %).

Suivi des paramètres environnementaux :

- Projet IMPAQT (6 218 180 € - Porteur de projet *Marine institute* (Irlande) – U.E. H2020 90 %).

Connaissance des pressions potentielles et de la capacité de charge des écosystèmes :

- Projet GENIALG (12 224 237 € - Porteur de projet CNRS (France) – Financement : U.E. H2020 90 %).
- Projet EPURVAL 2 (789 000 € - Porteur de projet CIPA et ITAVI (France) – Financement : FEAMP art. 47 Innovation Aquaculture 60 %).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

L'une des composantes essentielles permettant d'optimiser la gestion des activités de cultures marines d'un point de vue environnemental mais aussi productif est l'acquisition de connaissances relatives aux interactions entre celles-ci et les écosystèmes marins (habitats et espèces). Suite à l'analyse des données acquises et en fonction des résultats, il est alors possible :

- De formuler des recommandations permettant de limiter les pressions négatives générées (e.g. introduction d'espèces non-indigènes ou génétiquement différentes) et/ou de favoriser celles qui peuvent être positives (e.g. lutte contre l'eutrophisation) ;
- De mieux comprendre les répercussions d'autres activités sur les cultures marines et les écosystèmes marins ;
- D'appréhender les impacts potentiels des pressions concomitantes (= cumulées).

Les champs disciplinaires mobilisables sont nombreux : sédimentologie, géologie et hydrologie ; chimie minérale et organique (dans la colonne d'eau et les substrats) ; physiologie et écotoxicologie ; écologie benthique, pélagique et littorale ; etc. Ces études peuvent être ponctuelles ou correspondre à des suivis menés sur le long terme.

D'une manière générale, il faut d'abord rechercher une complémentarité avec des données préexistantes : réseaux de contrôle, d'observation et/ou de surveillance de l'Ifremer (e.g. REMI, REPHY, et.) ; suivis DCE / DCSMM ; résultats des suivis réglementaires (paramètres physico-chimiques des rejets des élevages marins, réglementation ICPE, études d'impacts, etc.) ; programmes de suivis / de cartographie des habitats et des espèces (e.g. observatoire « Littoral, Limicoles et Macrofaune benthique », CARTHAM, réseau des stations et observatoires marins), etc. Sur cette base, des études et suivis complémentaires ou inédits peuvent être identifiés et mis en œuvre, en partenariat avec les scientifiques, les organisations professionnelles et leurs usagers, les collectivités, les administrations et les associations.

Objectif :

Le développement de la connaissance scientifique soit dans un objectif de tester une hypothèse au cours d'une étude ponctuelle ou d'acquérir des séries de données sur le long terme permet d'examiner les interactions qui peuvent exister entre les cultures marines et les écosystèmes marins et côtiers ainsi que l'influence d'autres facteurs sur les variables enregistrées (climat, qualité de l'eau, autres usages, etc.). C'est une condition sine qua non pour mieux comprendre les pressions potentiellement exercées par les activités de cultures marines.

De plus, l'acquisition de jeux de données conséquents permet de valider ou d'invalider les modèles ou les indicateurs pouvant être développés et de fournir par la suite des simulations et des évaluations des impacts potentiels (e.g. autoDEPOMOD puis NewDEPOMOD, voir ci-après).

Contexte et mise en œuvre

Les contextes et les mises en œuvre des études d'acquisition de connaissances sont très variables en fonction des questions posées et de l'échelle considérée (locale, nationale, européenne, internationale). Dans le cadre des rapports environnementaux relatifs aux schémas des structures

- Projet CAPATHAU (41 747 € - Porteur de projet Université de Montpellier – Financement : DLAL FEAMP 40 %).
- Projet OGIVE Phase III (369 408 € - Porteur de projet Ifremer – Financement : FEP 66 % ; Etat 34 %).

Difficultés rencontrées

Au-delà des problématiques relatives aux méthodologies scientifiques à déployer (hypothèses à infirmer ou non, protocoles mise en œuvre, analyses des données, etc.), c'est le transfert des connaissances acquises et/ou des outils d'évaluation développés vers les services de l'Etat, les organisations professionnelles, les usagers et les gestionnaires d'aires marines protégées qui peut être un frein à la prise en compte des éléments les plus récents sur la connaissance des interactions entre les élevages marins et les écosystèmes attenants. Par exemple, certains des outils d'évaluation (souvent basés sur de la modélisation) sont peu accessibles en l'absence de compétences techniques particulières (e.g. codage, logiciel) et/ou sans données acquises localement à intégrer.

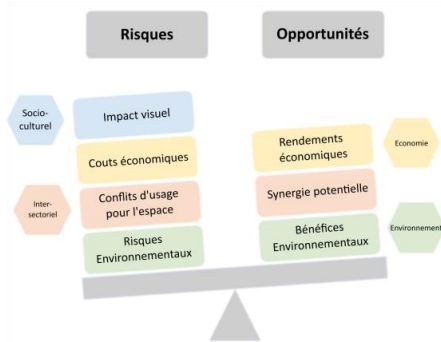


Figure 1 : première vision des outils d'AquaSpace montrant les catégories d'opportunités et de risques qui doivent être incluses lors de l'évaluation des options de gestion spatiale pour l'aquaculture (e.g. gestion intégrée des zones côtières, planification de l'espace maritime) (traduit de Gimpel *et al.* 2018).

d'exploitation des cultures marines et aux schémas régionaux de développement de l'aquaculture marine, il convient de préciser de manière systématique les modalités de suivi des études envisagées et leur devenir (quel(s) indicateur(s) ? par quel(s) organisme(s) ? Avec quel(s) financement(s) ? Quelle diffusion des données et des rapports ?, etc.) (e.g. AE Préfet de région Languedoc-Roussillon 2014; AE Préfet de région Haute-Normandie 2015).

Partenaires / Financements

Partenariats : institutions scientifiques (IFREMER, INRA, CNRS, MNHN, universités, ITAVI, etc.), bureaux d'étude, associations environnementales, organisations professionnelles (CRC, CIPA, etc.), centres techniques (CREAA, CEPRALMAR, etc.), administrations, collectivités territoriales.

Financements : ANR, Agences de l'eau, U.E. ((DLAL) FEAMP, FEDER, Horizon 2020, Interreg), collectivités territoriales (e.g. départements et régions), privés.

Descriptif technique

Compte tenu du nombre élevé d'études scientifiques à ce sujet, il est impossible d'en faire ici une revue détaillée. Il est cependant possible de citer quelques projets réalisées ces dernières années dont tout ou partie concernent les aspects environnementaux relatifs aux activités d'aquaculture marine (voir aussi la fiche mesure « Veille sur les innovations zootechniques pour les élevages marins ») :

- **Echelle européenne et internationale :**

- **ECASA** – Approche écosystémique pour une aquaculture durable (2004-07). Les objectifs étaient :
 - 1- Définir des indicateurs qualitatifs et quantitatifs des effets de l'aquaculture sur l'environnement et vice-et versa et évaluer leur applicabilité ;
 - 2- Développer des outils opérationnels, incluant des modèles, dans l'objectif d'établir et de décrire les relations entre les conditions environnementales et les activités d'aquaculture pour un panel d'écosystèmes et de systèmes de production ;
 - 3- Développer des évaluations environnementales des impacts efficaces et des méthodes de sélection de site dans le cadre de la gestion des zones côtières.

Ce projet a entre autres permis de développer des modèles et des indicateurs²³⁰ et de déterminer les facteurs prépondérants influençant les impacts potentiels de l'aquaculture marine. Ainsi, selon Borja *et al.* (2009), les variables environnementales expliquent 53 % de la variabilité de la macrofaune. Au final, c'est l'usage d'un ensemble d'indicateurs benthiques qui est pertinent dans l'évaluation des pressions d'une exploitation ainsi que l'étude des dynamiques du site étudié (profondeur, durée de l'activité, production annuelle totale) pour interpréter la réponse des organismes benthiques à l'enrichissement.

- **TAPAS** – Outils pour l'évaluation et la planification d'une aquaculture durable (2016-20). L'objectif final est de créer des outils de gestion et des pratiques rentables pour le secteur européen de l'aquaculture en étudiant toute l'étendue des activités d'élevage : interactions sociales, impacts environnementaux potentiels et risques futurs. L'un des sites pilotes du projet est la baie de Bourgneuf dont l'étude est menée par l'université de Nantes.
- **AQUASPACE** – Approche écosystémique pour accroître l'espace pour l'aquaculture (2015-18). Ce projet a pour objectif principal de comprendre les contraintes spatiales et socio-économiques sur l'aquaculture et de tester des outils pour les surmonter. Ce projet a

²³⁰ Néanmoins, le site du projet n'étant plus actif, il convient de se reporter au site du projet AQUASPACE.

développé vingt modèles et indicateurs avec des thématiques très variées allant de la dispersion de parasites à l'évaluation de l'acceptabilité sociale des projets (impacts visuels, analyses des conflits sectoriels / des commentaires du public, etc.) en passant par l'estimation de la production et de ses conséquences sur les écosystèmes (figure 1). Ainsi, certains de ces outils peuvent concourir à modéliser et à réduire les pressions environnementales :

- 1- Procédure pour l'évaluation de l'eutrophication estuarienne (ASSETS) ;
- 2- Cartographie et indicateurs aquacoles intégrés (Aquaspace tool (Arc GIS)) ;
- 3- Modèle biophysique à l'échelle de bassin de production pour étudier l'impact de cultures d'huitres sur l'eutrophication (EcoWin) ;
- 4- Dispersion des poux de mer pour la gestion de la salmoniculture (WestLice (modélisation hydrodynamique / des poux, Java code)) ;
- 5- Estimation de la capacité de support pour la production de coquillages (SMILE (*Sustainable Mariculture in northern Irish Lough Ecosystems*)).

- **IMPAQT** – Systèmes intelligents de gestion pour l'aquaculture multitrophique intégrée (2018-21). Ce projet a pour objet le développement et le déploiement de nouveaux capteurs et de sources de données pour des systèmes intelligents nécessaires à des suivis à long terme autonomes sur le terrain (figure 2). Se basant sur des collaborations entre pays de l'U.E. ou hors U.E., le projet promeut une intensification durable de l'aquaculture européenne, en démontrant l'efficacité écologique et la minimisation des impacts environnementaux, améliorant les bénéfices socio-économique et les services écosystémiques et accélérer la transition vers un modèle d'économie circulaire. Deux entreprises situées totalement ou partiellement en France appuient ce projet (Easy Global Market et ARGANS).

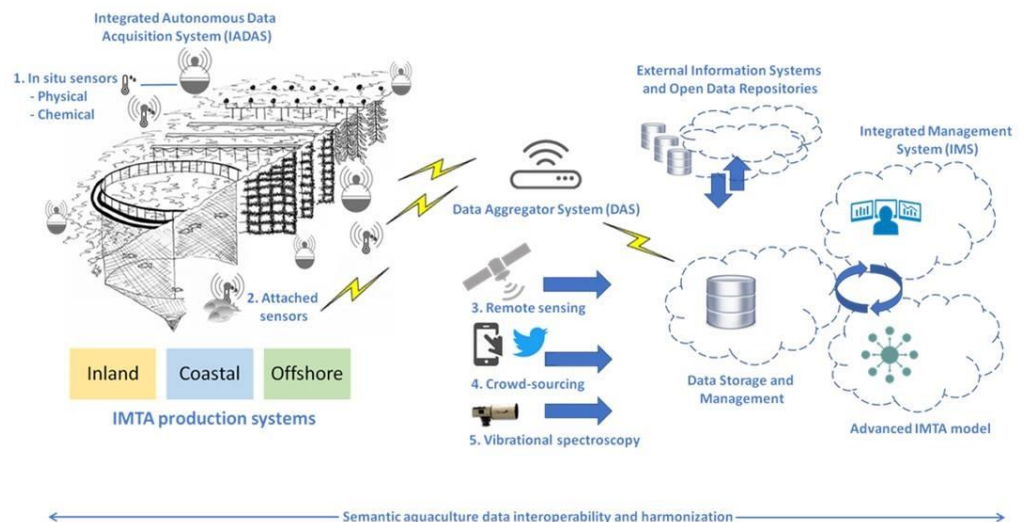


Figure 2 : système technologique développé dans le cadre du projet IMPAQT basé sur l'acquisition de données et les analyses prédictives (suivi du comportement, diagnostic de santé, alimentation optimisée, gestion des résidus alimentaires, qualité de l'eau).

- **GENIALG** – Exploitation de la diversité génétique pour l'innovation en bio-raffinerie de macroalgues (2017-20). Son objectif global est de booster l'économie bleue européenne en développant des systèmes de cultures de macro-algues à haut rendement. Son *workpackage* 6 nommé « Bénéfices socio- environnementaux de la culture de macro-algues » s'intéresse entre autres :
 - 1- A l'évaluation et au suivi des impacts biotiques et abiotiques des cultures sur les écosystèmes environnants ;

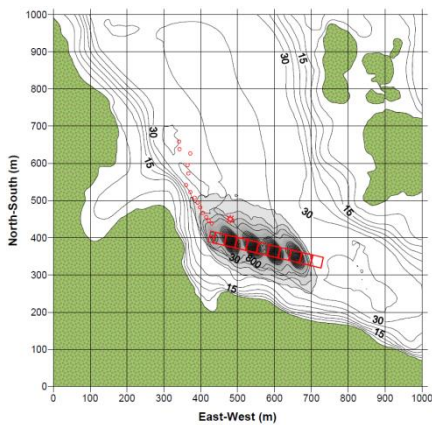


Figure 3 : carte d'un site montrant les courbes de flux de carbone ($\text{g C.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$) à partir des données d'apports d'alimentaire (Chamberlain *et al.* 2005).

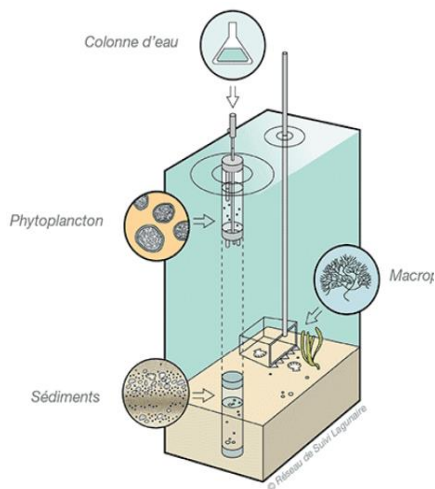


Figure 4 : variables étudiées au sein du projet CAPATHAU : qualité de l'eau ; phytoplancton ; végétation aquatique ; et sédiments.

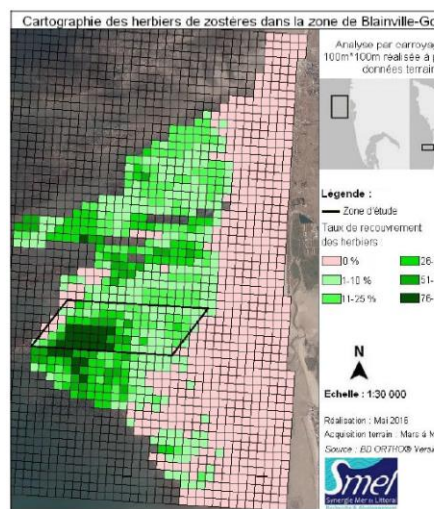


Figure 5 : cartographie des herbiers de zostères dans la zone de Blainville-Gouville. Projet CIZO (Basuiaux *et al.* 2018).

2- A la modélisation de la capacité de support des sites accueillant les fermes de macro-algues et à l'évaluation des bénéfices de ces cultures de macro-algues.

- **Modèles AutoDEPOMOD et NewDEPOMOD** – Sans être des projets au même titre que ceux présentés précédemment, ces modèles présentent un intérêt particulier pour l'évaluation environnementale des effluents de la pisciculture en cages. En effet, le premier modèle (AutoDEPOMOD) (Cromey *et al.* 2002) développé par SAMS (The Scottish Association for Marine Science) à la fin des années 1990 a été largement utilisé pour les suivis de l'aquaculture en Ecosse depuis 2005 (SEPA – Scottish Environment Protection Agency) afin de déterminer les biomasses maximales et des seuils pour les produits vétérinaires et ainsi minimiser les risques environnementaux. Ce modèle a été testé dans de nombreux cas de figure avec des résultats plus ou moins probants avec la réalité des données terrain (e.g. Chamberlain *et al.* 2005; Keeley *et al.* 2013; Chang *et al.* 2014). Il a aussi été modifié afin d'être utilisable pour d'autres types d'aqua culture comme l'élevage de moules sur filières (Shellfish-DEPOMOD dans Weise *et al.* 2009) ou dans des contextes spécifiques comme celui de la pisciculture en cages en mer Méditerranée (Cromey *et al.* 2012). NewDEPOMOD (version 1.0) est disponible à l'achat depuis aout 2017 et présente un nombre significatif d'avancées par rapport à son prédécesseur²³¹ (variation de la bathymétrie, amélioration des prédictions pour les sites exposés, interface simplifiée, intégration de données hydrodynamiques acquises sur le terrain, etc.).

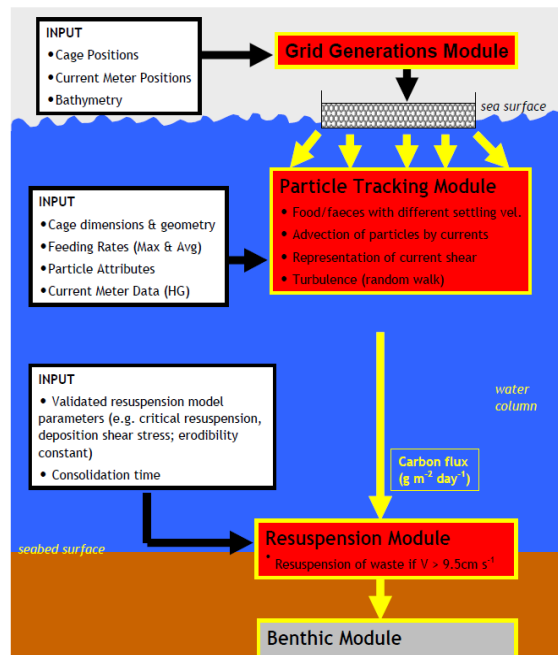


Figure 6 : schéma décrivant l'intégration des modules DEPOMOD et les données associées utilisés pour modéliser les impacts benthiques résultant des fermes à poissons (dans Chamberlain *et al.* 2005 adapté de Cromey *et al.* 2002).

● **Echelle national :**

- **EPURVAL 2** – Mise en place de sites pilotes pour l'EPuration et la VALorisation des effluents de piscicultures marines par les systèmes d'aquaculture multi-trophique intégrée (AMTI) (2018-20). Ces objectifs sont de :

1- Caractériser les flux de matières dissoutes et organiques des fermes aquacoles et déterminer les espèces candidates à des AMTI en fonction d'une typologie environnementale.

²³¹ <https://www.srsl.com/products/depomod/>

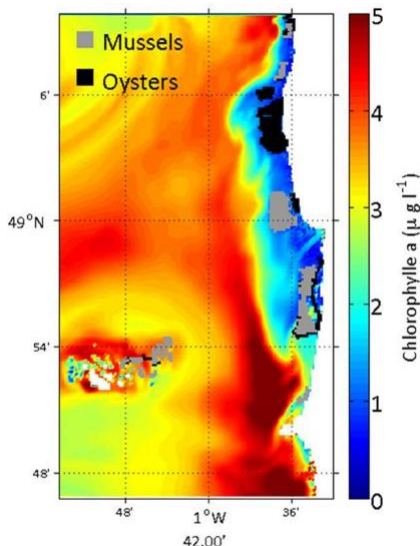


Figure 7 : cartographie de la concentration en chlorophylle a obtenue à un instant donné dans les conditions actuelles d'élevage de moules et d'huîtres. Projet OGIVE (Gangnery *et al.* 2015).

- 2- Étudier le bénéfice des interactions entre les espèces en assemblage = Survie et métabolisme de croissance d'organismes autotrophes (algues), de producteurs secondaires (filtreurs) et de décomposeurs (détritivores).
- 3- Déterminer le gain environnemental des AMTI = évaluer la capacité de bioremédiation des rejets et l'impact de ces assemblages sur les communautés benthiques.

- **Echelle locale :**

- **CAPATHAU** – Déterminer la capacité de charge de la lagune de Thau dans un contexte d'atteinte du bon état écologique des milieux côtiers exploités pour un développement durable de la conchyliculture (2017-2018) (figure 4) ;
- **CIZO** – Cartographie et interactions des zostères en secteur conchylicole sur la côte ouest Cotentin (2016-18) (Basuyaux *et al.* 2018) (figure 5) ;
- Suivi de l'impact potentiel de la conchyliculture sur les herbiers de zostères naines *Zostera noltii* dans les traicts du Croisic et de Pen Be (2013-2016) (Claudel 2016) (pour plus de détail voir la fiche mesure dédiée à cette étude dans le rapport « Capitalisation sur les mesures de gestion et de suivi dans les AMP de la façade Atlantique ») ;
- **PARADIS** – Pérenniser l'activité palourde à Chausey : définir des indicateurs de suivi (2015-16) (Blin *et al.* 2017) ;
- **OGIVE** – Outils d'aide à la Gestion Intégrée et à la Valorisation des Ecosystèmes conchylicoles de Basse-Normandie (2005-13) (Gangnery 2008; Gangnery *et al.* 2012, 2015) (figures 7 et 8).

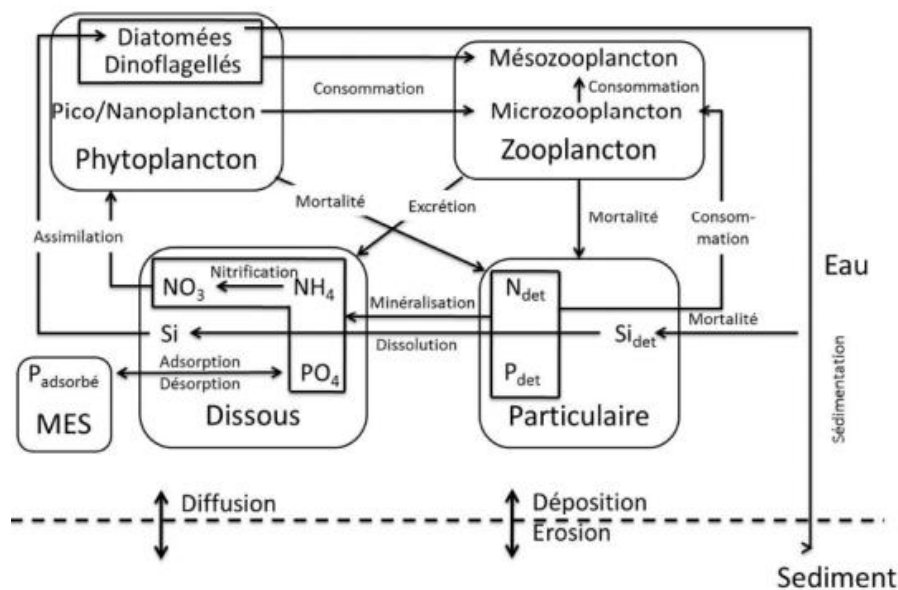


Figure 8 : schéma conceptuel du modèle biogéochimique du projet OGIVE (Gangnery *et al.* 2015).

Références / Bibliographie

Liens internet :

Projet ECASA (2004-07) :

<https://cordis.europa.eu/project/rcn/73890/factsheet/en>

<https://www.sams.ac.uk/news/archive/archive-2009--sams/name-130070-en.html>

Projet INTEGRATE (2017-20) :

<http://integrate-imta.eu/>

Projet TAPAS (2016-20) :

<http://tapas-h2020.eu/the-project/>

Projet IMPAQT (2018-21) :

<https://impactproject.eu/>

Projet GENIALG (2017-20) :

<https://genialgproject.eu/>

Projet AQUASPACE (2015-18) :

<http://www.aquaspaces-h2020.eu/>

Modèles AutoDEPOMOD et NewDEPOMOD :

<https://www.sams.ac.uk/science/projects/depomod/>

Projet EPURVAL 2 (2018-20) :

http://www.umr-marbec.fr/IMG/pdf/epurval_2_fiche_projet_fr.pdf

Projet CAPATHAU (2017-18) :

<https://www.youtube.com/watch?v=gmnNwr5pgQS0>

<https://www.oramaritima.fr/wp-content/uploads/2017/09/3-MarionRICHARD-RomainPETE-CapaThau.pdf>

Projet OGIVE (2005-13) :

<https://www.ifremer.fr/learn/Projets-de-recherche/Ecosystemes-conchylicoles/OGIVE-ecosystemes-conchylicoles>

Projet CIZO (2016-18) ou PARADIS (2015-16) :

<http://www.smel.fr/category/ressources-documentaires/>

Rapport sur la capitalisation sur les mesures de gestion et de suivi dans les AMP de la façade Atlantique

<http://www.forum-aieres-marines.fr/Actualites/Des-fiches-capitalisation-sur-les-mesures-de-gestion-et-de-suivi-dans-les-AMP-de-la-facade-Atlantique>

Rapports et publications :

- AE Préfet de région Haute-Normandie. (2015). *Schéma régional de développement de l'aquaculture marine de Haute-Normandie présenté par la Direction interrégionale de la mer Manche Est - mer du Nord. Avis de l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement sur le dossier présentant le schéma et comprenant le rapport environnemental au titre des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement (évaluation environnementale)*. (N°2015-000600). Préfet de région Haute-Normandie, Rouen.
- AE Préfet de région Languedoc-Roussillon. (2014). *Schéma régional de développement de l'aquaculture marine du Languedoc-Roussillon porté par la Direction interrégionale de la mer Méditerranée. Avis de l'autorité environnementale sur le dossier présentant le plan/programme et comprenant le rapport environnemental au titre des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement (évaluation environnementale)*. (N°2014-000961). Préfet de région Languedoc-Roussillon, Montpellier.
- Basuyaux, O., Ravache, M., Delécrin, C., Savary, M. & Dauvin, J.-C. (2018). *Cartographie et interactions des zostères en secteur conchylicole sur la côte ouest du Cotentin (CIZO)* (Rapport d'étude CIZO, AESNN°Convention AESN 1063165). SMEL - CNRS - CRC NMN, Saint-Lo.
- Blin, J.-L., Fouet, M. & Joncourt, Y. (2017). *PARADIS. Pérenniser l'activité palourde à Chausey: définir des indicateurs de suivi* (N°SMEL/CE-prod/2017-01). SMEL - GEMEL-Normandie, Blainville.
- Borja, Á., Rodríguez, J.G., Black, K., Boday, A., Emblow, C., Fernandes, T.F., et al. (2009). Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe. *Aquaculture*, 293, 231–240.
- Chamberlain, J., Stucchi, D., Lu, L. & Levings, C. (2005). *The suitability of DEPOMOD for use in the management of finfish aquaculture sites, with particular reference to Pacific Region*. (Research DocumentN°2005/035). Fisheries and Oceans Canada, Vancouver.
- Chang, B.D., Page, F.H., Losier, R.J. & McCurdy, E.P. (2014). Organic enrichment at salmon farms in the Bay of Fundy, Canada: DEPOMOD predictions versus observed sediment sulfide concentrations. *Aquaculture Environment Interactions*, 5, 185–208.
- Claudiel, H. (2016). *Suivi de l'impact potentiel de la conchyliculture sur les herbiers de zostères naines Zostera noltii dans les traicts du Croisic et de Pen-Be*. In Vivo - CRC Bretagne Sud, La Forêt Fouesnant.
- Cromey, C.J., Nickell, T.D. & Black, K.D. (2002). DEPOMOD—modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214, 211–239.
- Cromey, C.J., Thetmeyer, H., Lampadariou, N., Black, K.D., Kögeler, J. & Karakassis, I. (2012). MERAMOD: predicting the deposition and benthic impact of aquaculture in the eastern Mediterranean Sea. *Aquaculture Environment Interactions*, 2, 157–176.
- Gangnery, A. (2008). *Projet OGIVE Outils d'aide à la Gestion Intégrée et à la Valorisation des Ecosystèmes conchylicoles de Basse-Normandie. Rapport final d'activités - Phase I (2005-2008)*. (Rapport Ifremer). Ifremer, Port-en-Bessin-Huppain.
- Gangnery, A., Cugier, P., Le Gendre, R., Legendre, A., Maheux, F., Mary, C., et al. (2015). *Projet OGIVE Outils d'aide à la Gestion Intégrée et à la Valorisation des Ecosystèmes conchylicoles de Basse-Normandie. Rapport final de phase III (2011-2013)*. (Rapport IfremerN°RST LER/N 15-02). Ifremer, Port-en-Bessin-Huppain.
- Gangnery, A., Le Gendre, R., Cugier, P., Normand, J., Roudesli, S., Maheux, F., et al. (2012). *Projet OGIVE Outils d'aide à la Gestion Intégrée et à la Valorisation des Ecosystèmes conchylicoles de Basse-Normandie. Rapport final d'activités - Mi-parcours Phase II (2008-2011)*. (Rapport IfremerN°RST LERN/12-11). Ifremer, Port-en-Bessin-Huppain.
- Gimpel, A., Töpsch, S., Stelzenmüller, V., Gubbins, M., Murray, A.G., Watret, R., et al. (2018). Deliverable 3.3 AquaSpace tool to support MSP Revised manual (2nd edition) for AquaSpace tool (version 2).
- Keeley, N.B., Cromey, C.J., Goodwin, E.O., Gibbs, M.T. & Macleod, C.M. (2013). Predictive depositional modelling (DEPOMOD) of the interactive effect of current flow and resuspension on ecological impacts beneath salmon farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 3, 275–291.
- Weise, A.M., Cromey, C.J., Callier, M.D., Archambault, P., Chamberlain, J. & McKindsey, C.W. (2009). Shellfish-DEPOMOD: Modelling the biodeposition from suspended shellfish aquaculture and assessing benthic effects. *Aquaculture*, 288, 239–253.

EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES SCHEMAS RELATIFS

A L'AQUACULTURE MARINE (SCHEMAS DES STRUCTURES D'EXPLOITATION DES CULTURES MARINES ET SCHEMAS REGIONAUX DE DEVELOPPEMENT DE L'AQUACULTURE MARINE)

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Tous enjeux relatifs à Natura 2000 ou à la DCSMM qui peuvent bénéficier d'une meilleure prise en compte dans les rapports environnementaux associés aux schémas relatifs à l'aquaculture marine.

Activités

Tous types d'aquaculture marine.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

Variables en fonction des écosystèmes et des types d'aquaculture considérés.

Difficultés rencontrées

Les principales difficultés vont d'abord concerner l'exhaustivité des éléments à prendre en compte dans le rapport environnemental attendant aux schémas. En effet, le nombre de composantes relatives à l'aquaculture marine (répartition spatiale et temporelle, pressions potentielles, etc.), aux considérations réglementaires, écologiques et de planification ainsi qu'aux autres usages pouvant y figurer rend l'état initial très dense.

Il s'agit ensuite de hiérarchiser correctement les pressions identifiées et leurs effets potentiels par rapport aux enjeux environnementaux et socio-économiques locaux recensés afin de déterminer les sites à éviter ou non et de les prioriser (d'un point de vue environnemental comme économique).

La dernière phase consiste à définir les mesures de gestion permettant une adéquation entre les objectifs de production et de protection des espèces et des habitats marins par rapport aux sites définis comme propice à l'activité.

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Au titre des articles L. 122-4 et suivants (cf. tome 1 II.F.2.b), les plans, schémas, programmes et autres documents de planification élaborés ou adoptés par l'Etat, les collectivités territoriales ou leurs groupements et les établissements publics sont soumis à évaluation environnementale. Les schémas régionaux de développement de l'aquaculture marine (SRDAM) et les schémas des structures des exploitations de cultures marines (SSECM) sont ainsi soumis à ces évaluations environnementales. Elles se portent essentiellement sur les rapports environnementaux qui accompagnent ces documents et parfois sur les projets d'arrêtés des SSECM. Or, ces rapports environnementaux sont de qualité variable en fonction des territoires et des modalités d'élaboration (co-construction et concertation ou non avec les différents acteurs concernés, compétences de l'établissement en charge de sa rédaction, etc.).

Objectif :

Cette fiche vise à recenser de manière exhaustive l'ensemble des commentaires positifs ou négatifs formulés par les autorités environnementales et certains établissements publics (ex-Agence des aires marines protégées / Office français de la biodiversité et Ifremer) sur les rapports environnementaux relatifs à ces schémas afin qu'ils puissent être pris en compte dans leur élaboration.

Contexte et mise en œuvre

Cette mesure intervient dans le cadre de l'élaboration et de la révision des schémas régionaux de développement de l'aquaculture marine et des schémas des structures des exploitations de cultures marines.

Afin d'être le plus pertinent possible sur les aspects environnementaux relatifs aux cultures marines sur les territoires considérés, il convient d'associer en amont l'ensemble des acteurs compétents sur les différents domaines concernés par ces enjeux (habitats et espèces marines, qualité de l'eau, zones humides, etc.) au sein d'un comité de suivi ou sous toutes autres formes adaptées au contexte (e.g. demandes d'avis). Ces acteurs peuvent être : des établissements publics compétents en termes d'environnement ; des associations environnementales reconnues pour leur expertise ; des personnalités scientifiques travaillant sur les thématiques abordées ; des services déconcentrés de l'Etat (DREAL) ; des bureaux d'études. Ils compléteront les savoirs empiriques sur les milieux et les réalités socio-économiques détenues par les professionnels et leurs représentants, les centres techniques, les collectivités territoriales et les services déconcentrés de l'Etat (DML, DIRM).

Même si cette « gouvernance multipartite » peut sembler complexe à mettre en place pour l'élaboration de ces rapports, elle doit permettre d'éviter les écueils, les oublis et les imprécisions qui pourraient retarder l'adoption des schémas en cas de refus de l'autorité environnementale. Elle contribue aussi à la création de capital social²³², caractéristique essentielle pour optimiser la gestion intégrée des zones côtières.

²³² Cette notion comprend les relations de confiance, la réciprocité, des règles communes, des normes et des sanctions et de la connectivité dans les institutions (Pretty & Ward 2001).

Partenaires

Bureaux d'études, professionnels et les organisations les représentant, établissements publics compétents en termes d'environnement (e.g. AFB, ONCFS, CEREMA, CELRL, PNR), collectivités territoriales (mairie, EPCI, CG, CR), institutions scientifiques (e.g. Ifremer, universités), centres techniques (e.g. CREAA, IMA, SMIDAP), services déconcentrés de l'Etat (DML, DIRM, DREAL), associations environnementales reconnues (LPO, CPIE, SEPNEB, etc.).

Descriptif technique

Il s'agit ici d'énumérer les éléments négatifs ou positifs relevés par les autorités environnementales et les établissements publics lors de l'évaluation des schémas :

- **Cartographie :**

Les cartographies doivent être à une échelle adéquate afin d'être suffisamment précises pour faire figurer tout ou partie des éléments cités ci-dessous en demeurant lisibles grâce à une sémiologie adaptée. Aussi, après l'état initial, il convient de croiser ces éléments afin d'établir des cartes de synthèse relatives aux problématiques posées (zones à enjeux environnementaux avec leur zone d'exclusion ; zones déjà concédées et de développement potentiel, etc.).

Les principales caractéristiques spatiales devant être prises en compte dans les cartes produites sont :

- **Les zonages réglementaires environnementaux, patrimoniaux et paysagers** : sites N2000 (ZPS et ZSC) ; parcs nationaux, parcs naturels marins (PNM) et parcs naturels régionaux (PNR) ; les sites classés et inscrits ; les propriétés foncières du Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres (CLRL) ; les arrêtés de protection biotope (APB) ; la répartition des espèces et habitats sensibles (DHFF-DO) (e.g. herbiers de zostères, coralligène, reposoirs pour les phoques) ainsi que leurs rôles fonctionnels (e.g. alimentation pour l'avifaune, nourricerie pour l'ichtyofaune) ; les réserves (naturelles nationales ou régionales / de chasse et de faune sauvage / de biosphère / biogénétiques) ; les zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristiques (ZNIEFF) ; les sites du patrimoine mondial ; les sites RAMSAR ; etc.
- **Les habitats benthiques** en les présentant, si les données sont disponibles, selon les différentes typologies avec leurs correspondances (EUNIS, Natura 2000, typologie des habitats benthiques) ;
- **Les zonages relatifs à d'autres considérations réglementaires** comme les zones militaires, les chenaux d'accès aux ports, les dépôts de munitions, les cantonnements de pêche, les zones d'extraction de granulats et de clapage, etc. ;
- **Les zones relatives à des critères qualitatifs de l'état des milieux** quand ces données sont disponibles : le classement sanitaire des zones de production ; état de conservation des habitats au titre de la directive habitat-faune-flore ; l'état des masses d'eau au titre de la directive cadre sur l'eau ; l'état écologique au titre de la directive cadre stratégie pour le milieu marin ; la qualité des eaux de baignade.
- **La répartition des autres usages** : pêche professionnelle et de loisir ; plaisance ; transports de marchandises ; autres activités de loisirs (kitesurf, char à voile, etc.) ; aires de stationnement ; etc. afin d'anticiper les potentiels conflits d'usages d'une part et d'appréhender les effets cumulés des différentes activités.

- **Articulation avec les plans, programmes et les autres documents de planification et de gestion :**

Les schémas relatifs à l'aquaculture marine doivent être conformes, rendus compatibles, prendre en compte (ou être pris en compte dans) avec un

ensemble de plans, programmes et autres documents de gestion. Il est possible de citer : les plans locaux d'urbanisme (PLU ou PLUi) ; les volets maritimes des SCoT et les schémas de mise en valeur de la mer (SMVM) ; les schémas (directeurs) d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE et SAGE) ; les plans de gestion des parcs avec partie maritime (régionaux, nationaux, marins) / des réserves naturelles régionales ou nationales ; la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (SNGITC) ; les plans régionaux de prévention et de gestion des déchets (PRGD) ; les contrats de milieu (baie, bassins versants, rivière, etc.) ; les documents stratégiques de façade (DSF / DCPEM) dont leurs volets environnementaux (PAMM / DCSMM). Les objectifs environnementaux adoptés dans le cadre des Documents stratégiques de façade sont notamment opposables aux autorisations d'occupation du DPM.

Il est aussi préférable et pertinent de faire un bilan des anciens schémas (SSECM et SRDAM) dans l'objectif de signifier clairement les évolutions qui sont apportées par leurs révisions (e.g. adaptation aux évolutions environnementales ; variations dans les densités d'individus en élevage autorisées ; avancées techniques et élevages expérimentaux).

- **Gouvernance :**

En amont de l'élaboration du schéma et afin de prendre correctement en compte les particularités relatives aux aires (marines) protégées, il est nécessaire qu'il y ait un rapprochement entre les gestionnaires (établissements publics à caractère administratif, mairies, associations, etc.), les services instructeurs et les porteurs de projet. Cela permet une cohérence entre le schéma en cours d'élaboration et les plans de gestion des aires protégées (marines et terrestres en fonction des activités) et tous les autres documents de gestion (e.g. carte des vocations des parcs naturels marins, chartes Natura 2000). Ces échanges permettent potentiellement d'améliorer la concertation entre les acteurs et une meilleure prise en compte de certains enjeux environnementaux. Ce travail permet alors, par l'établissement d'un croisement entre les impacts potentiels identifiés et les objectifs de gestion, de s'assurer qu'ils ne soient pas antagonistes.

Aussi, pour faciliter la consultation du public, il faut faire en sorte que le résumé non technique du rapport environnemental, soit le plus accessible et le plus clair possible entre autres en y faisant figurer un lexique et des cartes de synthèse.

- **Etat initial, enjeux environnementaux et pressions :**

Des composantes relatives au profil initial du territoire concerné sont parfois omises ou insuffisamment précisées dans les rapports environnementaux comme la prise en compte :

- Des risques relatifs aux submersions marines, aux épisodes orageux de fortes intensités entraînant des panaches (épisode cevenol), à l'eutrophisation et aux zones industrielles proches des zones potentielles ;
- Des aspects paysagers relatifs aux impacts visuels sur le patrimoine (sites classés ou inscrits) ;
- Des effets sur l'air, le bruit et la santé humaine ;
- Des attractions possibles pour les grands prédateurs ;
- Des composés utilisés par l'aquaculture marine ainsi que des risques de transmission de pathogènes (e.g. saumon) ;
- Des pressions relatives aux déplacements des engins motorisés sur le domaine public maritime et sur les voies d'accès (pressions visuelles, sonores et sur les substrats) ;
- Des surfaces terrestres nécessaires aux exploitants ainsi que leur gestion (fauche, stabilisation des chemins, etc.) ;
- De la gestion et de l'écoulement des eaux : consommation et rejet d'eau ; usage de décanteurs / filtres ; positionnement des émissaires ; modifications des conditions hydrodynamiques ; etc. ;

- Des conditions de gestion des déchets conchyliques (e.g. incidences induites par les rejets de moules sous tailles ; traitement des boues de décantation) ;
- Du caractère temporaire ou permanent et direct ou indirect des pressions et des effets identifiés ;
- Des effets cumulés des pressions exercées.

Dans la continuité de cet état initial, il est nécessaire de hiérarchiser les enjeux environnementaux (espèces et habitats) et les effets des pressions par activité (directs / indirectes ; permanentes / temporaires) afin de permettre un choix pertinent des zones propices (avantages et inconvénients écologiques et socio- économiques). Cela permet ensuite de justifier les choix retenus par rapport aux problématiques environnementales (e.g. évitement, limitation).

- **Mesures de gestion environnementales :**

Avant toute chose, elles se doivent de figurer dans l'arrêté relatif aux schémas des structures des exploitations de cultures marines pour qu'elles soient connues par les professionnels et les rendre opposables si elles sont définies comme obligatoires. Aussi, leur fonction et leur statut doivent être précisés, c'est-à-dire, s'agit-il de mesure d'évitement ou de réduction (la compensation demeurant peu concluante en milieu marin) ? Sont-elles obligatoires, recommandées / préconisées ou suggérées ?

Dans tous les cas, certaines consignes par rapport à ces mesures doivent être soulignées :

- **Les mesures d'évitement des impacts doivent toujours être privilégiées** et doivent être précisées par une prise de position nette comme par exemple avec l'interdiction de nouvelles implantations dans les zones définies comme relevant de zones d'exclusion ou d'enjeu fort (e.g. zones sensibles pour l'avifaune ; habitats particuliers tels que le maërl, les herbiers ou encore les banquettes à lanice). Le cas échéant, ces mesures doivent être le plus détaillées possibles pour permettre d'être applicables (e.g. interdiction des activités de cultures marines dans un périmètre de 80 m autour des repositoires de phoques gris (Loyen 2017));
- Si l'alternative de l'évitement est impossible, des mesures de réduction des pressions sont à préconiser. Elles peuvent être par exemple que :
 - Les installations ou les agrandissements d'élevage dans les ZPS (Zones de protection spéciale désignées au titre de la directive « oiseaux ») ne doivent pas s'accompagner de mesures d'effarouchement ou de tir létaux ;
 - Un réaménagement des cultures peut être réalisé en incluant un périmètre tampon pour ne pas bloquer les exploitants (e.g. limiter les structures d'élevage sur la partie la plus dense d'un herbier ; recul de 1 m des zones concédées à forts enjeux économiques se superposant avec de la zostère).

Aussi, plusieurs avis et recommandations citent les mesures suivantes comme pertinentes ou devant être incluses dans le rapport environnemental et/ou dans l'arrêté portant SSECM. Ces mesures sont relatives :

- **Exclusif à la pisciculture :**

- A un plan de récupération d'urgence des poissons en cas d'échappement ;
- A la préconisation de l'usage de granulés d'alimentation flottants et semi-flottants ;
- A la définition d'une distance minimale entre les sites de production piscicoles et les herbiers fonction de la profondeur, de la surface d'exploitation, du tonnage du site et de la courantologie ;
- Au contrôle et à la réduction des effluents des installations que ce soit vis-à-vis de la matière organique, des composés chimiques et des organismes non indigènes.

- **Exclusives à la conchyliculture :**

- A la lutte contre l'introduction d'espèces invasives dans les différents bassins de production ;
- A la limitation des impacts hydrauliques : en interdisant le clayonnage (menus branchages assujettis à l'aide de piquets formant des claies verticales) et les clôtures sur le domaine public maritime ; en établissant une hauteur minimale des structures d'élevage et de captage à 30 cm minimum ; en diminuant les densités d'élevage ; en espaçant plus et en orientant mieux les structures dans le sens des courants, voir en les retirant sur certaines périodes, pour favoriser la chasse des sédiments.

• **Tout type d'aquaculture :**

- A la prévention de la limitation du dérangement des espèces fréquentant le site (notamment les espèces protégées de mammifères marins et d'oiseaux) ;
- A l'établissement de distances minimales d'installation en fonction des habitats à enjeux ;
- Aux modalités de gestion des conflits avec les autres usages (sensibilisation, information, etc.) ;
- Au fait d'opter pour des exploitations plus durables dans le choix de matériaux plus résistants et/ou biodégradables comme la préconisation de l'usage de manche en bois plutôt qu'en PVC pour fixer les coupelles de captage.
- Au rappel et à la mention de manière systématique dans l'arrêté portant SSECM l'obligation d'entretien et de nettoyage des concessions (au cours de son exploitation et à son terme²³³) et d'inclure aux demandes d'autorisation d'exploitations de cultures marines, un formulaire de conformité engageant le demandeur et/ou le bénéficiaire à respecter les prescriptions du schéma des structures du département et, en particulier, les obligations à caractère environnemental. Ce formulaire peut être composé de différentes parties en fonction du type demande (renouvellement, création, reclassement, etc. dans ou hors d'une aire marine protégée).

• **Suivis environnementaux :**

Qu'ils soient réalisés dans le cadre d'une évaluation des mesures de gestion, dans l'objectif d'expérimentation zootechnique ou pour le développement de nouvelles zones pour l'aquaculture marine, les suivis environnementaux envisagés dans le cadre des schémas doivent souvent être précisés.

Ainsi, les suivis envisagés doivent faire l'objet d'un tableau de bord avec les indicateurs concernés et les fréquences des relevés (e.g. pour les SRDAM, ils ne doivent pas se limiter à une fois tous les 5 ans), les financements potentiels, les partenaires souhaités et les acteurs en charge de leur mise en œuvre, les types d'activités concernées, les surfaces / les territoires s'y rapportant. Ceux-ci doivent appuyer au maximum sur l'existant comme les suivis réglementaires imposés aux exploitants d'ICPE à autorisation (exploitation piscicole).

²³³ I-5° de l'article R. 923-11 du Code rural et de la pêche maritime.

Avis et rapports consultés :

- AE Préfet de Corse. (2015). *Avis de l'autorité environnementale sur le schéma régional de développement de l'aquaculture marine corse*. Préfet de Corse, Ajaccio.
- AE Préfet de la Gironde. (2013). *Schéma des structures des exploitations de cultures marines de la Gironde. Avis de l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement (article L. 122-4 du code de l'environnement)* (avis N°PP-2013-012). Préfecture de la Gironde, Bordeaux.
- AE Préfet de la Manche. (2016). *Schéma des structures des exploitations de cultures marines du département de la Manche présenté par le Comité régional de la Conchyliculture reçu complet le 26 janvier 2016. Avis de l'autorité de l'Etat compétente en matière d'environnement sur le dossier présentant le schéma et comprenant le rapport environnemental au titre des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement*. (N°2016-000862). Préfet de la Manche, Saint-Lô.
- AE Préfet de la région Basse-Normandie. (2015). *Avis de l'autorité environnementale sur le "schéma régional de développement de l'aquaculture marine de Basse-Normandie"* (N°2015-747). Préfet de la région Basse-Normandie, Caen.
- AE Préfet de la région Nord - Pas-de-Calais. (2015a). *Avis de l'autorité environnementale. Schéma régional de développement de l'aquaculture marine Nord - Pas-de-Calais*. Préfet de la région Nord - Pas-de-Calais, Lille.
- AE Préfet de la région Nord - Pas-de-Calais. (2015b). *Avis de l'autorité environnementale, suite à la consultation relative au projet d'agrandissement d'une concession de moules sur bouchots à Berck-sur-mer*. Préfet de la région Nord - Pas-de-Calais, Lille.
- AE Préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. (2015a). *Avis de l'autorité environnementale relatif au schéma des structures des exploitations de cultures marines (SSECM) des Bouches-du-Rhône*. Préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Marseille.
- AE Préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. (2015b). *Avis de l'autorité environnementale sur le schéma régional de développement de l'aquaculture marine (SRDAM) en PACA*. Préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Marseille.
- AE Préfet de la Somme. (2016). *Projet de schéma départemental des structures des exploitations de cultures marines sur le territoire du département de la Somme. Avis de l'autorité environnementale de l'Etat sur l'étude d'impact*. Préfecture de la Somme, Amiens.
- AE Préfet de région Haute-Normandie. (2015). *Schéma régional de développement de l'aquaculture marine de Haute-Normandie présenté par la Direction interrégionale de la mer Manche Est - mer du Nord. Avis de l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement sur le dossier présentant le schéma et comprenant le rapport environnemental au titre des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement (évaluation environnementale)*. (N°2015-000600). Préfet de région Haute-Normandie, Rouen.
- AE Préfet de région Languedoc-Roussillon. (2014). *Schéma régional de développement de l'aquaculture marine du Languedoc-Roussillon porté par la Direction interrégionale de la mer Méditerranée. Avis de l'autorité environnementale sur le dossier présentant le plan/programme et comprenant le rapport environnemental au titre des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement (évaluation environnementale)*. (N°2014-000961). Préfet de région Languedoc-Roussillon, Montpellier.
- AE Préfet de région Picardie. (2015). *Schéma régional de développement de l'aquaculture marine de Picardie porté par la Direction interrégionale de la mer Manche Est - mer du Nord. Avis de l'autorité administrative compétente en matière d'environnement au titre des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement*. Préfet de région Picardie, Amiens.
- AE Préfet des Alpes-Maritimes. (2015). *Avis de l'autorité environnementale sur le schéma des structures des exploitations de cultures marines des Alpes-Maritimes (SSECM 06)*. Préfet des Alpes-Maritimes, Marseille.
- AE Préfet du Calvados. (2016). *Schéma des structures des exploitations de cultures marines du département du Calvados présenté par le Comité régional de la Conchyliculture reçu complet le 26 janvier 2016. Avis de l'autorité de l'Etat compétente en matière d'environnement sur le dossier présentant le schéma et comprenant le rapport environnemental au titre des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement*. (N°2016-000862). Préfecture du Calvados, Caen.
- AE Préfet du Morbihan. (2015). *Avis de l'autorité environnementale portant sur le projet de révision du schéma des structures des exploitations de cultures marines du département du Morbihan*. Préfet du Morbihan, Vannes.
- AE Préfet du Nord. (2016). *Avis de l'autorité environnementale, relatif au projet de schéma des structures des exploitations de cultures marines du département du Nord*. Préfet du Nord, Lille.
- AE Préfète de la Seine-Maritime. (2016). *Schéma des structures des exploitations de cultures marines du département de la Seine-Maritime présenté par le Comité régional de la Conchyliculture reçu complet le 26 janvier 2016. Avis de l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement sur le dossier présentant le schéma et comprenant le rapport environnemental au titre des articles L. 122-4 et suivants du code de l'environnement*. Préfète de la Seine-Maritime, Rouen.
- AE Préfète de région Normandie. (2016). *Projet de régularisation de l'autorisation d'exploiter une pisciculture marine en rade de Cherbourg (50) par la société GMG. Avis de l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement sur le dossier présentant le projet et comprenant l'étude d'impact au titre des articles L.122-1 et suivants du code de l'environnement (évaluation environnementale)* (N°2016-001057). Préfète de région Normandie, Caen.
- AE Préfète du Pas-de-Calais. (2016). *Avis de l'autorité environnementale, relatif au projet de schéma des structures des exploitations de cultures marines du département du Pas-de-Calais*. Préfecture du Pas-du-Calais, Lille.
- Gangnery, A. (2016). *Avis sur la proposition de modification du schéma des structures pour le département de la Manche* (N°LERN/PB/16-038). Ifremer, Port-en-Bessin-Huppain.
- Hubert, A. (2014a). *Avis relatif aux schémas régionaux de développement de l'aquaculture marine (SRDAM) de Basse-Normandie* (N°D/APP/14/185). Agence des aires marines protégées, Le Havre.
- Hubert, A. (2014b). *Avis relatif aux schémas régionaux de développement de l'aquaculture marine (SRDAM) de Haute-Normandie* (N°D/APP/14/231). Agence des aires marines protégées, Le Havre.
- Loyen, M. (2017). *Evaluation environnementale du schéma des structures des exploitations de cultures marines du département d'Ille-et-Vilaine* (Contrat DDTM d'Ille-et-Vilaine & SEANEO). SEANEO, Mont de Marsan.
- MRAe Bretagne. (2017). *Avis délibéré de la Mission régionale d'autorité environnementale de Bretagne sur le schéma des structures des cultures marines du département d'Ille-et-Vilaine (35)* (N°MRAe 2017-004934). Mission régionale d'autorité environnementale de la région Bretagne, Rennes.
- MRAe Nouvelle-Aquitaine. (2016). *Avis délibéré de la Mission régionale d'autorité environnementale de la région Nouvelle-Aquitaine sur le schéma des structures des cultures marines de la Charente- Maritime (17)* (N°MRAe 2016NA42 dossier PP-2016-003943). Mission régionale d'autorité environnementale de la région Nouvelle-Aquitaine, Bordeaux.
- Poulaine, P. & Lefeuvre, C. (2013). *Remarques, avis et propositions de l'équipe technique du Parc naturel marin d'Iroise sur « l'évaluation environnementale du Schéma départemental finistérien des structures » réalisée par la société « Luxmarina »* (N°PP/SC/279D13). Parc Naturel Marin d'Iroise, Le Conquet.
- Runde-Cariou, S. (2013). *Avis relatif aux schémas régionaux de développement de l'aquaculture marine pour la façade Méditerranée* (N°D/APP/13/041). Agence des aires marines protégées, Marseille.

Mesure 13

VEILLE SUR LES INNOVATIONS ZOOTECHNIQUES POUR LES ELEVAGES MARINS

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Tous enjeux relatifs aux écosystèmes marins (Natura 2000, DCSMM) qui peuvent bénéficier des améliorations techniques pour limiter les pressions exercées sur les habitats et les espèces.

Activités

Tous types d'aquaculture marine.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

Variables en fonction des écosystèmes et des types d'aquaculture considérés.

Coûts (exemples non exhaustifs)

- Projet MARINALGAE4aqua (1 750 000 € - Porteur de projet Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (Portugal) – Financement : U.E. COFASP ERA-net).
- Projet INTEGRATE (2 012 371 € - Porteur de projet Fundación Centro Tecnológico Acuicultura de Andalucía (Espagne) – Financement : U.E. Interreg 75 %).
- Projet IMTA EFFECT (750 000 € - Porteur de projet INRA (France) – Financement : U.E. COFASP ERA-net).
- Projet INvertebrateIT (860 996 € - Porteur de projet Innogate to Europe (Espagne) – Financement : EASME H2020 80 %).
- Projet VENER (142 052 € - Porteur de projet GEMEL (France) – Financement : FEAMP art. 47 Innovation (aquaculture) 60 %).
- Projet PERLE (1 871 000 € - Porteur de projet CRC Bretagne Nord– Financement : FEP ; France Agrimer ; CR de Bretagne et des Pays de Loire ; CD du Finistère ; Brest métropole).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Pour une même espèce, la zootechnie peut permettre d'adopter différentes modalités d'élevage. Celles-ci peuvent concerner les densités d'individus, les structures d'élevages et les équipements associés, les intrants apportés, la gestion des effluents, les méthodes d'exploitation, etc. Or, en fonction des techniques employées, celles-ci peuvent exercer des pressions plus ou moins fortes sur les espèces et les habitats marins et côtiers.

Objectifs :

Le développement de nouvelles méthodes zootechniques peut concourir à la réduction des pressions exercées sur l'environnement. Au-delà des considérations relatives au rendement économique qui est prioritaire pour les entreprises, il s'agit donc d'évaluer ces innovations d'un point de vue environnemental pour estimer si elles sont en mesure de contribuer à l'atténuation des pressions puis, le cas échéant, de faire en sorte qu'elles se diffusent au sein de la profession. A ce titre, la diversification des espèces élevées peut aboutir à une réduction des pressions exercées (e.g. composition des intrants pour des poissons herbivores vs des carnivores ; espèces locales vs espèces non-indigènes ; espèces détritivores pour favoriser le recyclage de la matière organique). Aussi, il faut souligner que, dans les prochaines années, les avancées dans le domaine de l'aquaculture multitrophique intégrée (AMTI) devraient permettre de limiter la part des pressions relatives à l'enrichissement de la colonne d'eau par les élevages, au moins pour ceux les plus contrôlables (bassins).

Contexte et mise en œuvre

Les contextes et les mises en œuvre de nouvelles méthodes d'élevage sont très variables en fonction des réalités économiques (coûts des structures d'élevage, des intrants, etc.), de l'avancée des expérimentations, des espèces élevées, des territoires concernés, etc.

Partenaires / Financements

Partenariats : institutions scientifiques (IFREMER, INRA, MNHN, ITAVI, etc.), entreprises privées, bureaux d'étude, associations environnementales, organisations professionnelles (CRC, CIPA, etc.), administrations, collectivités territoriales.

Financements : ANR, Agences de l'eau, U.E. (FEAMP (DLAL), FEDER, Horizon 2020, Interreg, COFASP ERA-net (*Cooperation in Fisheries, Aquaculture and Seafood Processing – European Research Area Network*)), collectivités territoriales (e.g. départements et régions), privés.

Descriptif technique

Compte tenu du nombre d'études à ce sujet, l'objet n'est pas d'en faire ici une revue détaillée. Il est cependant possible de citer quelques études réalisées ces dernières années qui peuvent aboutir à des innovations zootechniques dont tout ou partie peuvent contribuer à réduire les pressions relatives aux activités d'aquaculture marine (voir aussi la fiche mesure « Acquisition de connaissances sur les habitats et espèces en Interactions avec les élevages marins ») :

• Echelle européenne et internationale :

- **MARINALGAE4Aqua** – Algues marines pour l'aliment aquacole (2016-19). Les objectifs sont :

Coûts (exemples non exhaustifs) (suite)

- Projet PERLE 2 (1 454 406 € - Porteur de projet CRC Bretagne Nord – Financement : FEAMP art. 47 Innovation (aquaculture) 60 %).
- Projet FOREVER (1 232 827 € - Porteur de projet CRC Bretagne Sud – Financement : FEAMP art. 47 Innovation (aquaculture) 60 %).
- Projet HOLOFARM (1 468 311 € - Porteur de projet AGROCAMPUS (France) – Financement : FEAMP art. 47 Innovation (aquaculture) 60 %).
- Projet BIOMIMÉTISME phase 1 (14762 € - Porteur de projet CRC Arcachon Aquitaine – Financement : FEAMP DLAL Pays bassin d'Arcachon – Val de l'Eyre 40 % ; Région 40 % ; CRCA 20 %).
- Projet POLISTR (1 215 000 € - Porteur de projet AGROCAMPUS (France) – Financement : FEAMP art. 47 Innovation (aquaculture) 60 %).
- Projet d'élevage d'huitres en poches australiennes (200 000 € – Porteur de Projet entreprise Saint Kléber – Financement : FEAMP DLAL Côte d'émeraude – Baie du Mont 27 % ; Région 27 % ; entreprise Saint Kléber 46 %).

- 1- Utiliser des cultures d'algues marines pour éliminer les composés minéraux présents dans les effluents d'élevage de poissons ;
 - 2- Développer des outils opérationnels, incluant des modèles, dans l'objectif d'établir et de décrire les relations entre les conditions environnementales et les activités d'aquaculture pour un panel d'écosystèmes et de systèmes de production ;
 - 3- Développer des évaluations environnementales des impacts efficaces et des méthodes de sélection de site dans le cadre de la gestion des zones côtières.
- **IMTA-EFFECT** – Aquaculture multi trophique intégrée (AMTI) efficace et respectueuse de l'environnement (2016-19). Son objectif consiste à produire des connaissances afin de concevoir des stratégies d'AMTI pour les pisciculteurs qui sont efficaces, économiquement attractives, robustes et écologiques. En France, le cas d'étude pour ce projet est un système couplant un compartiment poisson (bar) en re-circulation avec un lagunage à haut rendement algal, un compartiment filtreur (huitres) et des détritivores (figure 1). Les instituts scientifiques français impliqués dans ce projet sont l'INRA, l'Ifremer, l'IRD et le CIRAD.
 - **INTEGRATE** – L'aquaculture intégrée : une solution éco-novatrice pour la durabilité en zone atlantique (2017-20). Les objectifs sont entre autres :
 - 1- Réaliser une synthèse bibliographique de l'Aquaculture Multitrophique intégrée (AMTI) dans chaque pays partenaire ;
 - 2- D'établir un guide des bonnes pratiques en AMTI ;
 - 3- Démontrer et promouvoir l'efficacité environnementale de l'AMTI via des outils de modélisation et des analyses de cycle de vie (ACV).Deux sites pilotes français appuient les expérimentations prévues dans le cadre de ce projet : l'un d'Agrocampus Ouest (site de Beg Meil, commune de Fouesnant) et l'autre du CEVA (Centre d'Etude et de Valorisation des Algues, commune de Pleubian).
 - **InvertebrateIT** – Freins et opportunités pour une aquaculture compétitive et durable (2017-19). Son objectif est de permettre aux aquaculteurs : de réduire leur dépendance actuelle à de l'alimentation piscicole coûteuse, variable, et souvent non durable ; de diversifier leur business ; et de contribuer à une meilleure gestion des déchets organiques de valeur et/ou à de nouveaux substrats algaux pour la production d'insectes. Le pôle Mer Bretagne Atlantique – Technopole Quimper – Cornouaille était l'un des sept partenaires européens de ce projet. Une entreprise française (Innovafeed) fait partie des trois lauréats du concours lancé pour permettre aux PME étendre leurs solutions de pointe en termes de production d'invertébrés.
- **Echelle nationale ou locale :**
 - **VENER** – Valorisation des effluents de centres conchylicoles : l'élevage intégré de *NEReis* (2016-18). Ce projet porté par le GEMEL²³⁴ a un double objectif : améliorer la durabilité environnementale des exploitations conchylicoles en leur permettant de réduire leurs rejets en mer de matière organique ; et développer la filière française pour le vers *Nereis diversicolor*. *Il peut donc participer à une réduction de la charge en matière organique des effluents ostréicoles et à la diversification des productions.*
 - **PERIFF** – Pré-étude régionale sur l'utilisation d'insectes dans l'alimentation des poissons d'élevage (Trintignac & Metivier 2019). Cette étude portée par le SMIDAP (Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire) indique que, malgré les promesses de l'usage des insectes dans l'alimentation piscicole,

²³⁴ Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux – Association fondée en 1981 et basée en Picardie, elle a pour objectif principal d'enrichir la connaissance des écosystèmes littoraux et estuariens mais souhaite aussi favoriser les échanges entre les scientifiques et les usagers du littoral.

Difficultés rencontrées

Au-delà des problématiques relatives aux innovations testées (plan d'expérimentation, coûts des tests, faisabilité technique, etc.), c'est le transfert des innovations développées vers les professionnels et leur adoption par ceux-ci qui peuvent être un frein au déploiement des perfectionnements zootechniques les plus récents. En effet, il faut que ceux-ci, une fois validés et stabilisés, soient connus et reconnus par la profession, qu'ils démontrent un intérêt réel pour les entreprises (rendement, coûts des innovations, etc.) et que les professionnels y soient formés si cela est nécessaire. Ce dernier point est particulièrement prégnant lors d'une diversification des espèces élevées comme c'est le cas pour l'aquaculture multitrophique intégrée (AMTI) qui peut faire appel à des embranchements du vivant physiologiquement distants (e.g. algues vs mollusques vs vertébrés vs échinodermes) pour lesquels les aquaculteurs n'ont pas nécessairement les compétences techniques adéquates.

l'empreinte écologique (ACV - analyse du cycle de vie) et le coût de cette filière demeurent plus élevés que pour les farines de poissons ou d'autres apports végétaux (e.g. tourteau de soja). De plus, de nombreuses études complémentaires sont nécessaires pour savoir quelle(s) proportion(s), de quel(s) insecte(s) pour quelle espèce en élevage doivent être incorporés dans l'alimentation pour standardiser la qualité nutritionnelle (éviter les carences, améliorer la digestibilité, etc.). Ainsi, à ce jour, l'utilisation de farine d'insectes n'est pertinente que pour les fermes nécessitant peu de volumes et à forte valeur ajoutée (poissons d'ornements et alevins). A plus long terme, l'ouverture du marché de l'alimentation à base d'insectes à d'autres secteurs (volaille et alimentation humaine) pourrait aussi limiter son usage en aquaculture par manque de production.

- Les trois projets suivants concernent la préservation et la restauration de la ressource huître plate (*Ostrea edulis*) sur les côtes atlantiques afin de faire perdurer cette espèce locale emblématique et patrimoniale. Au-delà du potentiel de diversification pour les entreprises par l'élevage d'une espèce locale, ces projets participent au maintien d'un habitat typique et spécifique de nos littoraux.
 - **PERLE** – Programme d'expérimentation et de recherche sur l'huître plate *Ostrea edulis* (2011-14) (Anonyme 2014; Hussenot *et al.* 2014) ;
 - **PERLE 2** – Méthode innovante de sélection de l'huître plate *Ostrea edulis* 2 pour aider à restaurer l'espèce (2018-20) ;
 - **FOREVER** – Inventaire, diagnostic écologique et restauration des principaux bancs d'huîtres plates en Bretagne (Flat Oyster REcoVERy) (2018-20).
- **HOLOFARM** – Initier une nouvelle filière de production aquacole, holothuriculture (2018-20). Ce projet a pour objectif de favoriser la diversification de la production conchylicole afin de pérenniser les activités primaires du littoral. Il s'intéresse à trois espèces d'holothuries : l'holothurie noire, *Holothuria (Panningothuria) forskal*²³⁵ ; l'holothurie tubuleuse, *Holothuria (Holothuria) tubulosa*²³⁶ ; et l'holothurie royale, *Parastichopus regalis*²³⁷. En effet, les holothuries, et plus spécialement celles ayant un comportement alimentaire détritivore / psammivore²³⁸, ont un rôle écologique majeur pour le bon fonctionnement des écosystèmes dans lesquels elles vivent en recyclant une partie de la matière organique. L'holothurie est donc un animal rendant des services écosystémiques qui peut offrir de nombreuses perspectives pour une aquaculture durable qu'elle soit élevée seule ou en polyculture.
- **POLISTR** – Développement de méthodes innovantes de cultures d'algues (2018-20). Ce projet doit aboutir à l'établissement de voies de diversification pour les aquaculteurs (algoculture et co-culture) en s'intéressant aussi bien à des considérations techniques (maîtrise de certaines espèces d'algue) qu'économiques (coût des cycles de production, investissements, marchés).
- **BIOMIMETISME** – Étude d'opportunité d'une filière d'élevage biomimétique²³⁹ de l'huître creuse dans les bassins conchylicoles de la Nouvelle-Aquitaine (Barbier *et al.* 2019; Eustache *et al.* 2019) (2018-19). Il s'agit de reproduire les conditions naturelles de fixation des huitres sur un support à même le sol. Son objectif est d'acquérir des connaissances sur l'élevage de l'huître à plat par des études bibliographiques et expérimentales. Les premiers résultats indiquent que cette méthode peut aboutir à des performances zootechniques comparables à l'élevage

²³⁵ Delle Chiaje, 1823.

²³⁶ Gmelin, 1791.

²³⁷ (Cuvier, 1817).

²³⁸ Qui se nourrit des organismes vivants dans les sédiments sableux.

²³⁹ Qui s'inspire/imité du/le vivant.

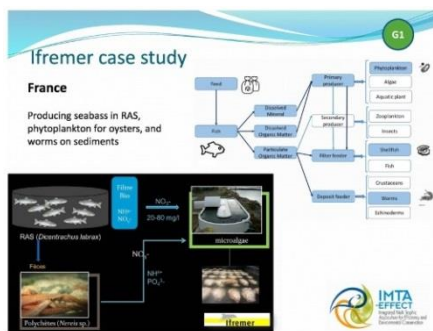


Figure 1 : présentation de l'étude de cas développée par l'Ifremer dans le cadre du projet IMTA-EFFECT (Aubin 2017).



Figure 2 : préparation des cadres d'élevage « biomimétique ». Modalité a. « Biomimétisme horizontal » ; b. « Biomimétisme vertical » des 18 et 30 mois ; c. « Biomimétisme vertical » du naissain ; d. Disposition des cadres sur parc à proximité des témoins « poche » (Barbier et al. 2019b).

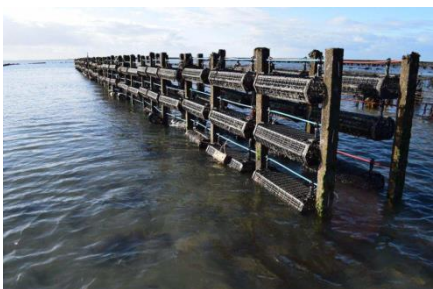


Figure 3 : système d'élevage avec paniers australiens (Blin 2018).

conventionnel en poche si l'envasement et le captage de naissain ne recouvrent pas trop fortement les cadres (figure 2).

- L'expérimentation de poches australiennes pour l'élevage d'huîtres creuses s'est développée sur plusieurs territoires ces dernières années (e.g. Charente-Maritime, Morbihan, Côtes d'Armor, Manche) (e.g. Mille & Blachier 2009; Blin 2018 et figure 3) avec des adhésions variables par les professionnels (rendement, coût, adaptation aux conditions locales, etc.). Au-delà des considérations zootechniques et relatives aux conditions de travail (densité d'élevage, volume des manipulations réduit et baisse de la pénibilité, pas de démaillage, taux de chair / de croissance, etc.), ces structures d'élevage semblent être en mesure de :
 - Diminuer la sédimentation en augmentant la circulation de l'eau (effet barrière moins important que pour les tables) ;
 - Réduire le passage des engins d'exploitation puisque il n'y a plus de nécessité de retourner les poches. Il y a donc moins de risque de pollution et de dérangement de la faune ;
 - Réduire la quantité de déchet généré et perdu par rapport à des poches conventionnelles (moins de perte par l'absence d'élastique).

Références / Bibliographie

Liens internet :

Projet MARINALGAE4aqua (2016-19) :

- <https://anr.fr/Projet-ANR-15-COFA-0003>
- http://www.umr-marbec.fr/IMG/pdf/marin_algae_fiche_projet_fr.pdf
- <https://marinalgae4aqua.ciimar.up.pt/#>

Projet IMTA EFFECT (2016-19) :

- <https://www6.inra.fr/imta-effect>
- <https://anr.fr/Projet-ANR-15-COFA-0001>
- <https://www6.inra.fr/imta-effect/>

Projet INvertebrateIT (2017-19) :

- <https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/actualites/2334-cloture-du-projet-europeen-invertebrateit>

Projet VENER (2016-18) :

- <http://www.gemel.org/nos-activites/vener>

Projet PERIFF :

- https://www.smidap.fr/images/pdf/ETUDE_PISCI/Rapport_periff_VF.pdf

Projet PERLE (2011-14) :

- <https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/ressources-biologiques-marines/project/2285>
- Rapport synthétique : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00249/36060/34610.pdf>
- Rapport complet : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00248/35932/34451.pdf>

Projet PERLE 2 (2018-20) :

- <https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/ressources-biologiques-marines/project/2527>

Projet FOREVER (2018-20) :

- <https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/component/projects/project/2507>

Projet POLISTR (2018-20) :

- <https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/ressources-biologiques-marines/project/2509>

Rapports et publications :

- Anonyme. (2014). PERLE. Programme d'expérimentation et de recherche sur l'huître plate *Ostrea edulis*. Rapport final de l'ensemble du projet 2011-2014.
- Aubin, J. (2017). *Efficiency and environmental performance of IMTA in marine and freshwater systems*.
- Barbier, P., Eustache, S., Retailleau, K. & Vieira, J. (2019). *Projet BIOMIMÉTISME « Étude d'opportunité d'une filière d'élevage biomimétique de l'huître creuse dans les bassins conchylicoles de la Nouvelle-Aquitaine »*. Rapport d'expérimentation. CREA, Le Château d'Oléron.
- Blin, J.-L. (2018). *Nouveau système d'élevage des huîtres "Poches australiennes."* SMEL, Saint-Lo.
- Eustache, S., Barbier, P., Retailleau, K. & Vieira, J. (2019). *Projet BIOMIMÉTISME « Étude d'opportunité d'une filière d'élevage biomimétique de l'huître creuse dans les bassins conchylicoles de la Nouvelle-Aquitaine »*. Rapport bibliographique des techniques et expériences de l'élevage de l'huître à plat dans les Bassins d'Arcachon et de Marennes-Oléron (Rapport d'expérimentation). CREA, Le Château d'Oléron.
- Hussenot, M., Pouvreau, S., Duchene, J., Freulon, H., Arzul, I. & Lapegue, S. (2014). Synthèse PERLE. Programme d'expérimentation et de recherche sur l'huître plate *Ostrea edulis*.
- Mille, D. & Blachier, P. (2009). *Mutations conchylicoles - Etat des lieux et perspectives de développement des productions en eau profonde à l'automne 2008*. CREA, Le Château d'Oléron.
- Trintignac, P. & Metivier, R. (2019). *Pré-étude régionale sur l'utilisation d'insectes dans l'alimentation des poissons d'élevage. Pré étude Régionale Insectes Feed for Fish - PERIFF*. SMIDAP.

INFORMATION ET SENSIBILISATION SUR LES INTERACTIONS ENTRE ENVIRONNEMENT MARIN ET AQUACULTURE MARINE

Territoire

Tous territoires hébergeant des activités d'aquaculture marine.

Enjeux détaillés

Tous enjeux relatifs aux écosystèmes marins qui peuvent bénéficier d'une meilleure connaissance des interactions entre environnement marin et aquaculture marine par les acteurs qu'ils soient des professionnels, des services de l'Etat, des gestionnaires d'aires marines protégées ou le grand public.

Activités

Tous types d'aquaculture marine.

Objectifs environnementaux DCSMM (2nd cycle 2019)

Variables en fonction des écosystèmes et des types d'aquaculture considérés.

Coûts (exemples non exhaustifs)

- Projet MELOEM (72500 € – porteur de projet parc naturel régional du Golfe du Morbihan – Financement : FEAMP DLAL Pays de Vannes – Auray 40 % ; Région 40 % ; Public (autre) 16,5 % ; CDPMEM 56 1,7 % ; CRC BS 1,7 %).

- Formation sanitaire pour les conchyliculteurs des Hauts-de-France (formation HACCP) (10495 € – porteur de projet Comité Régional de la Conchyliculture Normandie - Mer du Nord – Financement : FEAMP DLAL 3 estuaires –40 % ; Région 40 % ; CRC NMN 20 %).

- Projet CO³DEMAR (29634 € – porteur de projet LPO – FEAMP DLAL Marennes-Oléron 40 % ; Région 40 % ; LPO 20 % ainsi qu'une participation complémentaire de 20000 € du Parc Naturel Marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis pour étendre les sites suivis).

Problématique et objectifs de gestion

Problématique :

Selon les interlocuteurs, la connaissance des interactions entre environnement marin et aquaculture marine et la perception qui en découle sont souvent partielles et conditionnées par un ensemble de facteurs inhérents à la formation reçue, à la profession exercée, au lieu de résidence, à la sensibilité aux enjeux maritimes, au positionnement politique et économique, etc.

Cet état de fait implique des visions différentes, régulièrement antagonistes, et des prises de position pouvant être conflictuelles (*i.e.* de manière caricaturale, enjeux économiques vs enjeux écologiques / paysagés). Or, ces divergences jouent un rôle important aussi bien dans l'acceptabilité sociale des élevages marins que dans la prise en compte exhaustive des enjeux écologiques et socio-économiques. Les notions de capacité de support écologique et la capacité de support sociale (cf. II.A.3.1) sont les résultantes de tel constat (McKindsey *et al.* 2006). Afin de favoriser des perceptions, des prises de position et des choix communs et objectivés vis-à-vis de ces interactions, il est nécessaire que les acteurs impliqués communiquent et partagent sur ces relations entre les écosystèmes marins et l'aquaculture marine.

Objectifs :

Quels que soient les publics considérés (élus, professionnels, services de l'Etat, associations, grand public, etc.), les actions d'informations et de sensibilisation favorisent le développement d'une culture commune sur les enjeux relatifs aux interactions qui existent entre l'environnement marin et l'aquaculture marine. La création d'une culture commune permet d'améliorer la prise en compte des écosystèmes marins et des activités de cultures marines dans la conscience collective. Cette culture commune peut permettre d'aboutir à une vision partagée des problématiques, qu'elles soient d'ordre écologiques ou socio-économiques. Sans pour autant que cette représentation aboutisse nécessairement à des consensus, une vision partagée est susceptible d'augmenter l'acceptabilité sociale, de faciliter les prises de décisions, de participer à la création de capital social²⁴⁰.

Il s'agit donc de promouvoir toutes formes de communication qui contribue à la création d'une vision commune des interactions entre écosystèmes marins et aquaculture marine en s'appuyant sur des sources et des actions partagées les plus objectives possibles.

Contexte et mise en œuvre

Ces actions d'information et de sensibilisation peuvent être répertoriées selon :

- Le ou les publics cibles et les initiateurs de l'action de communication ;
- Les supports et / ou les actions mis en œuvre ;
- L'échelle de diffusion de ces supports et de ces actions ;
- Le ou les éléments faisant l'objet d'une telle démarche.

Partenaires / Financements

Partenariats : entreprises privés, organisations professionnelles, collectivités territoriales, institutions scientifiques, gestionnaires d'AMP, associations.

²⁴⁰ Cette notion comprend les relations de confiance, la réciprocité, des règles communes, des normes et des sanctions et de la connectivité dans les institutions (Pretty & Ward 2001).

- Projet AQUAECOs (788880 € – CRC CM 6 % ; ANRT 5 % ; CG 17 15 % ; région NA 21 % ; PNM EGMP 11 % ; laboratoire QUALYSE 6 % ; laboratoire LIENSs 9 % ; laboratoire EPOC 27 %).

Financements : Europe (LIFE, FEAMP), Etat, Région, Département, professionnel.

Descriptif technique

Implication des professionnels dans des actions de préservation et d'amélioration des connaissances de l'environnement marin – Ces actions participent à la prise en compte par les professionnels des conséquences de leurs activités sur le littoral et à faire valoir auprès du grand public qu'ils sont bien dépendants de la qualité du milieu pour leur production et qu'ils s'en préoccupent.



Figure 1 : affichage de mobilisation pour le nettoyage des plages du Morbihan à l'initiative du CRC Bretagne sud en partenariat avec l'association Surfriider foundation Europe.

- **Opérations de ramassage des déchets sur les plages** – Depuis plusieurs années de nombreuses initiatives de collecte des déchets sur la côte ont été portées par les professionnels (principalement Bretagne et Normandie) (cf. fiche « Réduction, Collecte, Gestion et valorisation des déchets et coproduits conchylicoles »). Ces démarches peuvent être financées par la profession (e.g. Pass'Emploi 35 et CASCI associations de réinsertion, ESATCO en pays de Paimpol pour travailleurs en situation de handicap, etc.) ou directement réalisées par les professionnels en lien ou non avec des associations (e.g. Surfriider Foundation Europe, CPIE Vallée de l'Orne) (figure 1) et ceci lors d'événement particulier ou non (e.g. journée mondiale de l'océan).
- **Restauration de zones de nidification** – Cette action portée par le parc naturel régional de la Narbonnaise et un conchyliculteur dans le cadre du projet LIFE+ ENVOLL (lauréat du prix pôle-relais lagunes méditerranéennes 2017 sur le thème « économie et biodiversité ») consiste à disposer des coquilles d'huîtres vides sur des îlots en lagunes afin de favoriser la nidification des larvo-limicoles (Roché *et al.* 2018). Elle permet de sensibiliser le grand public, aussi bien que les autres professionnels aux enjeux environnementaux et aux interactions potentiellement positives entre l'activité et l'avifaune.
- **Projet CO³DEMAR (CONcertation, de CONnaissances et de COMMunication sur les DEchets MARins)** – Issue d'une collaboration entre le CRC CM, le CDPMEM 17, la Communauté de Communes de l'île d'Oléron, la LPO (RNN de Moëze-Oléron), l'association TEO et le PNM EGMP, Il vise à mieux connaître la nature et l'importance de la pollution par les déchets marins sur l'île d'Oléron et sur d'autres sites du secteur (protocole OSPAR de suivi des déchets littoraux adapté au contexte du programme de surveillance de la DCSMM). Cette caractérisation passe entre autres par l'estimation des taux de pertes de matériel conchylicole dans le parc naturel marin en fonction de leur nature et du type d'activité associé (mytiliculture ou ostréiculture).
- **Projet AQUAECOs (Amélioration de la QUALité Environnementale dans les zones CONchylicoles des Pertuis Charentais)** – Il vise à caractériser la qualité de l'environnement littoral des pertuis Breton et d'Antioche (Charente-Maritime) vis-à-vis de la contamination aux pesticides et aux microplastiques et à déterminer leurs effets sur la santé des huîtres et des moules. Il fédère autour de cette thématique deux laboratoires de recherche (LIENSs et EPOC), le CRC CM, le PNM EGMP et le laboratoire d'analyse QUALYSE.
- **Le projet MELOEM «Mémoires locales de l'environnement marin»** – Issu d'une demande du CRC Bretagne sud, ce projet porté par le parc naturel régional du Golfe du Morbihan vise à recueillir les savoirs empiriques des professionnels de la mer du secteur primaire dont ceux relatifs à l'environnement marin du Golfe. Cette étude ne vise pas directement de la sensibilisation mais elle pourra contribuer à transmettre, entre autres, des éléments sur l'évolution des milieux et des pratiques entre les professionnels. Elle débute fin 2019 / début 2020.



Figure 2 : capture d'écran du jeu Aquakultor.

Documents à l'attention des autres usagers et du grand public – ces supports de communication et de sensibilisation participent à améliorer la compréhension des non professionnels aux nombreux enjeux relatifs aux activités d'aquaculture marine :

- **Plaquette et vidéo sur les services écosystémiques rendus par la conchyliculture.** Ces documents produits par le comité régional conchylicol de Bretagne nord décrivent et informent sur ces services. Elle permet une meilleure connaissance par le grand public des apports de cette activité pour la société et les écosystèmes marins (figure 3 et cf. liens internet).

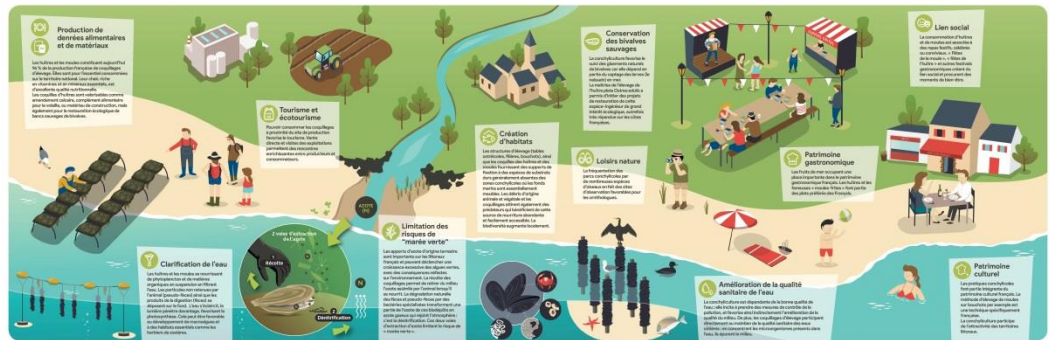


Figure 3 : plaquette sur CRC Bretagne nord sur les services écosystémiques rendus par la conchyliculture.

- **Jeu de simulation sur l'aquaculture durable : Aquakultor** – Issu d'une idée originale de Mathieu Besson et de François Allal²⁴¹, ce jeu a été développé par la société « The One Man Army Game Studio » (disponible pour les smartphones et tablettes sous Android ou iOS). Le jeu s'inspire des connaissances zootechniques et génétiques acquises par l'Ifremer de Palavas-Les-Flots sur le bar et sur la modélisation des gains économiques et environnementaux associés au progrès génétique. Il invite le joueur à se mettre dans la peau d'un pisciculteur qui, pour développer son activité, doit surveiller son impact environnemental (figure 2). Afin de limiter ses pressions sur le milieu, l'éleveur peut par exemple, en sélectionnant ses poissons, améliorer les performances de son élevage (croissance des individus, efficacité alimentaire, résistance aux maladies). Cette application ludique et éducative permet de s'initier aux enjeux environnementaux et socio-économiques relatifs à cette activité d'élevage.
- **Mallette pédagogique du CPIE du bassin de Thau** – Cet outil pédagogique, conçu en partenariat avec des pêcheurs et des conchyliculteurs, s'intéresse à ces deux métiers phares de la lagune de Thau. Il se veut fidèle aux sujets traités et attractif pour le public.

Groupes de travail, comités de pilotage, de suivi, consultatif – En fonction des acteurs présents et des thématiques abordées, les groupes de travail et autres comités / réunions participent à la sensibilisation des uns et des autres aux problématiques et aux questions de différentes parties prenantes :

- Le groupe de travail sur la déprédation aviaire en Manche en est un bon exemple, il est constitué d'un ensemble d'établissements aux objectifs pouvant être divergents mais qui, par le biais de collaboration et de concertation, permet d'aboutir à des actions dans le consensus (DDTM, DREAL, ONCFS, Groupe Ornithologique Normand, CRC Normandie – Mer du Nord, CELRL, du SMEL, AFB et RNN de Beauguillot) (cf. fiche « Evaluation et moyens de lutte contre la déprédation et les compétiteurs »).

²⁴¹ Respectivement, chercheurs au sein de l'équipe GenAqua de l'UMR 1313 GABI (Génétique Animale et Biologie Intégrative) (tutelle INRA et AgroParisTech) et au sein de l'UMR MARBEC (MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation) (tutelle IRD, Ifremer, université de Montpellier et CNRS).

CHARTRE CONCHYLICOLE DU MORBIHAN



DOCUMENT SIGNÉ LE 11 JUILLET 2011

AVANT PROPOS	2
Origine et objectifs de la charte	2
Enjeux et effets de la charte	4
MIEUX CONNAITRE LE CONTEXTE	5
Les évolutions historiques de l'activité	5
Les raisons de la fragilisation de l'activité	6
Le contexte de la crise	8
Poids et enjeu de l'activité conchylicole dans le Morbihan	9
CONNAITRE LA REGLEMENTATION	11
Les règles relatives à la gestion du DPM	11
Les règles propres à la conchyliculture	13
Les règles relatives aux changements de destination	15
Les règles relatives aux diversifications	19
Les règles d'urbanisme	22
Le schéma de mise en valeur de la mer (SMVM)	30
La prévention des risques littoraux	32
Les règles sanitaires	36
CONSTATS ET PRECONISATIONS	39
La qualité des eaux	39
La diversification	47
Le changement de destination	50
L'abandon des concessions	54
La prévention et la résolution des conflits d'usage	56
L'impact paysager et architectural	58
L'impact vis à vis de la biodiversité	61
Les déchets	63
Connaître la structure : l'observatoire de la conchyliculture	66
LES OUTILS ET LEVIERS	68
Planification	69
Les démarches globales d'assainissement	70
Le contrôle et les sanctions	71
Les études et démarches à mener	72
L'information des professionnels	73
L'information des acquéreurs	74
La veille et l'observation	75
La concertation, la médiation et l'expertise	76
La démarche foncière	77
Gouvernance de la charte	78
ANNEXES	79

- Le comité de pilotage (2010) en charge de la charte conchylicole du Morbihan a permis de réunir tous les partenaires concernés par le sujet : le sous-préfet de Lorient, en charge de la mer et du littoral, le département du Morbihan, l'association des maires et présidents d'EPCI du Morbihan, le CRC-BS, les services de l'Etat compétents tels que la DDTM (DML et service urbanisme et aménagement), la MISE, et la DDPP. Elle fait la synthèse des éléments de connaissance utiles à la démarche dans les domaines juridiques, techniques, économiques, environnementaux, mais aussi historiques et sociologiques. Elle formule ensuite les préconisations nécessaires, les outils à développer et les démarches à mettre en œuvre. Elle n'a pas de valeur réglementaire mais elle est issue d'une élaboration collective et de l'engagement mutuel des partenaires. La charte s'adresse aux professionnels pour lesquels la situation est clarifiée sur plusieurs points, aux collectivités dont l'appui est essentiel au regard de leurs compétences et de leur connaissance du territoire, à l'Etat et au département pour qui ce document constitue un élément de référence dans l'exercice de leurs compétences respectives (DDTM 56 *et al.* 2011).

Documents et formations à l'attention des professionnels – Ils sont de différentes natures en fonction des producteurs et des destinataires mais participent de manière plus ou moins importante à une prise en compte accrue des politiques et enjeux environnementaux et sanitaires par la profession. A ce titre, il est possible de citer :

- Pour la pisciculture : le **guide des bonnes pratiques sanitaires en élevages piscicole** (Lautraite & Le Breton 2006).
- Pour les élevages en marais salés : le **document du forum des marais sur la gestion de ces milieux** (Anras *et al.* 2004).
- Pour les élevages conchylicoles :
 - o **Le guide du CEPALMAR sur l'élevage conchylicole en Languedoc-Rousillon** (Marty *et al.* 2008);
 - o **Le formulaire de conformité fourni pour les demandes d'exploitation de cultures marines dans le département de la manche**. Ce document engage le demandeur à respecter les mesures environnementales prescrites dans le schéma des structures d'exploitation des cultures marines et informe sur les sites Natura 2000, les habitats et les espèces en présence sur le territoire (Préfet de la Manche, DML 50 2016) ;
 - o **La formation sanitaire pour les conchyliculteurs des Hauts-de-France** (formation HACCP = Hazard Analysis Critical Control Point = Analyse des dangers - points critiques pour leur maîtrise). Cette formation apporte aux conchyliculteurs en exercice une mise à jour concernant les obligations sanitaires relatives à la vente de produits de la mer vivant.

Figure 4 : 1^{ère} de couverture et table des matières de la charte conchylicole du Morbihan.

Liens internet :

Opérations de ramassage des déchets sur les plages par les conchyliculteurs et les citoyens :

- <https://www.ouest-france.fr/normandie/coutances-50200/les-conchyliculteurs-en-action-pour-nettoyer-les-plages-de-la-manche-4073290>
- https://actu.fr/normandie/asnelles_14022/bessin-courseulles-arromanches-ostreiculteurs-nettoient-plages_25182824.html
- <https://www.letelegramme.fr/bretagne/mer/cote-morbihannaise-12-journees-de-nettoyage-avec-les-conchyliculteurs-07-04-2016-11022712.php>
- <https://www.letelegramme.fr/morbihan/locmariaquer/saint-pierre-les-conchyliculteurs-ont-nettoye-les-plages-25-04-2017-11488825.php>
- http://www.brech.fr/Journees-de-nettoyage-de-la-cote-morbihannaise_a_1229_c_8.html
- <https://www.initiativesoceanes.org/fr/collecte/11363>

Restauration d'îlots de nidification dans les anciens salins de Sigean pour la reproduction des larvo-limicoles coloniaux :

- <https://dis-leur.fr/lagunes-4-etoiles-a-base-dhuitre-oiseaux-migrateurs/>
- http://www.life-envoll.eu/IMG/pdf/actes_seminaire_web_par_page.pdf

Jeu AquaKultor :

- <http://www.umr-marbec.fr/fr/l-umr/actualites/aquakultor-un-jeu-marbec.657.html>

Malle pédagogique du CPIE bassin de Thau :

- <http://www.cpiebassindethau.fr/wp-content/uploads/2015/05/Malle-PC-Depliant-de-presentation.pdf>

Charte conchylicole du Morbihan :

- <http://www.morbihan.gouv.fr/content/download/1627/9400/file/Charte%20conchylicole.pdf>

Vidéo sur les services écosystémiques de la conchyliculture :

- https://www.youtube.com/watch?v=3qWN5f_w_yU

Rapports et publications :

- Anras, L., Blachier, P., Hussenot, J., Lagardère, J.-P., Lapouyade, P., Massé, J., *et al.* (2004). *Les marais salés atlantiques. Mieux connaître pour mieux gérer.* Cahiers techniques. Forum des marais atlantiques, Rochefort.
- DDTM 56, Préfet du Morbihan, Sous-préfet de Lorient, CG 56, CRC Bretagne nord, DREAL Bretagne, *et al.* (2011). Charte conchylicole du Morbihan.
- Lautraite, A. & Le Breton, A. (2006). *Guide des bonnes pratiques sanitaires en élevages piscicoles.* FFA, UNPSA, CIPA, DPMA, OFIMER, IFOP.
- Marty, C., Mazouni, N., Gervasoni, E. & Douillon, S. (2008). *Guide de l'exploitation conchylicole en Languedoc-Roussillon.* CEPRALMAR, Sète.
- McKindsey, C.W., Thetmeyer, H., Landry, T. & Silvert, W. (2006). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*, 261, 451–462.
- Préfet de la Manche, DML 50. (2016). Formulaire de conformité d'une demande d'autorisation d'exploitation de cultures marines avec le schéma des structures de la Manche.
- Pretty, J. & Ward, H. (2001). Social Capital and the Environment. *World Development*, 29, 209–227.
- Roché, J.-E., Sadoul, N. & Galindo, C. (2018). Actes du séminaire final Projet LIFE+ ENVOLL 2013-2018 Mise en réseau de sites de reproduction sur le pourtour méditerranéen français pour la protection des larvo-limicoles coloniaux. Presented at the Séminaire final Projet LIFE+ ENVOLL 2013-2018, Arles, p. 102.

BIBLIOGRAPHIE

- Acierno, R., Blancheton, J.-P., Ceruti, L., Roque d'Orbcastel, E., Claricoates, J. & Donaldson, G. (2006). *Manual on effluent treatment in aquaculture: Science and Practice. Aquaetreat.* (No. CONTRACT N. COLL-CT-2003-5003 05).
- Acolas, M.L., Le Pichon, C. & Rochard, E. (2017). Spring habitat use by stocked one year old European sturgeon *Acipenser sturio* in the freshwater-oligohaline area of the Gironde estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 196, 58–69.
- Adams, C.E., Burrows, A., Thompson, C. & Verspoor, E. (2014). An unusually high frequency of Atlantic salmon x brown trout hybrids in the Loch Lomond catchment, west-central Scotland. *The Glasgow Naturalist*, 26, 75–81.
- AFB, UMS PatriNat, MAA & MTES. (2019). *Habitats benthiques et activités de pêche professionnelle dans les sites Natura 2000: méthodologie d'évaluation des risques de porter atteinte aux objectifs de conservation des sites.* AFB - UMS PatriNat - MAA - MTES, Paris.
- Aguado-Giménez, F., Eguía-Martínez, S., Cerezo-Valverde, J. & García-García, B. (2018). Spatio-temporal variability of ichthyophagous bird assemblage around western Mediterranean open-sea cage fish farms. *Marine Environmental Research*, 140, 126–134.
- Allen, S., Ainley, D., Page, G. & A. RIBLE, C. (1984). The effect of disturbance on harbor seal haul out patterns at Bolinas Lagoon, California. *Fishery Bulletin*, 82.
- Almanza, V. & Buschmann, A.H. (2013). The ecological importance of *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta) forests towards a sustainable management and exploitation of Chilean coastal benthic co-management areas. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 12, 341–360.
- Alonso-Pérez, F., Ysebaert, T. & Castro, C.G. (2010). Effects of suspended mussel culture on benthic–pelagic coupling in a coastal upwelling system (Ría de Vigo, NW Iberian Peninsula). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 382, 96–107.
- Altug, G., Gurun, S., Cardak, M., Ciftci, P.S. & Kalkan, S. (2012). The occurrence of pathogenic bacteria in some ships' ballast water incoming from various marine regions to the Sea of Marmara, Turkey. *Marine Environmental Research*, 81, 35–42.
- Alves, F., Chicharo, L., Nogueira, A. & Regala, J. (2003). Changes in benthic community structure due to clam dredging on the Algarve coast and the importance of seasonal analysis. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83, 719–729.
- Amanieu, M. (1973). Ecologie et exploitation des étangs et lagunes saumâtres du littoral français. *Annales de la société royale zoologique de Belgique*, 103, 79–94.
- Andersen, S.M., Teilmann, J., Dietz, R., Schmidt, N.M. & Miller, L.A. (2012). Behavioural responses of harbour seals to human-induced disturbances. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22, 113–121.
- Anderson, D.M., Glibert, P.M. & Burkholder, J.M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25, 704–726.
- Andrieux-Loyer, F., Azandegbé, A., Caradec, F., Philippon, X., Kérouel, R., Youenou, A., et al. (2014). Impact of Oyster Farming on Diagenetic Processes and the Phosphorus Cycle in Two Estuaries (Brittany, France). *Aquat Geochem*, 20, 573–611.
- ANSES. (2010). *Consommation des poissons, mollusques et crustacés: aspects nutritionnels et sanitaires pour l'Homme.* Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.
- Apostolaki, E.T., Holmer, M., Marbà, N. & Karakassis, I. (2011). Reduced carbon sequestration in a Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) ecosystem impacted by fish farming. *Aquaculture Environment Interactions*, 2, 49–59.
- Appleyard, S.A. & Ward, R.D. (2006). Genetic diversity and effective population size in mass selection lines of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 254, 148–159.
- Araki, H., Cooper, B. & Blouin, M.S. (2007). Genetic Effects of Captive Breeding Cause a Rapid, Cumulative Fitness Decline in the Wild. *Science*, 318, 100–103.
- Arechavala-Lopez, P., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J., Fernandez-Jover, D., Martinez-Rubio, L., Lopez-Jimenez, J.A., et al. (2011). Direct interaction between wild fish aggregations at fish farms and fisheries activity at fishing grounds: a case study with Boops boops. *Aquaculture Research*, 42, 996–1010.
- Arechavala-Lopez, P., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J.T., Uglem, I. & Mladineo, I. (2013). Reared fish, farmed escapees and wild fish stocks—a triangle of pathogen transmission of concern to Mediterranean aquaculture management. *Aquaculture Environment Interactions*, 3, 153–161.
- Arechavala-Lopez, P., Uglem, I., Sanchez-Jerez, P., Fernandez-Jover, D., Bayle-Sempere, J.T. & Nilssen, R. (2010). Movements of grey mullet *Liza aurata* and *Chelon labrosus* associated with coastal fish farms in the western Mediterranean Sea. *Aquaculture Environment Interactions*, 1, 127–136.
- Armstrong, S.M., Hargrave, B.T. & Haya, K. (2005). Antibiotic Use in Finfish Aquaculture: Modes of Action, Environmental Fate, and Microbial Resistance. In: *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture*, Handbook of Environmental Chemistry (ed. Hargrave, B.T.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 341–357.
- Arnold, M., Teagle, H., Brown, M.P. & Smale, D.A. (2016). The structure of biogenic habitat and epibiotic assemblages associated with the global invasive kelp *Undaria pinnatifida* in comparison to native macroalgae. *Biol Invasions*, 18, 661–676.
- Arzul, G., Seguel, M. & Clément, A. (2001). Effect of marine animal excretions on differential growth of phytoplankton species. *ICES J Mar Sci*, 58, 386–390.

- Arzul, I., Corbeil, S., Morga, B. & Renault, T. (2017). Viruses infecting marine molluscs. *J. Invertebr. Pathol.*, 147, 118–135.
- Assefa, A. & Abunna, F. (2018). *Maintenance of Fish Health in Aquaculture: Review of Epidemiological Approaches for Prevention and Control of Infectious Disease of Fish. Veterinary Medicine International*. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/vmi/2018/5432497/>. Last accessed 15 April 2019.
- Aubin, J. (2017). *Efficiency and environmental performance of IMTA in marine and freshwater systems*.
- Aulert, C. (1997). Les stationnements de macreuses (Melanitta) sur le littoral ougeron : biogéographie et environnement. Caen, Caen.
- Auta, H.S., Emenike, C.U. & Fauziah, S.H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165–176.
- Ayllon, F., Martinez, J.L. & Garcia-Vazquez, E. (2006). Loss of regional population structure in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., following stocking. *ICES J Mar Sci*, 63, 1269–1273.
- Ayub, M., Boyd, C.E. & Teichert-Coddington, D. (1993). Effects of Urea Application, Aeration, and Drying on Total Carbon Concentrations in Pond Bottom Soils. *The Progressive Fish-Culturist*, 55, 210–213.
- Badino, G., Bona, F., Maffiotti, A., Giovanardi, O. & Pranovi, F. (2004). Impact of mechanical clam harvesting on a benthic habitat: evaluation by means of sediment profile imaging, 14 (S1), 59–67.
- Bakke, T.A. & Harris, P.D. (1998). Diseases and parasites in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55, 247–266.
- Barbier, M., Charrier, B., Araujo, R., Holdt, S.L., Jacquemin, B. & Rebours, C. (2019a). *PEGASUS - PHYCOMORPH European Guidelines for a Sustainable Aquaculture of Seaweeds* (No. COST Action FA1406). The European Cooperation in Science and Technology, Roscoff.
- Barbier, P., Eustache, S., Retailleau, K. & Vieira, J. (2019b). *Projet BIOMIMÉTISME « Étude d'opportunité d'une filière d'élevage biomimétique de l'huître creuse dans les bassins conchylicoles de la Nouvelle-Aquitaine »*. Rapport d'expérimentation. CREA, Le Château d'Oléron.
- Barnes, A.C., Hastings, T.S. & Amyes, S.G.B. (1995). Aquaculture antibacterials are antagonized by seawater cations. *Journal of Fish Diseases*, 18, 463–465.
- Barnes, D.P. (2006). *Shellfish Culture and Particulate Matter Production and Cycling: A Literature Review*.
- Barrington, K., Chopin, T. & Robinson, S. (2009). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In: *Integrated mariculture: a global review*, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Soto D., Rome, pp. 7–46.
- Basuyaux, O., Buret, R., Laisney, N. & Jacqueline, J.-M. (2012). *Prédation par les perceurs dans le secteur conchylicole de la pointe d'Agon à Gouville sur mer*. SMEL, Saint-Lo.
- Basuyaux, O., Lefebvre, V., Gauquelin, T., Laisney, N., Roussel, D., Auger, B., et al. (2015). *Moyens de luttés et valorisation des bigorneaux perceurs en secteur mytilicole*. SMEL, Saint-Lo.
- Bax, N., Williamson, A., Agüero, M., Gonzalez, E. & Geeves, W. (2003). Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. *Marine Policy*, Emerging Issues in Oceans, Coasts and Islands, 27, 313–323.
- Becker, A., Whitfield, A.K., Cowley, P.D., Järnegren, J. & Næsje, T.F. (2013). Potential effects of artificial light associated with anthropogenic infrastructure on the abundance and foraging behaviour of estuary-associated fishes. *Journal of Applied Ecology*, 50, 43–50.
- Becker, B.H., Press, D.T. & Allen, S.G. (2011). Evidence for long-term spatial displacement of breeding and pupping harbour seals by shellfish aquaculture over three decades. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21, 247–260.
- Beja, P.R. (1997). Predation by marine-feeding otters (*Lutra lutra*) in south-west Portugal in relation to fluctuating food resources. *Journal of Zoology*, 242, 503–518.
- Bellard, C., Cassey, P. & Blackburn, T.M. (2016). Alien species as a driver of recent extinctions. *Biol Lett*, 12.
- Belle, S.M. & Nash, C.E. (2009). Better Management Practices for Net-Pen Aquaculture. In: *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 261–330.
- Bendiksen, E.Å., Johnsen, C.A., Olsen, H.J. & Jobling, M. (2011). Sustainable aquafeeds: Progress towards reduced reliance upon marine ingredients in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 314, 132–139.
- Bensettiti, F., Bioret, F., Roland, J. & Lacoste, J.-P. (2004). « Cahiers d'habitats » Natura 2000. *Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers*. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. La Documentation française. MEDD/MAAPAR/MNHN, Paris.
- Bensettiti, F. & Gaudillat, V. (2002). « Cahiers d'habitats » Natura 2000. *Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 7 - Espèces animales*. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. La Documentation française. MEDD/MAAPAR/MNHN, Paris.
- Bert, T.M., Crawford, C.R., Tringali, M.D., Seyoum, S., Galvin, J.L., Higham, M., et al. (2007). Genetic Management of Hatchery-Based Stock Enhancement. In: *Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities*, Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries (ed. Bert, T.M.). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 123–174.
- Bertin, X. & Chaumillon, E. (2006). The implication of oyster farming in increasing sedimentation rates in a macrotidal bay: the Marennes-Oléron Bay, France. *Cahiers de Biologie Marine*, 19–22.
- Besson, M. (2014). *Pré-évaluation de la prédation des huîtres par l'huître pie dans l'ouest Cotentin*. SMEL - CRC Normandie / Mer du Nord, Saint-Lo.
- Bi, C.-W. & Xu, T.-J. (2018). Numerical Study on the Flow Field Around a Fish Farm in Tidal Current. *TrJFAS*, 18, 705–716.
- Bidegain, G. & Juanes, J.A. (2013). Does expansion of the introduced Manila clam *Ruditapes philippinarum* cause competitive displacement of the European native clam *Ruditapes decussatus*? *Journal of*

- Experimental Marine Biology and Ecology*, 445, 44–52.
- Bierne, N., Borsa, P., Daguin, C., Jollivet, D., Viard, F., Bonhomme, F., *et al.* (2003). Introgression patterns in the mosaic hybrid zone between *Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis*. *Molecular Ecology*, 12, 447–461.
- Bishop, J., McKay, H., Parrott, D. & Allan, J. (2003). *Review of international research literature regarding the effectiveness of auditory bird scaring techniques and potential alternatives*. Animal and Plant Health Agency (Defra) National Wildlife Management Centre.
- Black, A. (2005). Light induced seabird mortality on vessels operating in the Southern Ocean: incidents and mitigation measures. *Antarctic Science*, 17, 67–68.
- Blanchard, M. (1995). Origine et état de la population de *Crepidula fornicata* (Gastropoda Prosobranchia) sur le littoral français. *Haliotis*, 24, 75–86.
- Blin, J.-L. (2018). *Nouveau système d'élevage des huîtres "Poches australiennes."* SMEL, Saint-Lo.
- Blin, J.-L., Fouet, M. & Joncourt, Y. (2017). *PARADIS. Pérenniser l'activité palourde à Chausey: définir des indicateurs de suivi* (No. SMEL/CE-prod/2017-01). SMEL - GEMEL-Normandie, Blainville.
- Blin, J.-L., Savary, M., Gauquelin, T. & Lefebvre, V. (2013). *Impact sur la productivité mytilicole de systèmes passifs de protection contre la prédation des oiseaux*. SMEL - CRC Normandie / Mer du Nord.
- Bodur, T., Tsigenopoulos, C. & Cagatay, I.T. (2017). Genetic Structure of Wild European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) Populations in Aegean and Levantine Sea Using Microsatellite Markers. *TrJFAS*, 17, 7–14.
- Bompais, X., Dardignac, M.-J. & Piclet, G. (1991). *Les filières pour l'élevage des moules*. Ifremer, Plouzané.
- Borges, P., Medale, F., Dias, J. & Valente, L.M.P. (2013). Protein utilisation and intermediary metabolism of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) as a function of protein:lipid ratio. *British Journal of Nutrition*, 109, 1373–1381.
- Bouchet, V.M.P. & Sauriau, P.-G. (2008). Influence of oyster culture practices and environmental conditions on the ecological status of intertidal mudflats in the Pertuis Charentais (SW France): A multi-index approach. *Marine Pollution Bulletin*, 56, 1898–1912.
- Boudouresque, C. (2004). Marine Biodiversity in the Mediterranean: Status of species, populations and communities. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 20, 97–146.
- Boudouresque, C., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., G, D., Meinesz, A., *et al.* (2012). *Protection and Conservation of Posidonia oceanica Meadows*.
- Boudouresque, C.F., Klein, J., Ruitton, S. & Verlaque, M. (2011). Biological Invasion: The Thau Lagoon, a Japanese Biological Island in the Mediterranean Sea. In: *Global Change: Mankind-Marine Environment Interactions* (eds. Ceccaldi, H.-J., Dekeyser, I., Girault, M. & Stora, G.). Springer Netherlands, pp. 151–156.
- Bouwman, L., Beusen, A., Glibert, P.M., Overbeek, C., Pawlowski, M., Herrera, J., *et al.* (2013). Mariculture: significant and expanding cause of coastal nutrient enrichment. *Environ. Res. Lett.*, 8, 044026.
- Boyer, M. (2016). *Évaluation de la sensibilité des espèces d'intérêt communautaire et de leurs habitats aux pressions liées à la pêche* (Rapport de stage de fin d'études). MNHN-Université de Lorraine-ENSAIA, Paris.
- Branquart, E. (2009). *Guidelines for environmental impact assessment and list classification of non-native organisms in Belgium. Version 2.6 (07/12/2009)*. Belgian Biodiversity Platform.
- Brenner, M., Fraser, D., Van Nieuwenhove, K., O'Beirn, F., Buck, B.H., Mazurié, J., *et al.* (2014). Bivalve aquaculture transfers in Atlantic Europe. Part B: Environmental impacts of transfer activities. *Ocean & Coastal Management*, 89, 139–146.
- Brown, C., Miltiadou, D. & Tsigenopoulos, C.S. (2015). Prevalence and survival of escaped European seabass *Dicentrarchus labrax* in Cyprus identified using genetic markers. *Aquaculture Environment Interactions*, 7, 49–59.
- Brundtland, G.H. (1987). *Our common future* (Technical report). World commission on environment and development of UNO, New York, NY.
- Bryars, S., Collings, G. & Miller, D. (2011). Nutrient exposure causes epiphytic changes and coincident declines in two temperate Australian seagrasses. *Marine Ecology Progress Series*, 441, 89–103.
- Buestel, D., Ropert, M., Prou, J. & Goulletquer, P. (2009). History, Status, and Future of Oyster Culture in France. *shre*, 28, 813–820.
- Burkholder, J.M. & Shumway, S.E. (2011). Bivalve Shellfish Aquaculture and Eutrophication. In: *Shellfish Aquaculture and the Environment*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 155–215.
- Burrige, L., Weis, J.S., Cabello, F., Pizarro, J. & Bostick, K. (2010). Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306, 7–23.
- Buschmann, A.H., Prescott, S., Potin, P., Faugeton, S., Vásquez, J.A., Camus, C., *et al.* (2014). Chapter Six - The Status of Kelp Exploitation and Marine Agronomy, with Emphasis on *Macrocystis pyrifera*, in Chile. In: *Advances in Botanical Research*, Sea Plants (ed. Bourgougnon, N.). Academic Press, pp. 161–188.
- Cabello, F.C., Godfrey, H.P., Buschmann, A.H. & Dölz, H.J. (2016). Aquaculture as yet another environmental gateway to the development and globalisation of antimicrobial resistance. *The Lancet Infectious Diseases*, 16, e127–e133.
- Caldow, R.W.G., Beadman, H.A., McGroarty, S., Kaiser, M.J., Goss-Custard, J.D., Mould, K., *et al.* (2003). Effects of intertidal mussel cultivation on bird assemblages. *Marine Ecology Progress Series*, 259, 173–183.
- Callier, M.D., Byron, C.J., Bengtson, D.A., Cranford, P.J., Cross, S.F., Focken, U., *et al.* (2018). Attraction and repulsion of mobile wild organisms to finfish and shellfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10, 924–949.
- Callier, M.D., Richard, M., McKindsey, C.W., Archambault, P. & Desrosiers, G. (2009). Responses of benthic macrofauna and biogeochemical fluxes to various levels of mussel biodeposition: An in situ "benthocosm" experiment. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1544–1553.

- Campagne, C.S., Salles, J.-M., Boissery, P. & Deter, J. (2015). The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin*, 97, 391–400.
- Campbell, M.L., King, S., Heppenstall, L.D., van Gool, E., Martin, R. & Hewitt, C.L. (2017). Aquaculture and urban marine structures facilitate native and non-indigenous species transfer through generation and accumulation of marine debris. *Marine Pollution Bulletin*, 123, 304–312.
- Carlsson, J., Carnegie, R.B., Cordes, J.F., Hare, M.P., Leggett, A.T. & Reece, K.S. (2008). Evaluating Recruitment Contribution of a Selectively Bred Aquaculture Line of the Oyster, *Crassostrea virginica* used in Restoration Efforts. *shre*, 27, 1117–1124.
- Carney, L.T. & Lane, T.W. (2014). Parasites in algae mass culture. *Front. Microbiol.*, 5.
- Caruso, G. (2016). Antibiotic resistance in fish farming environments: a global concern. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 10, 9–13.
- Casale, P. & Argano, R. (2003). Sea turtles in the Mediterranean Sea: distribution and conservation aspects. *Biogeographia – The Journal of Integrative Biogeography*, 24.
- Casas, G., Scrosati, R. & Luz Piriz, M. (2004). The Invasive Kelp *Undaria Pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) Reduces Native Seaweed Diversity in Nuevo Gulf (Patagonia, Argentina). *Biological Invasions*, 6, 411–416.
- Casas, G.N., Piriz, M.L. & Parodi, E.R. (2008). Population features of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae: Laminariales) in Nuevo Gulf (Patagonia, Argentina). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88, 21–28.
- Cates, K. & Acevedo-Gutiérrez, A. (2017). Harbor Seal (*Phoca vitulina*) Tolerance to Vessels Under Different Levels of Boat Traffic. *Aquatic Mammals*, 43, 193–200.
- Catry, T., Alves, J.A., Andrade, J., Costa, H., Dias, M.P., Fernandes, P., et al. (2011). Long-term declines of wader populations at the Tagus estuary, Portugal: a response to global or local factors? *Bird Conservation International*, 21, 438–453.
- Chapelle, A., Ménesguen, A., Deslous-Paoli, J.-M., Souchu, P., Mazouni, N., Vaquer, A., et al. (2000). Modelling nitrogen, primary production and oxygen in a Mediterranean lagoon. Impact of oysters farming and inputs from the watershed. *Ecological Modelling*, 127, 161–181.
- Chèvre, P., Goncharov, B.F. & Rochard, E. (2019). European sturgeon (*Acipenser sturio*) mass propagation. *Journal of Applied Ichthyology*, 35, 94–102.
- Christie, M.R., Marine, M.L., French, R.A. & Blouin, M.S. (2012). Genetic adaptation to captivity can occur in a single generation. *PNAS*, 109, 238–242.
- Clarke, L.J., Hughes, K.M., Esteves, L.S., Herbert, R.J.H. & Stillman, R.A. (2017). Intertidal invertebrate harvesting: a meta-analysis of impacts and recovery in an important waterbird prey resource. *Marine Ecology Progress Series*, 584, 229–244.
- Claudiel, H. (2016). *Suivi de l'impact potentiel de la conchyliculture sur les herbiers de zostères naines Zostera noltii dans les traicts du Croisic et de Pen-Be*. In Vivo - CRC Bretagne Sud, La Forêt Fouesnant.
- Codina-García, M., Militão, T., Moreno, J. & González-Solís, J. (2013). Plastic debris in Mediterranean seabirds. *Marine Pollution Bulletin*, 77, 220–226.
- Collos, Y., Bec, B., Jauzein, C., Abadie, E., Laugier, T., Lautier, J., et al. (2009). Oligotrophication and emergence of picocyanobacteria and a toxic dinoflagellate in Thau lagoon, southern France. *Journal of Sea Research*, Long-term Phytoplankton Time Series, 61, 68–75.
- Constantino, R., Gaspar, M.B., Tata-Regala, J., Carvalho, S., Cúrdia, J., Drago, T., et al. (2009). Clam dredging effects and subsequent recovery of benthic communities at different depth ranges. *Marine Environmental Research*, 67, 89–99.
- COSEPAC. (2006). *Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le marsouin commun (Phocoena phocoena) (population de l'Atlantique Nord-Ouest) au Canada – Mise à jour*. Comité sur le statut des espèces en péril au Canada, Ottawa.
- Cottaz. (2016). *Lignes directrices pour l'évaluation des impacts des espèces exotiques envahissantes et leur hiérarchisation à l'échelle régionale*. (Guide méthodologique n°3). Rapport Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS). ONCFS, Délégation Interrégionale PACA-Corse.
- Cottier-Cook, E.J., Nagabhatla, N., Badis, Y., Campbell, M., Chopin, T., Dai, W., et al. (2016a). Safeguarding the future of the global seaweed aquaculture industry. *United Nations University*, 1–12.
- Cottier-Cook, E.J., Nagabhatla, N., Badis, Y., Campbell, M.L., Chopin, T., Dai, W., et al. (2016b). *Safeguarding the future of the global seaweed aquaculture industry*. Policy Brief. United Nations University - Scottish Association for Marine Science, Hamilton.
- Cowen, R.K. & Sponaugle, S. (2009). Larval Dispersal and Marine Population Connectivity. *Annual Review of Marine Science*, 1, 443–466.
- Craeymeersch, J.A. & Jansen, H.M. (2019). Bivalve Assemblages as Hotspots for Biodiversity. In: *Goods and Services of Marine Bivalves* (eds. Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. & Strand, Ø.). Springer International Publishing, Cham, pp. 275–294.
- Craig, E.C., King, D.T., Sparks, J.P. & Curtis, P.D. (2016). Aquaculture depredation by double-crested cormorants breeding in Eastern North America. *The Journal of Wildlife Management*, 80, 57–62.
- CRC PC & Unité des cultures marines (DDTM 17). (2015). *Volet environnemental du schéma des structures des cultures marines de Charente-Maritime*. Préfecture de la Charente-Maritime, La Rochelle.
- Crego-Prieto, V., Ardura, A., Juanes, F., Roca, A., Taylor, J.S. & Garcia-Vazquez, E. (2015). Aquaculture and the spread of introduced mussel genes in British Columbia. *Biol Invasions*, 17, 2011–2026.
- Cretì, P., Trinchella, F. & Scudiero, R. (2010). Heavy metal bioaccumulation and metallothionein content in tissues of the sea bream *Sparus aurata* from three different fish farming systems. *Environ Monit Assess*, 165, 321–329.
- Critchley, A.T. (1983). *Sargassum muticum*: a taxonomic history including world-wide and western Pacific

- distributions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 63, 617–625.
- Davidson, K., Gowen, R.J., Tett, P., Bresnan, E., Harrison, P.J., McKinney, A., *et al.* (2012). Harmful algal blooms: How strong is the evidence that nutrient ratios and forms influence their occurrence? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Fluctuations and trends in the northern Adriatic marine systems: from annual to decadal variability, 115, 399–413.
- Davies, T.W., Duffy, J.P., Bennie, J. & Gaston, K.J. (2014). The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12, 347–355.
- De Grave, S., Moore, S.J. & Burnell, G. (1998). Changes in benthic macrofauna associated with intertidal oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg) culture. *Journal of Shellfish Research*, 17, 1137–1142.
- Dean, R.J., Shimmield, T.M. & Black, K.D. (2007). Copper, zinc and cadmium in marine cage fish farm sediments: An extensive survey. *Environmental Pollution*, 145, 84–95.
- Derraik, J.G.B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 842–852.
- D'hondt, B., Vanderhoeven, S., Roelandt, S., Mayer, F., Versteirt, V., Adriaens, T., *et al.* (2015). Harmonia+ and Pandora+: risk screening tools for potentially invasive plants, animals and their pathogens. *Biol Invasions*, 17, 1869–1883.
- Dias, A.S. & Paula, J. (2001). Associated fauna of *Sabellaria alveolata* colonies on the central coast of Portugal. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81, 169–170.
- Dias, P.J., Fotedar, S. & Snow, M. (2014). Characterisation of mussel (*Mytilus* sp.) populations in Western Australia and evaluation of potential genetic impacts of mussel spat translocation from interstate. *Mar. Freshwater Res.*, 65, 486–496.
- Dias, P.J., Piertney, S.B., Snow, M. & Davies, I.M. (2011). Survey and management of mussel *Mytilus* species in Scotland. *Hydrobiologia*, 670, 127.
- Díaz López, B. (2017). Temporal variability in predator presence around a fin fish farm in the Northwestern Mediterranean Sea. *Marine Ecology*, 38, e12378.
- Díaz López, B. & Methion, S. (2017). The impact of shellfish farming on common bottlenose dolphins' use of habitat. *Mar Biol*, 164, 83.
- Díaz, R.J. & Rosenberg, R. (1995). Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*.
- Díaz, R.J. & Rosenberg, R. (2008). Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*, 321, 926–929.
- Díaz-López, B. (2012). Bottlenose dolphins and aquaculture: interaction and site fidelity on the north-eastern coast of Sardinia (Italy). *Mar Biol*, 159, 2161–2172.
- Díaz-López, B., Polo, F. & Marini, L. (2005). The Impact of a Fish Farm on a Bottlenose Dolphin Population in The Mediterranean Sea. *Thalassas: An international journal of marine sciences*, 21, 65–70.
- Dorr, B.S., Burger, L.W., Barras, S.C. & Godwin, K.C. (2012). Economic Impact of Double-Crested Cormorant, *Phalacrocorax auritus*, depredation on Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, Aquaculture in Mississippi, USA. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43, 502–513.
- Drouin, A., Archambault, P., Clynick, B., Richer, K. & McKindsey, C.W. (2015). Influence of mussel aquaculture on the distribution of vagile benthic macrofauna in îles de la Madeleine, eastern Canada. *Aquaculture Environment Interactions*, 6, 175–183.
- Dubois, S., Barillé, L. & Retière, C. (2003). Efficiency of particle retention and clearance rate in the polychaete *Sabellaria alveolata* L. *Comptes Rendus Biologies*, 326, 413–421.
- Dubois, S., Commito, J.A., Olivier, F. & Retière, C. (2006). Effects of epibionts on *Sabellaria alveolata* (L.) biogenic reefs and their associated fauna in the Bay of Mont Saint-Michel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Ecological and Management Implications on Seagrass Landscapes, 68, 635–646.
- Dubois, S., Marin-Léal, J.C., Ropert, M. & Lefebvre, S. (2007). Effects of oyster farming on macrofaunal assemblages associated with *Lanice conchilega* tubeworm populations: A trophic analysis using natural stable isotopes. *Aquaculture*, 271, 336–349.
- Dubois, S., Retière, C. & Olivier, F. (2002). Biodiversity associated with *Sabellaria alveolata* (Polychaeta: Sabellariidae) reefs: effects of human disturbances. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82, 817–826.
- Dubois, S.A. (2003). *Écologie des formations récifales à Sabellaria alveolata* (L.): valeur fonctionnelle et patrimoniale.
- Duffy, J.E., Godwin, C.M. & Cardinale, B.J. (2017). Biodiversity effects in the wild are common and as strong as key drivers of productivity. *Nature*, 549, 261–264.
- Dumbauld, B.R., Ruesink, J.L. & Rumrill, S.S. (2009). The ecological role of bivalve shellfish aquaculture in the estuarine environment: A review with application to oyster and clam culture in West Coast (USA) estuaries. *Aquaculture*, 290, 196–223.
- Duncan, E.M., Botterell, Z.L.R., Broderick, A.C., Galloway, T.S., Lindeque, P.K., Nuno, A., *et al.* (2017). A global review of marine turtle entanglement in anthropogenic debris: a baseline for further action. *Endangered Species Research*, 34, 431–448.
- Dupont, L. (2004). Invasion des côtes françaises par le mollusque exotique *Crepidula fornicata*: contribution de la dispersion larvaire et du système de reproduction au succès de la colonisation.
- Dupuy, C., Ryckaert, M., Le Gall, S. & Hartmann, H.J. (2007). Seasonal Variations in Planktonic Community Structure and Production in an Atlantic Coastal Pond: The Importance of Nanoflagellates. *Microb Ecol*, 53, 537–548.
- Durieux, E. (2007). Ecologie du système hôte – parasite, juvéniles G0 de sole (*Solea solea*) – métacercaires de Digènes: dynamique et effets de l'infestation. Université de La Rochelle, La Rochelle.
- Ehrlich, P.R. & Ehrlich, A.H. (2013). Can a collapse of global civilization be avoided? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280, 20122845.
- Ellis, J.I. & Schneider, D.C. (1997). Evaluation of a gradient sampling design for environmental impact assessment. *Environ Monit Assess*, 48, 157–172.

- European Commission. (2012). *Guidance document on aquaculture activities in the Natura 2000 Network: Sustainable aquaculture activities in the context of the Natura 2000 Network*. European Commission.
- European Commission - DG environment. (2013). *Interpretation manual of European Union habitats* (No. Version EUR 28). U.E.
- Eybert, M.-C., Geslin, T., Questiau, S. & Feunteun, E. (2003). Shorebird community variations indicative of a general perturbation in the Mont-Saint-Michel bay (France). *Comptes Rendus Biologies*, 326, 140–147.
- FAO, OIE & WHO. (2006). *Antimicrobial Use in Aquaculture and Antimicrobial Resistance* (Consultations and workshops). Report of a joint FAO/OIE/WHO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Organisation for Animal Health, World Health Organization in collaboration, Seoul, Republic of Korea.
- Felsing, M., Glencross, B. & Telfer, T. (2005). Preliminary study on the effects of exclusion of wild fauna from aquaculture cages in a shallow marine environment. *Aquaculture*, 243, 159–174.
- Fernandez-Jover, D., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J.T., Arechavala-Lopez, P., Martinez-Rubio, L., Jimenez, J.A.L., et al. (2009). Coastal fish farms are settlement sites for juvenile fish. *Marine Environmental Research*, 68, 89–96.
- Fernández-Torquemada, Y. & Sánchez-Lizaso, J.L. (2011). Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity. *Hydrobiologia*, 669, 21.
- Ferriss, B.E., Conway-Cranos, L.L., Sanderson, B.L. & Hoberecht, L. (2019). Bivalve aquaculture and eelgrass: A global meta-analysis. *Aquaculture*, 498, 254–262.
- Ferriss, B.E., Reum, J.C.P., McDonald, P.S., Farrell, D.M. & Harvey, C.J. (2016). Evaluating trophic and non-trophic effects of shellfish aquaculture in a coastal estuarine foodweb. *ICES J Mar Sci*, 73, 429–440.
- Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J. & Nys, R. de. (2012). The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, 28, 649–669.
- Fleming, I.A., Hindar, K., Mjølnerød, I.B., Jonsson, B., Balstad, T. & Lamberg, A. (2000). Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 267, 1517–1523.
- Ford, J.S. & Myers†, R.A. (2008). A Global Assessment of Salmon Aquaculture Impacts on Wild Salmonids. *PLoS Biol*, 6.
- Forrest, B.M., Keeley, N., Gillespies, P., Hopkins, G.A., Knight, B. & Govier, D. (2007). *Review of the Ecological Effects of Marine Finfish Aquaculture: Final Report* (Prepared for Ministry of Fisheries No. 1285). Cawthron Report. Cawthron Institute, Nelson.
- Forrest, B.M., Keeley, N.B., Hopkins, G.A., Webb, S.C. & Clement, D.M. (2009). Bivalve aquaculture in estuaries: Review and synthesis of oyster cultivation effects. *Aquaculture*, 298, 1–15.
- Fournier, M. (2018). *Etat des lieux des pratiques et pertes de matériel en conchyliculture*. UBO, Brest.
- FranceAgriMer. (2018). *Les filières pêche et aquaculture en France. Production. Entreprises. Echange. Consommation* (Pêche et aquaculture). Chiffres-clés de FranceAgriMer.
- Freitas, D., Gomes, J., Luis, T.S., Madruga, L., Marques, C., Baptista, G., et al. (2007). Otters and fish farms in the Sado estuary: ecological and socio-economic basis of a conflict. *Hydrobiologia*, 587, 51–62.
- Gallardi, D. (2014). Effects of Bivalve Aquaculture on the Environment and Their Possible Mitigation: A Review. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 05.
- García, V.B., Lucifora, L.O. & Ransom, M.A. (2008). The importance of habitat and life history to extinction risk in sharks, skates, rays and chimaeras. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275, 83–89.
- Garcia-Vazquez, E., Moran, P., Perez, J., Martinez, J.L., Izquierdo, J.I., Gaudemar, B. de, et al. (2002). Interspecific barriers between salmonids when hybridisation is due to sneak mating. *Heredity*, 89, 288.
- Gaspar, M.B. & Chícharo, L.M. (2007). Modifying Dredges to Reduce By-catch and Impacts on the Benthos. In: *By-catch Reduction in the World's Fisheries, Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries* (ed. Kennelly, S.J.). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 95–140.
- Gaughan, D.J. (2001). Disease-translocation across geographic boundaries must be recognized as a risk even in the absence of disease identification: the case with Australian Sardinops. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 11, 113–123.
- Gervasoni, E., Boglino, A., Lourdou, E., Ortega, G. & Casanova, T. (2009). *Etude de prospection pour la diversification des élevages sur filières conchylicoles en mer en Languedoc-Roussillon*. CEPALMAR - SRCM - CREUFOP-LR, Montpellier.
- Ghittino, C., Latini, M., Agnetti, F., Panzieri, C., Lauro, L., Ciappelloni, R., et al. (2003). Emerging Pathologies in Aquaculture: Effects on Production and Food Safety. *Vet Res Commun*, 27, 471–479.
- Gibbs, M.T. (2004). Interactions between bivalve shellfish farms and fishery resources. *Aquaculture*, 240, 267–296.
- Gilbert, F., Souchu, P., Bianchi, M. & Bonin, P. (1997). Influence of shellfish farming activities on nitrification, nitrate reduction to ammonium and denitrification at the water-sediment interface of the Thau lagoon, France. *Marine Ecology Progress Series*, 151, 143–153.
- Gjedrem, T. (2000). Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research*, 31, 25–33.
- Glover, K.A., Solberg, M.F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M.W., et al. (2017). Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: Status of knowledge and unanswered questions. *Fish and Fisheries*, 18, 890–927.
- Godet, L., Toupoint, N., Fournier, J., Mao, P.L., Retière, C. & Olivier, F. (2009). Clam farmers and Oystercatchers: Effects of the degradation of *Lanice conchilega* beds by shellfish farming on the spatial distribution of shorebirds. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 589–595.
- Gouletquer, P., Robert, R. & Trut, G. (1999). Manila clam *Tapes philippinarum* culture: Sediment-clam interactions. *Aquatic Living Resources*, 12, 45–56.

- Grall, J. & Coïc, N. (2005). *Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier* (REBENT). IUEM - UBO, Brest.
- Grall, J. & Hall-Spencer, J.M. (2003). Problems facing maerl conservation in Brittany. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, S55–S64.
- Grant, C. (2010). Rôle des installations mytilicoles dans la structuration spatiale des communautés benthiques; cas des assemblages de sédiments grossiers de l'Est de l'archipel Chausey (France). masters. Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec.
- Grant, C., Archambault, P., Olivier, F. & McKindsey, C.W. (2012). Influence of 'bouchot' mussel culture on the benthic environment in a dynamic intertidal system. *Aquaculture Environment Interactions*, 2, 117–131.
- Grant, J. & Bacher, C. (2001). A numerical model of flow modification induced by suspended aquaculture in a Chinese bay. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58, 1003–1011.
- Grant, W.S., Jasper, J., Bekkevold, D. & Adkison, M. (2017). Responsible genetic approach to stock restoration, sea ranching and stock enhancement of marine fishes and invertebrates. *Rev Fish Biol Fisheries*, 27, 615–649.
- Greco, M., Chiappetta, A., Bruno, L. & Bitonti, M.B. (2012). In *Posidonia oceanica* cadmium induces changes in DNA methylation and chromatin patterning. *J Exp Bot*, 63, 695–709.
- Grizel, H. (1983). Introduction de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en France. In: *Groupe de travail C.I.E.M.* Presented at the Introduction et transferts des organismes marins, Bergen.
- Grosholz, E.D., Crafton, R.E., Fontana, R.E., Pasari, J.R., Williams, S.L. & Zabin, C.J. (2015). Aquaculture as a vector for marine invasions in California. *Biol Invasions*, 17, 1471–1484.
- Grulois, D., Lévêque, L. & Viard, F. (2011). Mosaic genetic structure and sustainable establishment of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* within a bay (Bay of St-Malo, Brittany). *Cahiers de Biologie Marine*, 52, 485–498.
- Guichard, B. & Licek, E. (2006). *A comparative study of antibiotics registered for use in farmed fish in european countries*.
- Guillemin, M.-L., Faugeron, S., Destombe, C., Viard, F., Correa, J.A. & Valero, M. (2008). Genetic Variation in Wild and Cultivated Populations of the Haploid–Diploid Red Alga *Gracilaria Chilensis*: How Farming Practices Favor Asexual Reproduction and Heterozygosity. *Evolution*, 62, 1500–1519.
- Guyennet, F. & de la Pomélie, C. (2000). La pisciculture marine française, une activité récente et pionnière en Europe. *AGRESTE CAHIERS*, 10.
- Haarr, M., D. Charlton, L., Terhune, J. & Trippel, E. (2009). Harbour Porpoise (*Phocoena phocoena*) Presence Patterns at an Aquaculture Cage Site in the Bay of Fundy, Canada. *Aquatic Mammals*, 35, 203–211.
- Habtemariam, B.T., Arias, A., García-Vázquez, E. & Borrell, Y.J. (2015). Impacts of supplementation aquaculture on the genetic diversity of wild *Ruditapes decussatus* from northern Spain. *Aquaculture Environment Interactions*, 6, 241–254.
- Hall-Spencer, J., White, N., Gillespie, E., Gillham, K. & Foggo, A. (2006). Impact of fish farms on maerl beds in strongly tidal areas. *Marine Ecology Progress Series*, 326, 1–9.
- Hall-Spencer, J.M. (1998). Conservation issues relating to maerl beds as habitats for molluscs. *Journal of Conchology Special Publication*, 271–286.
- Han, P., Lu, Q., Fan, L. & Zhou, W. (2019). A Review on the Use of Microalgae for Sustainable Aquaculture. *Applied Sciences*, 9, 2377.
- Hancock, B. & zu Ermgassen, P. (2019). Enhanced Production of Finfish and Large Crustaceans by Bivalve Reefs. In: *Goods and Services of Marine Bivalves* (eds. Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. & Strand, Ø.). Springer International Publishing, Cham, pp. 295–312.
- Hargrave, B.T., Holmer, M. & Newcombe, C.P. (2008). Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 56, 810–824.
- Hauxwell, J., Cebrián, J. & Valiela, I. (2003). Eelgrass *Zostera marina* loss in temperate estuaries: relationship to land-derived nitrogen loads and effect of light limitation imposed by algae. *Marine Ecology Progress Series*, 247, 59–73.
- Hazel, J., Lawler, I.R., Marsh, H. & Robson, S. (2007). Vessel speed increases collision risk for the green turtle *Chelonia mydas*. *Endangered Species Research*, 3, 105–113.
- Heip, C.H.R., Herman, P.M.J. & Soetaert, K. (1998). Indices of diversity and evenness. *Océanis (Paris)*.
- Henderson, A., Gamito, S., Karakassis, I., Pederson, P. & Smaal, A. (2001). Use of hydrodynamic and benthic models for managing environmental impacts of marine aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, 17, 163–172.
- Herbert, R.J.H., Humphreys, J., Davies, Clare.J., Roberts, C., Fletcher, S. & Crowe, Tasman.P. (2016). Ecological impacts of non-native Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) and management measures for protected areas in Europe. *Biodivers Conserv*, 25, 2835–2865.
- Hildebrand, J.A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5–20.
- Hily, C. (2006). *Fiche de synthèse sur les biocénoses: Les herbiers de Zostères marines (Zostera marina et Zostera noltii)*. Document d'objectifs Natura 2000. Guide méthodologique d'élaboration / Cahier technique N°82. UBO, Brest.
- Holmer, M., Argyrou, M., Dalsgaard, T., Danovaro, R., Diaz-Almela, E., Duarte, C.M., et al. (2008). Effects of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows: Synthesis and provision of monitoring and management tools. *Marine Pollution Bulletin*, 56, 1618–1629.
- Holmer, M. & Frederiksen, M.S. (2007). Stimulation of sulfate reduction rates in Mediterranean fish farm sediments inhabited by the seagrass *Posidonia oceanica*. *Biogeochemistry*, 85, 169–184.
- Holmer, M., Marba, N., Diaz-Almela, E., Duarte, C.M., Tsapakis, M. & Danovaro, R. (2007). Sedimentation of organic matter from fish farms in oligotrophic Mediterranean assessed through bulk and stable isotope ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$) analyses. *Aquaculture*, 262, 268–280.
- Holmer, M., Wildish, D. & Hargrave, B. (2005). Organic Enrichment from Marine Finfish Aquaculture and Effects on Sediment Biogeochemical Processes. In: *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture*, Handbook of Environmental

- Chemistry (ed. Hargrave, B.T.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 181–206.
- Huntington, T.C., Roberts, H., Cousins, N., Pitta, V., Marchesi, N., Sanmamed, A., *et al.* (2006). *Some Aspects of the Environmental Impact of Aquaculture in Sensitive Areas*. Report to the DG Fish and Maritime Affairs of the European Commission. Poseidon Aquatic Resource Management, Hampshire, UK.
- IFREMER. (2019). *Synthèse des liens potentiels existant entre les activités de pêche et les pressions physiques en milieu marin*. IFREMER, Brest.
- In, V.-V., O'Connor, W., Dove, M. & Knibb, W. (2016). Can genetic diversity be maintained across multiple mass selection lines of Sydney rock oyster, *Saccostrea glomerata* despite loss within each? *Aquaculture*, 454, 210–216.
- IPBES. (2018). *Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- Islam, Md.S. (2005). Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin*, 50, 48–61.
- Ivar do Sul, J.A. & Costa, M.F. (2014). The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution*, 185, 352–364.
- Jacquemin, B. (2017). *Description of the French Algae Production*.
- James, K. & Shears, N.T. (2016). Proliferation of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* at aquaculture sites promotes spread to coastal reefs. *Mar Biol*, 163, 34.
- Jansen, H.M., Strand, Ø., van Broekhoven, W., Strohmeier, T., Verdegem, M.C. & Smaal, A.C. (2019). Feedbacks from Filter Feeders: Review on the Role of Mussels in Cycling and Storage of Nutrients in Oligo- Meso- and Eutrophic Cultivation Areas. In: *Goods and Services of Marine Bivalves* (eds. Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. & Strand, Ø.). Springer International Publishing, pp. 143–177.
- Jansen, M.D., Jensen, B.B., McLoughlin, M.F., Rodger, H.D., Taksdal, T., Sindre, H., *et al.* (2017). The epidemiology of pancreas disease in salmonid aquaculture: a summary of the current state of knowledge. *Journal of Fish Diseases*, 40, 141–155.
- Jansen, P.A., Kristoffersen, A.B., Hildegunn, V., Daniel, J., Magne, A. & Audun, S. (2012). Sea lice as a density-dependent constraint to salmonid farming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279, 2330–2338.
- JCP - Partner. (2016). *Etude de faisabilité technico-économique pour la mise en place d'une filière de gestion des sous-produits coquilliers: de la collecte à la valorisation en baie de Somme - Picardie maritime* (Phase 1 : diagnostic / Etude du territoire). Syndicat Mixte Baie de Somme Trois Vallées.
- JCP - Partner. (2017). *Etude de faisabilité technico-économique pour la mise en place d'une filière de gestion des sous-produits coquilliers: de la collecte à la valorisation en baie de Somme - Picardie maritime* (Phase 2 : étude des scénarios applicables sur le territoire). Syndicat Mixte Baie de Somme Trois Vallées.
- Jiguet, F., Gadot, A.-S., Julliard, R., Newson, S.E. & Couvet, D. (2007). Climate envelope, life history traits and the resilience of birds facing global change. *Global Change Biology*, 13, 1672–1684.
- Jiménez, J.E., Arriagada, A.M., Fontúrbel, F.E., Camus, P.A. & Ávila-Thieme, M.I. (2013). Effects of exotic fish farms on bird communities in lake and marine ecosystems. *Naturwissenschaften*, 100, 779–787.
- Jin, S., Liu, Y., Sun, C., Wei, X., Li, H. & Han, Z. (2018). A study of the environmental factors influencing the growth phases of *Ulva prolifera* in the southern Yellow Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 1016–1025.
- Johansen, L.-H., Jensen, I., Mikkelsen, H., Bjørn, P.-A., Jansen, P.A. & Bergh, Ø. (2011). Disease interaction and pathogens exchange between wild and farmed fish populations with special reference to Norway. *Aquaculture*, 315, 167–186.
- Jones, A.G., Dubois, S.F., Desroy, N. & Fournier, J. (2018). Interplay between abiotic factors and species assemblages mediated by the ecosystem engineer *Sabellaria alveolata* (Annelida: Polychaeta). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 200, 1–18.
- Jones, S.R.M., Bruno, D.W., Madsen, L. & Peeler, E.J. (2015). Disease management mitigates risk of pathogen transmission from maricultured salmonids. *Aquaculture Environment Interactions*, 6, 119–134.
- Jourde, J. (2018). *Etude biosédimentaire des communautés benthiques des récifs d'huîtres en baie de l'Aiguillon. Etat des lieux avant travaux. Marché 14NAT/FR/000669-A1-2*. Laboratoire LIENSs, La Rochelle.
- Juell, J.-E. & Fosseidengen, J.E. (2004). Use of artificial light to control swimming depth and fish density of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in production cages. *Aquaculture*, 233, 269–282.
- Kamrowski, R.L., Limpus, C., Jones, R., Anderson, S. & Hamann, M. (2014). Temporal changes in artificial light exposure of marine turtle nesting areas. *Global Change Biology*, 20, 2437–2449.
- Karlsson, S., Diserud, O.H., Fiske, P. & Hindar, K. (2016). Widespread genetic introgression of escaped farmed Atlantic salmon in wild salmon populations. *ICES J Mar Sci*, 73, 2488–2498.
- Kasperek, M., Godley, B.J. & Broderik, A.C. (2001). Nesting of the Green Turtle, *Chelonia mydas*, in the Mediterranean: a review of status and conservation needs. *Zoology in the Middle East*, 24, 45–74.
- Katsanevakis, S., Wallentinus, I., Zenetos, A., Leppäkoski, E., Çınar, M.E., Oztürk, B., *et al.* (2014). Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: a pan-European review. *Aquatic Invasions*, 9, 391–423.
- Keeley, N., Forrest, B.M., Hopkins, G.A., Gillespies, P., Knight, B., Webb, S., *et al.* (2009). *Sustainable aquaculture in New Zealand: review of the ecological effects of farming shellfish and other non-fish species* (Prepared for Ministry of Fisheries No. 1476). Cawthron Report. Cawthron Institute, Nelson.
- Keesing, J.K., Liu, D., Fearn, P. & Garcia, R. (2011). Inter- and intra-annual patterns of *Ulva prolifera* green tides in the Yellow Sea during 2007–2009, their origin and relationship to the expansion of coastal

- seaweed aquaculture in China. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1169–1182.
- Kemper, C.M., Pemberton, D., Cawthorn, M., Heinrich, S., Mann, J., Würsig, B., *et al.* (2003). *Aquaculture and marine mammals: coexistence or conflict?* Melbourne, CSIRO Publishing.
- Kennedy, D.A., Kurath, G., Brito, I.L., Purcell, M.K., Read, A.F., Winton, J.R., *et al.* (2016). Potential drivers of virulence evolution in aquaculture. *Evolutionary Applications*, 9, 344–354.
- Kesarcodi-Watson, A., Kaspar, H., Lategan, M.J. & Gibson, L. (2008). Probiotics in aquaculture: The need, principles and mechanisms of action and screening processes. *Aquaculture*, 274, 1–14.
- Kilmartin, F., Ras, M. & Potin, P. (2017). *Développer la filière des macroalgues en France* (No. Rapport 2011-2017). IDEALG seaweed for the future. UMR 8227 CNRS-UPMC, Roscoff.
- Kim, J.H., Gomez, D.K., Choresca, C.H. & Park, S.C. (2007). Detection of major bacterial and viral pathogens in trash fish used to feed cultured flounder in Korea. *Aquaculture*, 272, 105–110.
- Kloskowski, J. (2011). Human–wildlife conflicts at pond fisheries in eastern Poland: perceptions and management of wildlife damage. *Eur J Wildl Res*, 57, 295–304.
- Krkošek, M. (2017). Population biology of infectious diseases shared by wild and farmed fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 74, 620–628.
- Kuhn, R. (2012). *Loutres et activités aquacoles: synthèse des connaissances sur la problématique à l'échelle internationale. Plan National d'Actions en faveur de la Loutre d'Europe.* Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères (SFPEM).
- Kuhn, S., Rebolledo, E.B. & Franeker, J.A. van. (2015). Deleterious effects of litter on marine life. In: *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, pp. 75–116.
- La Rivière, M., Aish, A., Auby, I., Ar Gall, E., Dauvin, J.-C., de Bettignies, T., *et al.* (2017). *Evaluation de la sensibilité des habitats élémentaires (DHFF) d'Atlantique, de Manche et de Mer du Nord aux pressions physiques* (No. SPN 2017-4). MNHN-Direction de la Recherche, de l'Expertise et de la Valorisation. Direction Déléguée au Développement Durable, à la Conservation de la Nature et à l'Expertise, Paris.
- La Rivière, M., Aish, A., Gauthier, O., Grall, J., Guérin, L., Janson, A.-L., *et al.* (2015). *Méthodologie pour l'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques aux pressions anthropiques* (No. SPN 2015-69). MNHN-Direction de la Recherche, de l'Expertise et de la Valorisation. Direction Déléguée au Développement Durable, à la Conservation de la Nature et à l'Expertise, Paris.
- La Rivière, M., Michez, N., Aish, A., Bellan-Santini, D., Bellan, G., Chevaldonné, P., *et al.* (2016). *Evaluation de la sensibilité des habitats benthiques de Méditerranée aux pressions physiques* (No. SPN 2015-70). MNHN-Direction de la Recherche, de l'Expertise et de la Valorisation. Direction Déléguée au Développement Durable, à la Conservation de la Nature et à l'Expertise, Paris.
- Laffargue, P., Baudouin, G., Sasal, P., Arnaud, C., Anras, M.-L.B. & Lagardère, F. (2004). Parasitic infection of sole *Solea solea* by *Prosohynchus* spp. metacercariae (Digenea, Bucephalidae) in Atlantic nurseries under mussel cultivation influence. *Diseases of Aquatic Organisms*, 58, 179–184.
- Laffargue, P., Bégout, M.-L. & Lagardère, F. (2006). Testing the potential effects of shellfish farming on swimming activity and spatial distribution of sole (*Solea solea*) in a mesocosm. *ICES J Mar Sci*, 63, 1014–1028.
- Lafferty, K.D., Harvell, C.D., Conrad, J.M., Friedman, C.S., Kent, M.L., Kuris, A.M., *et al.* (2015). Infectious Diseases Affect Marine Fisheries and Aquaculture Economics. *Annual Review of Marine Science*, 7, 471–496.
- Laguerre, H., Aubin, J. & Gayet, V. (n.d.). *Le traitement des effluents en salmoniculture* (Enseignement agricole - Formations grandeur nature No. Fiche EAU n°1,3). Agrocampus Ouest, Rennes.
- Laine-Penel, A., Mayen, P. & Spinec, F. (2016). *L'algoculture : étude sur le métier, les savoirs, les compétences et la formation. Le développement des savoirs et des compétences, condition pour le développement du champ professionnel de l'algoculture.* AGROCAMPUS OUEST, Rennes.
- Lallias, D., Boudry, P., Lapègue, S., King, J.W. & Beaumont, A.R. (2010). Strategies for the retention of high genetic variability in European flat oyster (*Ostrea edulis*) restoration programmes. *Conserv Genet*, 11, 1899–1910.
- Lapègue, S., Boudry, P., Huvet, A. & Renault, T. (2016). *Synthèse bibliographique - Crassostrea angulata et Crassostrea gigas, deux espèces d'huîtres introduites en Europe.* Ifremer, La Tremblade.
- Lautraite, A. & Le Breton, A. (2006). *Guide des bonnes pratiques sanitaires en élevages piscicoles.* FFA, UNPSA, CIPA, DPMA, OFIMER, IFOP.
- Law, K.L. & Thompson, R.C. (2014). Microplastics in the seas. *Science*, 345, 144–145.
- Le Corre, N. (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. UBO, Brest.
- Le Fur, F., Maison, E., Ragot, P. & Abellard, O. (2009). *Tome 2 - Les habitats et les espèces Natura 2000 en mer. Référentiel pour la gestion des activités de pêche professionnelle, cultures marines, sports et loisirs en mer dans les sites Natura 2000 en mer.* Référentiel pour la gestion des activités dans les sites Natura 2000 en mer. Agence des aires marines protégées, Brest.
- Le Gouvello, R. & Simard, F. (2017). *Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture: Réflexions et recommandations sur les aspects technologiques, économiques, sociaux et environnementaux.* Guide pour le développement durable de l'aquaculture. IUCN; Comité français de l'IUCN, Gland, Suisse; Paris, France.
- Ledoux, J.-B., Gomez Gras, D., Cruz, F., Alioto, T.S., Bakran-Petricioli, T., Boavida, J., *et al.* (2019). Enhancing the effectiveness of restoration actions in coralligenous habitats: insights from a transregional thermotolerance experiment. In: *Proceedings of the 3rd Mediterranean Symposium on the conservation of Coralligenous & other Calcareous Bio-Concretions.* Presented at the 3ème Symposium Méditerranéen sur la conservation du Coralligène at autres Bio-Concrétions, SPA/RAC, Antalya, Turquie, pp. 81–87.

- Lefebvre, S., Marín Leal, J.C., Dubois, S., Orvain, F., Blin, J.-L., Bataillé, M.-P., *et al.* (2009). Seasonal dynamics of trophic relationships among co-occurring suspension-feeders in two shellfish culture dominated ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82, 415–425.
- Lepareur, F., Bertrand, S., Papuga, G. & Richeux, M. (2013). *État de conservation de l'habitat 1150 «Lagunes côtières»: Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000 - Guide d'application Version 1.*
- Lesueur, M. & Comparini, C. (2015). *La filière des algues dans le monde, en Europe, en France. Synthèse de résultats. Cellule études et transfert, AGROCAMPUS OUEST. Synthèse de l'étude de la filière Algues alimentaires réalisée dans le cadre du projet IDEALG.* Publications du pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST.
- Levin, L.A. (2006). Recent progress in understanding larval dispersal: new directions and digressions. *Integr Comp Biol*, 46, 282–297.
- Lewis, M.A. & Devereux, R. (2009). Nonnutrient anthropogenic chemicals in seagrass ecosystems: Fate and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28, 644–661.
- Libois, R. (1995). Regime et tactique alimentaires de la loutre (*Lutra lutra*) en France: synthèse. *Cahiers d'Ethologie*, 15, 251–274.
- Louis, R. (2010). *Elevage conchylicole au large en baie de Bourgneuf: potentialité de diversification (Mémoire).* AGROCAMPUS OUEST - SMIDAP.
- Loureiro, R., Gachon, C.M.M. & Rebours, C. (2015). Seaweed cultivation: potential and challenges of crop domestication at an unprecedented pace. *New Phytologist*, 206, 489–492.
- Lovell, S.J., Stone, S.F. & Fernandez, L. (2006). The Economic Impacts of Aquatic Invasive Species: A Review of the Literature. *Agricultural and Resource Economics Review*, 35, 195–208.
- Lulijwa, R., Rupia, E.J. & Alfaro, A.C. (2019). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture*.
- Lunestad, B.T. & Goksøyr, J. (1990). Reduction in the antibacterial effect of oxytetracycline in sea water by complex formation with magnesium and calcium. *Diseases of Aquatic Organisms*, 9, 67–72.
- Lunestad, B.T. & Samuelson, O.B. (2001). Effects of sea water on the activity of antimicrobial agents used in aquaculture; implications for MIC testing. *Aquaculture, Annual Review of Fish Diseases Volume 8*, 196, 319–323.
- Lusher, A., Hollman, P. & Mendoza-Hill, J. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture. Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. FAO, Rome.
- MAA. (2011). *Recensements 2008 de la salmoniculture et de la pisciculture marine et des élevages d'esturgeons (No. 11).* AGRESTE Les dossiers. MAA.
- Madhun, A.S., Karlsbakk, E., Isachsen, C.H., Omdal, L.M., Sørvik, A.G.E., Skaala, Ø., *et al.* (2015). Potential disease interaction reinforced: double-virus-infected escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., recaptured in a nearby river. *Journal of Fish Diseases*, 38, 209–219.
- Marchesan, M., Spoto, M., Verginella, L. & Ferrero, E.A. (2005). Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest. *Fisheries Research*, 73, 171–185.
- Marcotte, D. (2007). *Systèmes de protection contre les prédateurs* (Document d'information DADD-22). Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation., Québec.
- Martin, K.J., Alessi, S.C., Gaspard, J.C., Tucker, A.D., Bauer, G.B. & Mann, D.A. (2012). Underwater hearing in the loggerhead turtle (*Caretta caretta*): a comparison of behavioral and auditory evoked potential audiograms. *Journal of Experimental Biology*, 215, 3001–3009.
- Martinie-Cousty, E. & Prévot-Madère, J. (2017). *Les fermes aquacoles marines et continentales: enjeux d'un développement durable réussi.* Les éditions des journaux officiels.
- Mathews, E.A., Jemison, L.A., Pendleton, G.W., Blejwas, K.M., Hood, K.E. & Raum-Suryan, K.L. (2016). Haul-out patterns and effects of vessel disturbance on harbor seals (*Phoca vitulina*) on glacial ice in Tracy Arm, Alaska. *Fishery Bulletin*, 114, 186.
- McGinnity, P., Prodöhl, P., Ferguson, A., Hynes, Maoiléidigh, N. ó, Baker, N., *et al.* (2003). Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270, 2443–2450.
- McGinnity, P., Stone, C., Taggart, J.B., Cooke, D., Cotter, D., Hynes, R., *et al.* (1997). Genetic impact of escaped farmed Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i> L.) on native populations: use of DNA profiling to assess freshwater performance of wild, farmed, and hybrid progeny in a natural river environment. *ICES J Mar Sci*, 54, 998–1008.
- McKindsey, C.W., Anderson, R., Barnes, P., Courtenay, S., Landry, T. & Skinner, M. (2006a). *Effects of Shellfish Aquaculture on Fish Habitat* (Research Document No. 2006/011). Canadian Science Advisory Secretariat.
- McKindsey, C.W., Archambault, P., Callier, M.D. & Olivier, F. (2011). Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review. This review is part of a virtual symposium on current topics in aquaculture of marine fish and shellfish. *Can. J. Zool.*, 89, 622–646.
- McKindsey, C.W., Thetmeyer, H., Landry, T. & Silvert, W. (2006b). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*, 261, 451–462.
- Medale, F., Le Boucher, R., Dupont-Nivet, M., Quillet, E., Aubin, J. & Panserat, S. (2013). Des aliments à base de végétaux pour les poissons d'élevage. *INRA Productions animales*, 26, 303–316.
- MEDDTL. (2012). *«Cahiers d'habitats» Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 8 - Oiseaux.* La Documentation française. Paris.
- Méléder, V., Launeau, P., Barillé, L. & Rincé, Y. (2003). [Microphytobenthos assemblage mapping by spatial visible-infrared remote sensing in a shellfish ecosystem]. *C R Biol*, 326, 377–389.

- Melville, D.S., Chen, Y. & Ma, Z. (2016). Shorebirds along the Yellow Sea coast of China face an uncertain future—a review of threats. *Emu - Austral Ornithology*, 116, 100–110.
- Menage, M., Simonnet, F. & Moulin, A. (2015). *Statut de la loutre d'Europe (Lutra lutra) et risque de mortalité routière sur le territoire du SAGE Elorn*. Groupe mammalogique breton, Syndicat de bassin de l'Elorn.
- Mendiguchia, C., Moreno, C., Manuel-Vez, M.P. & García-Vargas, M. (2006). Preliminary investigation on the enrichment of heavy metals in marine sediments originated from intensive aquaculture effluents. *Aquaculture*, 254, 317–325.
- Mente, E., Pierce, G.J., Santos, M.B. & Neofitou, C. (2006). Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult Int*, 14, 499–522.
- Mercaldo-Allen, R. & Goldberg, R. (2011). *Review of the ecological effects of dredging in the cultivation and harvest of molluscan shellfish* (NOAA technical memorandum FS-NE No. NMFS-NE-220). NOAA, Woods Hole, Massachusetts.
- Mercier, L. (2003). Régime alimentaire de la Loutre, *Lutra lutra*, sur l'île de Noirmoutier (Vendée). *Le naturaliste vendéen*, 3, 121–131.
- Mesnager, V., Ogier, S., Bally, G., Disnar, J.-R., Lottier, N., Dedieu, K., et al. (2007). Nutrient dynamics at the sediment–water interface in a Mediterranean lagoon (Thau, France): Influence of biodeposition by shellfish farming activities. *Marine Environmental Research*, 63, 257–277.
- Michalek, K., Ventura, A. & Sanders, T. (2016). Mytilus hybridisation and impact on aquaculture: A minireview. *Marine Genomics, Cells to Shells: The genomics of mollusc exoskeletons*, 27, 3–7.
- Michez, N., Dirberg, G., Bellan-Santini, D., Verlaque, M., Bellan, G., Pergent, G., et al. (2011). *Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée, Liste de référence française et correspondances* (Rapport SPN No. 2011–13). MNHN, Paris.
- Michez, N., Fourt, M., Aish, A., Bellan, G., Bellan-Santini, D., Chevaldonné, P., et al. (2014). *Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée Version 2* (Rapport SPN No. 2014–33). MNHN, Paris.
- Michez, N., Thiébaud, E., Dubois, S., Legall, L., Dauvin, J.-C., Andersen, A.C., et al. (2019a). *Typologie des habitats marins benthiques français de Manche, de Mer du Nord et d'Atlantique Version 3*. UMS PatriNat-MNHN, Paris.
- Michez, N., Thiébaud, E., Dubois, S., Legall, L., Dauvin, J.-C., Andersen, A.C., et al. (2019b). *Typologie des habitats marins benthiques français de Manche, de Mer du Nord et d'Atlantique. Version 3*. UMS PatriNat - MNHN, Paris.
- Mille, D. (2012). *L'exploitation des filières de la Malconche*. CREA - CRC Poitou-Charentes - DDTM 17, Chateau d'Oléron.
- Mille, D. (2017). *Etude de la déprédation aviaire sur les bouchots d'élevage mytilicole de Boyard. Volet productivité des études collaboratives CREA - LPO menées pour le compte du CRC Poitou-Charentes. Bilan des deux saisons d'étude. Etude 2013-2016*. CREA, Le Chateau d'Oléron.
- Mille, D. & Blachier, P. (2009). *Mutations conchylicoles - Etat des lieux et perspectives de développement des productions en eau profonde à l'automne 2008*. CREA, Le Château d'Oléron.
- Mille, D., Oudot, G., Dubillot, E. & Geay, A. (2008). *Etude de la faisabilité de l'élevage d'huitres en eau profonde dans la baie de La Malconche*. CREA, Le Château d'Oléron.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005a). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005b). *Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Millet, B. & Cecchi, P. (1992). Wind-induced hydrodynamic control of the phytoplankton biomass in a lagoon ecosystem. *Limnology and Oceanography*, 37, 140–146.
- Minchin, D. (2007). Aquaculture and transport in a changing environment: Overlap and links in the spread of alien biota. *Marine Pollution Bulletin, Marine Bioinvasions: A collection of reviews*, 55, 302–313.
- Minchin, D., Gollasch, S., Cohen, A.N., Hewitt, C.L. & Olenin, S. (2009). Characterizing Vectors of Marine Invasion. In: *Biological Invasions in Marine Ecosystems: Ecological, Management, and Geographic Perspectives*, Ecological Studies (eds. Rilov, G. & Crooks, J.A.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 109–116.
- Ministry for Primary Industries of New Zealand. (2013). *Overview of ecological effects of aquaculture*. Growing and protected New Zealand. Wellington.
- Mirto, S., Bianchelli, S., Gambi, C., Krzelj, M., Pusceddu, A., Scopa, M., et al. (2010). Fish-farm impact on metazoan meiofauna in the Mediterranean Sea: Analysis of regional vs. habitat effects. *Marine Environmental Research*, 69, 38–47.
- Moisan, N. & Cauvier, C. (2010). *Prédation de la moule d'élevage par les canards: proposition de méthodes d'atténuation*. (No. 35). Les publications de la direction de l'innovation et des technologies. MAPAQ, Grande-Rivière.
- Molnar, J.L., Gamboa, R.L., Revenga, C. & Spalding, M.D. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 485–492.
- Montevicchi, W.A. (2013). Influences of artificial light on marine birds. In: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Washington.
- Morrison, S.S. & Vogel, P. (2009). Aquaculture ponds, a Jamaican study: the impact of birds on fish production. *AJAR*, 4, 1447–1454.
- Morton, A., Routledge, R., Hrushowy, S., Kibenge, M. & Kibenge, F. (2017). The effect of exposure to farmed salmon on piscine orthoreovirus infection and fitness in wild Pacific salmon in British Columbia, Canada. *PLOS ONE*, 12, e0188793.
- Müller, C., Townsend, K. & Matschullat, J. (2012). Experimental degradation of polymer shopping bags (standard and degradable plastic, and biodegradable) in the gastrointestinal fluids of sea turtles. *Science of The Total Environment*, 416, 464–467.
- Murphy, C.L. (2018). A comparison of microplastics in farmed and wild shellfish near Vancouver Island

- and potential implications for contaminant transfer to humans.
- Murray, A.G. (2013). Epidemiology of the spread of viral diseases under aquaculture. *Current Opinion in Virology*, Virus entry / Environmental virology, 3, 74–78.
- Murray, A.G., Smith, R.J. & Stagg, R.M. (2002). Shipping and the Spread of Infectious Salmon Anemia in Scottish Aquaculture. *Emerg Infect Dis*, 8, 1–5.
- Murray, G.R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 2013–2025.
- Naito, K., Matsui, M. & Imai, I. (2005). Ability of marine eukaryotic red tide microalgae to utilize insoluble iron. *Harmful Algae*, 4, 1021–1032.
- Naylor, R.L., Williams, S.L. & Strong, D.R. (2001). Aquaculture--A Gateway for Exotic Species. *Science*, 294, 1655–1656.
- Neckles, H.A., Short, F.T., Barker, S. & Kopp, B.S. (2005). Disturbance of eelgrass *Zostera marina* by commercial mussel *Mytilus edulis* harvesting in Maine: dragging impacts and habitat recovery. *Marine Ecology Progress Series*, 285, 57–73.
- Nemtzov, S.C. & Olsvig-Whittaker, L. (2003). The Use of Netting Over Fishponds as a Hazard to Waterbirds. *cowa*, 26, 416–424.
- Newell, R.I.E. (2004). Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: a review. *Journal of Shellfish Research*, 23, 51–61.
- Nicolau, L., Marçalo, A., Ferreira, M., Sá, S., Vingada, J. & Eira, C. (2016). Ingestion of marine litter by loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in Portuguese continental waters. *Marine Pollution Bulletin*, 103, 179–185.
- Niwa, K., Iida, S., Kato, A., Kawai, H., Kikuchi, N., Kobiyama, A., et al. (2009). Genetic Diversity and Introgression in Two Cultivated Species (*Porphyra yezoensis* and *Porphyra tenera*) and Closely Related Wild Species of *Porphyra* (bangiales, Rhodophyta). *Journal of Phycology*, 45, 493–502.
- Nizzoli, D., Bartoli, M. & Viaroli, P. (2006a). Nitrogen and phosphorous budgets during a farming cycle of the Manila clam *Ruditapes philippinarum*: An in situ experiment. *Aquaculture*, 261, 98–108.
- Nizzoli, D., Bartoli, M. & Viaroli, P. (2007). Oxygen and ammonium dynamics during a farming cycle of the bivalve *Tapes philippinarum*. *Hydrobiologia*, 587, 25–36.
- Nizzoli, D., Welsh, D.T., Fano, E.A. & Viaroli, P. (2006b). Impact of clam and mussel farming on benthic metabolism and nitrogen cycling, with emphasis on nitrate reduction pathways. *Marine Ecology Progress Series*, 315, 151–165.
- NOAA fisheries west coast region. (2014). *California Eelgrass Mitigation Policy and Implementing Guidelines*. NOAA.
- Norði, G. á, Glud, R.N., Gaard, E. & Simonsen, K. (2011). Environmental impacts of coastal fish farming: carbon and nitrogen budgets for trout farming in Kaldbaksfjørður (Faroe Islands). *Marine Ecology Progress Series*, 431, 223–241.
- Nordlund, L.M., Jackson, E.L., Nakaoka, M., Samper-Villarreal, J., Beca-Carretero, P. & Creed, J.C. (2018). Seagrass ecosystem services – What's next? *Marine Pollution Bulletin*, Securing a future for seagrass, 134, 145–151.
- Northridge, S., Coram, A. & Gordon, J. (2013). *Investigations on seal depredation at Scottish fish farms*. Scottish Government, Edinburgh.
- Nylund, A., Brattespe, J., Plarre, H., Kambestad, M. & Karlsen, M. (2019). Wild and farmed salmon (*Salmo salar*) as reservoirs for infectious salmon anaemia virus, and the importance of horizontal- and vertical transmission. *PLOS ONE*, 14, e0215478.
- Öckinger, E., Schweiger, O., Crist, T.O., Debinski, D.M., Krauss, J., Kuussaari, M., et al. (2010). Life-history traits predict species responses to habitat area and isolation: a cross-continental synthesis. *Ecology Letters*, 13, 969–979.
- O'Donncha, F., Hartnett, M. & Nash, S. (2013). Physical and numerical investigation of the hydrodynamic implications of aquaculture farms. *Aquacultural Engineering*, 52, 14–26.
- Okocha, R.C., Olatoye, I.O. & Adedeji, O.B. (2018). Food safety impacts of antimicrobial use and their residues in aquaculture. *Public Health Rev*, 39, 21.
- Olesiuk, P.F., Jack, L. & Trippel, E.A. (2010). *Pathways of effects of noise associated with aquaculture on natural marine ecosystems in Canada* (No. Research Document 2010/025). Canadian Science Advisory Secretariat. Fisheries and Oceans Canada.
- Oliver, G. (2009). *Les Tortues marines des côtes françaises de Méditerranée*. Université de Perpignan - Réseau Tortues marines de Méditerranée française.
- Oliver, T.H., Heard, M.S., Isaac, N.J.B., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., et al. (2015). Biodiversity and Resilience of Ecosystem Functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30, 673–684.
- Paerl, H.W. (2006). Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations. *Ecological Engineering*, Advances in coastal habitat restoration in the northern Gulf of Mexico, 26, 40–54.
- Pagès, J.F., Pérez, M. & Romero, J. (2010). Sensitivity of the seagrass *Cymodocea nodosa* to hypersaline conditions: A microcosm approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 386, 34–38.
- Panchang, V., Cheng, G. & Newell, C. (1997). Modeling hydrodynamics and aquaculture waste transport in coastal maine. *Estuaries*, 20, 14–41.
- Pearce-Higgins, J.W., Brown, D.J., Douglas, D.J.T., Alves, J.A., Bellio, M., Bocher, P., et al. (2017). A global threats overview for Numeniini populations: synthesising expert knowledge for a group of declining migratory birds. *Bird Conservation International*, 27, 6–34.
- Pearson, T.H. & Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16, 229–311.
- Pêche et Océans Canada. (2009). *Plan de gestion du marsouin commun du Pacifique (Phocoena phocoena) au Canada*. Série des plans de gestion de la Loi sur les espèces en péril. Pêche et Océans Canada, Ottawa.

- Pecl, G.T., Ward, T.M., Doubleday, Z.A., Clarke, S., Day, J., Dixon, C., *et al.* (2014). Rapid assessment of fisheries species sensitivity to climate change. *Climatic Change*, 127, 505–520.
- Pérez, M., García, T., Invers, O. & Ruiz, J.M. (2008). Physiological responses of the seagrass *Posidonia oceanica* as indicators of fish farm impact. *Marine Pollution Bulletin*, 56, 869–879.
- Pérez, M. & Romero, J. (1992). Photosynthetic response to light and temperature of the seagrass *Cymodocea nodosa* and the prediction of its seasonality. *Aquatic Botany*, 43, 51–62.
- Pergent, G. (2012). The *Posidonia oceanica* meadow and fish farms. In: *Protection and Conservation of Posidonia oceanica Meadows* (eds. Tunesi, L., Boudouresque, C., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., G, D., *et al.*).
- Pernet, F., Lupo, C., Bacher, C. & Whittington, R.J. (2016). Infectious diseases in oyster aquaculture require a new integrated approach. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 371, 20150213.
- Piersma, T., Koolhaas, A., Dekinga, A., Beukema, J.J., Dekker, R. & Essink, K. (2001). Long-term indirect effects of mechanical cockle-dredging on intertidal bivalve stocks in the Wadden Sea. *Journal of Applied Ecology*, 38, 976–990.
- Pigeot, J., Miramand, P., Garcia-Meunier, P., Guyot, T. & Séguignes, M. (2000). Présence d'un nouveau prédateur de l'huître creuse, *Ocenebrellus inornatus* (Récluz, 1851), dans le bassin conchylicole de Marennes-Oléron. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, 323, 697–703.
- Piroddi, C., Bearzi, G. & Christensen, V. (2011). Marine open cage aquaculture in the eastern Mediterranean Sea: a new trophic resource for bottlenose dolphins. *Marine Ecology Progress Series*, 440, 255–266.
- Planque, B., Certain, G., Primicerio, R., Michalsen, K., Jorgensen, L.L., Aschan, M., *et al.* (2012). Ecological resilience for ecologists. In: *Joint ICES/PICES Session - Understanding, measuring and projecting the limits of resilience in marine ecosystems*. Presented at the ICES Annual Science Conference, ICES, Bergen, p. 13.
- Ponsero, A., Sturbois, A., Desroy, N., Le Mao, P., Jones, A. & Fournier, J. (2016). How do macrobenthic resources concentrate foraging waders in large megatidal sandflats? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, 120–128.
- Porras, R., Bataller, J.V., Murgui, E. & Torregrosa, M.T. (1996). Trophic Structure and Community Composition of Polychaetes Inhabiting Some *Sabellaria alveolata* (L.) Reefs Along the Valencia Gulf Coast, Western Mediterranean. *Marine Ecology*, 17, 583–602.
- Prado, F.D., Vera, M., Hermida, M., Blanco, A., Bouza, C., Maes, G.E., *et al.* (2018). Tracing the genetic impact of farmed turbot *Scophthalmus maximus* on wild populations. *Aquaculture Environment Interactions*, 10, 447–463.
- Pretty, J. & Ward, H. (2001). Social Capital and the Environment. *World Development*, 29, 209–227.
- Price, C., Black, K.D., Hargrave, B.T. & Jr, J.A.M. (2015). Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production. *Aquaculture Environment Interactions*, 6, 151–174.
- Price, C.S., Keane, E., Morin, D., Vaccaro, C., Bean, D. & Morris, J.A.Jr. (2017). *Protected species and marine aquaculture interactions* (NOAA Technical Memorandum No. NOS NCCOS 211). NOAA, Beaufort, NC.
- Price, C.S. & Morris, J.A.Jr. (2013). *Marine Cage Culture and the Environment: Twenty-first Century Science Informing a Sustainable Industry* (No. 164). NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS. Center for Coastal Fisheries and Habitat Research, Beaufort.
- Price, R.R. & Hall, S.G. (2012). Design, Development, and Testing of an Autonomous Boat to Reduce Predatory Birds on Aquaculture Ponds. *Biological Engineering Transactions*, 5, 61–70.
- Prins, T.C., Smaal, A.C. & Dame, R.F. (1998). A review of the feedbacks between bivalve grazing and ecosystem processes. *Aquatic Ecology*, 31, 349–359.
- Puissauve, R. & Baglinière, J.-L. (2013). *Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées: Alose vraie, Alosa alosa (Linnaeus, 1758)*. Fiche d'information sur les espèces aquatiques protégées. Service du patrimoine naturel du MNHN & Onema.
- Puissauve, R. & Baglinière, J.-L. (2015). *Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées: Alose feinte, Alosa fallax (Lacépède, 1803)*. Fiche d'information sur les espèces aquatiques protégées. Service du patrimoine naturel du MNHN & Onema.
- Puissauve, R. & Evanno, G. (2015). *Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées: Lamproie de rivière, Lampetra fluviatilis (Linnaeus, 1758)*. Fiche d'information sur les espèces aquatiques protégées. Service du patrimoine naturel du MNHN & Onema.
- Puissauve, R., Legros, B., Evanno, G. & Acou, A. (2015). *Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées: Lamproie marine, Petromyzon marinus (Linnaeus, 1758)*. Fiche d'information sur les espèces aquatiques protégées. Service du patrimoine naturel du MNHN & Onema.
- Radford, A.N., Kerridge, E. & Simpson, S.D. (2014). Acoustic communication in a noisy world: can fish compete with anthropogenic noise? *Behav Ecol*, 25, 1022–1030.
- Ragot, P. (2009). *Tome 1 - Les cultures marines - Activités - Interactions - Dispositifs d'encadrement - Orientations de gestion* (Référentiel pour la gestion dans les sites Natura 2000 en mer). Agence des aires marines protégées, Brest.
- Rech, S., Borrell, Y. & García-Vazquez, E. (2016). Marine litter as a vector for non-native species: What we need to know. *Marine Pollution Bulletin*, 113, 40–43.
- Rech, S., Salmina, S., Borrell Pichs, Y.J. & García-Vazquez, E. (2018). Dispersal of alien invasive species on anthropogenic litter from European mariculture areas. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 10–16.
- Rees, E.E., St-Hilaire, S., Jones, S.R.M., Krkošek, M., DeDominicis, S., Foreman, M.G.G., *et al.* (2015). Spatial patterns of sea lice infection among wild and captive salmon in western Canada. *Landscape Ecol*, 30, 989–1004.
- Reid, N., Hayden, B., Lundy, M.G., Pietravalle, S., McDonald, R.A. & Montgomery, W.I. (2013). *National Otter Survey of Ireland 2010/12* (No.

- 76). Irish Wildlife Manuals. National Parks and Wildlife Service, Department of Arts, Heritage and the Gaeltach, Dublin.
- Richman, S.E. (2013). *Sea duck predation on mussel farms: a growing conflict*.
- Rigos, G. & Troisi, G.M. (2005). Antibacterial Agents in Mediterranean Finfish Farming: A Synopsis of Drug Pharmacokinetics in Important Euryhaline Fish Species and Possible Environmental Implications. *Rev Fish Biol Fisheries*, 15, 53–73.
- Riley, W.D., Davison, P.I., Maxwell, D.L., Newman, R.C. & Ives, M.J. (2015). A laboratory experiment to determine the dispersal response of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry to street light intensity. *Freshwater Biology*, 60, 1016–1028.
- Rius, M., Heasman, K.G. & McQuaid, C.D. (2011). Long-term coexistence of non-indigenous species in aquaculture facilities. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2395–2403.
- RIVAGE. (2011a). *Document d'objectifs Natura 2000 des sites "Complexe lagunaire de Salses-Leucate" TOME I – Etat des lieux & Objectifs. SIC FR9101463 «Complexe lagunaire de Salses» ZPS FR9112005 «Complexe lagunaire de Salses-Leucate»*. RIVAGE Salses-Leucate.
- RIVAGE. (2011b). *Document d'objectifs Natura 2000 des sites "Complexe lagunaire de Salses-Leucate" TOME IV – Atlas cartographique. SIC FR9101463 «Complexe lagunaire de Salses» ZPS FR9112005 «Complexe lagunaire de Salses-Leucate»*. RIVAGE Salses-Leucate.
- Rochman, C.M., Tahir, A., Williams, S.L., Baxa, D.V., Lam, R., Miller, J.T., et al. (2015). Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5, 14340.
- Rodríguez, A., Holmes, N.D., Ryan, P.G., Wilson, K.-J., Faulquier, L., Murillo, Y., et al. (2017). Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *Conservation Biology*, 31, 986–1001.
- Roque d'Orbcastel, E. (2008). Optimisation de deux systèmes de production piscicole : biotransformation des nutriments et gestion des rejets. Institut national polytechnique de Toulouse, Toulouse.
- Rose, J.M., Bricker, S.B., Tedesco, M.A. & Wikfors, G.H. (2014). A Role for Shellfish Aquaculture in Coastal Nitrogen Management. *Environ. Sci. Technol.*, 48, 2519–2525.
- Rothschild, B.J., Ault, J.S., Gouletquer, P. & Heral, M. (1994). Decline of the Chesapeake Bay oyster population: A century of habitat destruction and overfishing. *Marine Ecology Progress Series*, 111, 29–40.
- Roy, H., Schonrogge, K., Dean, H., Peyton, J., Branquart, E., Vanderhoeven, S., et al. (2013). *Invasive alien species – framework for the identification of invasive alien species of EU concern (ENV.B.2/ETU/2013/0026)*. Natural Environment Research Council, Swindon, U.K.
- Roycroft, D., Kelly, T.C. & Lewis, L.J. (2004). Birds, seals and the suspension culture of mussels in Bantry Bay, a non-seaduck area in Southwest Ireland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61, 703–712.
- Ruiz, J.M. & Romero, J. (2001). Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*, 215, 107–120.
- Rust, M., Barrows, F.T., Hardy, R.W., Lazur, A.M. (Andrew M.), 1956-, Naughten, K. & Silverstein, J.T., 1961-. (2011). The future of aquafeeds NOAA/USDA alternative feeds initiative. NOAA tech. memo. NMFS-F/SPO ; 124.
- Salama, N.K.G. & Murray, A.G. (2011). Farm size as a factor in hydrodynamic transmission of pathogens in aquaculture fish production. *Aquaculture Environment Interactions*, 2, 61–74.
- Samuel, Y., Morreale, S.J., Clark, C.W., Greene, C.H. & Richmond, M.E. (2005). Underwater, low-frequency noise in a coastal sea turtle habitat. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117, 1465–1472.
- Sanchez-Jerez, P., Fernandez-Jover, D., Uglem, I. & Arechavala-Lopez, P. (2011). Coastal Fish Farms as Fish Aggregation Devices (FADs). In: *Artificial Reefs in Fisheries Management*, CRC Marine Biology Series (eds. Bortone, S.A., Pereira Brandini, F., Fabi, G. & Otake, S.). CRC press. Taylor & Francis Group., Florida, U.S.
- Santos, R.G., Andrades, R., Boldrini, M.A. & Martins, A.S. (2015). Debris ingestion by juvenile marine turtles: An underestimated problem. *Marine Pollution Bulletin*, 93, 37–43.
- Santos-Reis, M., Santos, R., Antunes, P., Sales-Luís, T., Gomes, J., Freitas, D., et al. (2013). Reconciliation of the Conflict Between Otters and Fish Farmers. In: *Human - Wildlife Conflicts in Europe: Fisheries and Fish-eating Vertebrates as a Model Case*, Environmental Science and Engineering (eds. Klenke, R.A., Ring, I., Kranz, A., Jepsen, N., Rauschmayer, F. & Henle, K.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 49–79.
- Sanz-Lázaro, C., Belando, M.D., Marín-Guirao, L., Navarrete-Mier, F. & Marín, A. (2011). Relationship between sedimentation rates and benthic impact on Maërl beds derived from fish farming in the Mediterranean. *Marine Environmental Research*, 71, 22–30.
- Sarà, G. (2007). Ecological effects of aquaculture on living and non-living suspended fractions of the water column: A meta-analysis. *Water Research*, 41, 3187–3200.
- Sauriau, P.-G. (2002). *Les bigorneaux perceurs des Pertuis Charentais : éléments de biologie - Synthèse des moyens de lutte*. CNRS - Ifremer, L'Houmeau.
- Schakner, Z.A. & Blumstein, D.T. (2013). Behavioral biology of marine mammal deterrents: A review and prospectus. *Biological Conservation*, 167, 380–389.
- Schiel, D.R. & Thompson, G.A. (2012). Demography and population biology of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* on shallow reefs in southern New Zealand. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 434–435, 25–33.
- Schmidt, A.L., Coll, M., Romanuk, T.N. & Lotze, H.K. (2011). Ecosystem structure and services in eelgrass *Zostera marina* and rockweed *Ascophyllum nodosum* habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 437, 51–68.
- Schoof, R.A. & DeNike, J. (2017). Microplastics in the context of regulation of commercial shellfish aquaculture operations. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13, 522–527.

- Schwartz, N., Rohde, S., Hiromori, S. & Schupp, P.J. (2016). Understanding the invasion success of *Sargassum muticum*: herbivore preferences for native and invasive *Sargassum* spp. *Mar Biol*, 163, 181.
- Šegvić-Bubić, T., Talijančić, I., Grubišić, L., Izquierdo-Gomez, D. & Katavić, I. (2014). Morphological and molecular differentiation of wild and farmed gilthead sea bream *Sparus aurata*: implications for management. *Aquaculture Environment Interactions*, 6, 43–54.
- Sepúlveda, M., Arismendi, I., Soto, D., Jara, F. & Farias, F. (2013). Escaped farmed salmon and trout in Chile: incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. *Aquaculture Environment Interactions*, 4, 273–283.
- Setälä, O., Norkko, J. & Lehtiniemi, M. (2016). Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. *Marine Pollution Bulletin*, 102, 95–101.
- Sfriso, A. & Facca, C. (2013). Annual growth and environmental relationships of the invasive species *Sargassum muticum* and *Undaria pinnatifida* in the lagoon of Venice. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 129, 162–172.
- Shannon, G., McKenna, M.F., Angeloni, L.M., Crooks, K.R., Frstrup, K.M., Brown, E., et al. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews*, 91, 982–1005.
- Shepard, C.C., Crain, C.M. & Beck, M.W. (2011). The Protective Role of Coastal Marshes: A Systematic Review and Meta-analysis. *PLOS ONE*, 6, e27374.
- Shields, J.L., Heath, J.W. & Heath, D.D. (2010). Marine landscape shapes hybrid zone in a broadcast spawning bivalve: introgression and genetic structure in Canadian west coast *Mytilus*. *Marine Ecology Progress Series*, 399, 211–223.
- Sicuro, B., Tarantola, M. & Valle, E. (2016). Italian aquaculture and the diffusion of alien species: costs and benefits. *Aquaculture Research*, 47, 3718–3728.
- Skall, H.F., Olesen, N.J. & Møllergaard, S. (2005). Viral haemorrhagic septicaemia virus in marine fish and its implications for fish farming – a review. *Journal of Fish Diseases*, 28, 509–529.
- Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. & Strand, Ø. (Eds.). (2019). *Goods and Services of Marine Bivalves*. Springer International Publishing.
- SMIDAP. (2018). La culture de microalgues et de spiruline en région pays de Loire. *Newsletter du SMIDAP*, 17.
- Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M. & Neff, R.A. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Curr Envir Health Rpt*, 5, 375–386.
- Soletchnik, P., Razet, P., Gouletquer, P., Geairon, P., Lemoine, O. & Faury, N. (1995). *Analyse de la capacité trophique de l'écosystème "claires ostréicoles" dans le cadre de l'affinage de l'huître crasse Crassostrea gigas (bassin de Marennes-Oléron)* (Rapport Interne de la direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER No. RI DRV-24-95 / La Tremblade). IFREMER, La Tremblade.
- Sornin, J.-M. (1982). Influences des installations conchylicoles sur l'hydrologie et sur la morphologie des fonds. *Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes*, 45, 127–139.
- Sornin, J.M., Collos, Y., Delmas, D., Feuillet-Girard, M. & Gouleau, D. (1990). Nitrogenous nutrient transfers in oyster ponds: role of sediment in deferred primary production. *Marine Ecology Progress Series*, 68, 15–22.
- Soto, D. (2009). *Integrated mariculture - A global review*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. FAO, Rome.
- Souchu, P., Gasc, A., Collos, Y., Vaquer, A., Tournier, H., Bibent, B., et al. (1998). Biogeochemical aspects of bottom anoxia in a Mediterranean lagoon (Thau, France). *Marine Ecology Progress Series*, 164, 135–146.
- Spalding, M.D., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L.Z., Shepard, C.C., et al. (2014). The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. *Ocean & Coastal Management*, 90, 50–57.
- Stanković, D., Crivelli, A.J. & Snoj, A. (2015). Rainbow Trout in Europe: Introduction, Naturalization, and Impacts. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23, 39–71.
- STECF. (2018). *Economic Report of the EU Aquaculture Sector (STECF-18-19)*. Economic Report of the EU Aquaculture Sector. Publications Office of the European Union. Rasmus Nielsen, Jordi Guillen and Natacha Carvalho, Luxembourg.
- Stévant, P., Rebours, C. & Chapman, A. (2017). Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives. *Aquacult Int*, 25, 1373–1390.
- Strand, Ø., Jansen, H.M., Jiang, Z. & Robinson, S.M.C. (2019). Perspectives on Bivalves Providing Regulating Services in Integrated Multi-Trophic Aquaculture. In: *Goods and Services of Marine Bivalves* (eds. Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. & Strand, Ø.). Springer International Publishing, Cham, pp. 209–230.
- Sundberg, L.-R., Ketola, T., Laanto, E., Kinnula, H., Bamford, J.K.H., Penttinen, R., et al. (2016). Intensive aquaculture selects for increased virulence and interference competition in bacteria. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283, 20153069.
- Surman, C. & Dunlop, J. (2015). *Impact Assessment of aquaculture on seabird communities of the Abrolhos Islands, to support the Mid-West Aquaculture Development Zone proposal* (No. DoF21/2013). Halfmoon Biosciences, Ocean Beach.
- Sutherland, W.J., Alves, J.A., Amano, T., Chang, C.H., Davidson, N.C., Finlayson, C.M., et al. (2012). A horizon scanning assessment of current and potential future threats to migratory shorebirds. *Ibis*, 154, 663–679.
- Syndicat mixte du bassin de Thau. (2012). *Fiche de synthèse du site Natura 2000 FR9101411 Herbiers de l'étang de Thau*. Syndicat mixte du bassin de Thau.
- Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M. & Watanuki, Y. (2013). Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine Pollution Bulletin*, 69, 219–222.
- Terrados, J. & Ros, J.D. (1995). Temperature Effects on Photosynthesis and Depth Distribution of the Seagrass *Cymodocea nodosa* (ucria) Ascherson in

- a Mediterranean Coastal Lagoon: the Mar Menor (SE Spain). *Marine Ecology*, 16, 133–144.
- Tett, P., Benjamins, S., Coulson, M., Davidson, K., Fernandes, T., Fox, C., et al. (2018a). *Review of the environmental impacts of salmon farming in Scotland*. Report for the Environment, Climate Change and Land Reform (ECCLR) Committee. The Scottish Parliament. The Scottish Association for Marine Science Research Services, Oban.
- Tett, P., Verspoor, E., Hunter, D.-C., Coulson, M., Hicks, N., Davidson, K., et al. (2018b). *Review of the environmental impacts of salmon farming in Scotland*. Report for the Environment, Climate Change and Land Reform (ECCLR) Committee. The Scottish Parliament, 196 pp.
- Thompson, J.A., Stow, A.J. & Raftos, D.A. (2017). Lack of genetic introgression between wild and selectively bred Sydney rock oysters *Saccostrea glomerata*. *Marine Ecology Progress Series*, 570, 127–139.
- Thompson, R.C. (2015). Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions. In: *Marine Anthropogenic Litter* (eds. Bergmann, M., Gutow, L. & Klages, M.). Springer International Publishing, Cham, pp. 185–200.
- Thorner, C.S., Kinlan, B.P., Graham, M.H. & Stachowicz, J.J. (2004). Population ecology of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* in California: environmental and biological controls on demography. *Marine Ecology Progress Series*, 268, 69–80.
- Thorstad, E.B., Fleming, I.A., McGinnity, P., Soto, D., Wennevik, V. & Whoriskey, F. (2008). *Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon Salmo salar in nature* (Report from the Technical Working Group on Escapes of the Salmon Aquaculture Dialogue). NINA, OSC, MIACMS, FAO, IMR ASF.
- Thums, M., Whiting, S.D., Reisser, J., Pendoley, K.L., Pattiaratchi, C.B., Proietti, M., et al. (2016). Artificial light on water attracts turtle hatchlings during their near shore transit. *Royal Society Open Science*, 3, 160142.
- Tolon, V. (2013). *Mécanismes et patrons de distribution des macreuses en Europe, en France et en Basse Normandie: liens avec le climat, les ressources benthiques et la mytiliculture*. Maison de l'estuaire - CNRS - AAMP - LPO, Le Havre.
- Toupoint, N., Godet, L., Fournier, J., Retière, C. & Olivier, F. (2008). Does Manila clam cultivation affect habitats of the engineer species *Lanice conchilega* (Pallas, 1766)? *Marine Pollution Bulletin*, 56, 1429–1438.
- Travers, M.-A., Boettcher Miller, K., Roque, A. & Friedman, C.S. (2015). Bacterial diseases in marine bivalves. *Journal of Invertebrate Pathology*, Pathogens and Disease Processes in Marine Molluscs, 131, 11–31.
- Troost, K. (2010). Causes and effects of a highly successful marine invasion: Case-study of the introduced Pacific oyster *Crassostrea gigas* in continental NW European estuaries. *Journal of Sea Research*, 64, 145–165.
- Troost, K., Gelderman, E., Kamermans, P., Smaal, A.C. & Wolff, W.J. (2009). Effects of an increasing filter feeder stock on larval abundance in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands). *Journal of Sea Research*, 61, 153–164.
- Tunesi, L. & Boudouresque, C. (2012). The causes of *Posidonia oceanica* meadows regression. In: *Protection and Conservation of Posidonia oceanica Meadows* (eds. Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., G. D., Meinesz, A., Pergent, G., et al.).
- Turner, A. (2010). Marine pollution from antifouling paint particles. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 159–171.
- Tuya, F., Png-Gonzalez, L., Riera, R., Haroun, R. & Espino, F. (2014). Ecological structure and function differs between habitats dominated by seagrasses and green seaweeds. *Marine Environmental Research*, 98, 1–13.
- Underwood, A.J. (1992). Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161, 145–178.
- Underwood, A.J. (1994). On Beyond BACI: Sampling Designs that Might Reliably Detect Environmental Disturbances. *Ecological Applications*, 4, 3–15.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2015). *Programmatic Biological Assessment. Shellfish Activities in Washington State Inland Marine Waters U.S. Army Corps of Engineers Regulatory Program*. U.S. Army Corps of Engineers - Seattle district, Washington state.
- Usher, P.K., Ross, A.B., Camargo-Valero, M.A., Tomlin, A.S. & Gale, W.F. (2014). An overview of the potential environmental impacts of large-scale microalgae cultivation. *Biofuels*.
- Valéry, L., Fritz, H., Lefeuvre, J.-C. & Simberloff, D. (2008). In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biol Invasions*, 10, 1345–1351.
- Vandeputte, M., Aubin, J., Médale, F., Quillet, E., Duchaud, E., Boudinot, P., et al. (2011). Vers une pisciculture durable à hautes performances environnementales. *Innovations Agronomiques*, 12, 179–188.
- Vandermeulen, H. (2005). *Assessing Marine Habitat Sensitivity: A case study with eelgrass (Zostera marina L.) and kelps (Laminaria, Macrocytis)* (Research Document No. 2005/032). Fisheries and Oceans Canada - Canadian Science Advisory Secretariat, Vancouver.
- Vanpatten, K.A., Nunan, L.M. & Lightner, D.V. (2004). Seabirds as potential vectors of penaeid shrimp viruses and the development of a surrogate laboratory model utilizing domestic chickens. *Aquaculture*, 241, 31–46.
- Varenes, É., Hanssen, S.A., Bonardelli, J. & Guillemette, M. (2013). Sea duck predation in mussel farms: the best nets for excluding common eiders safely and efficiently. *Aquaculture Environment Interactions*, 4, 31–39.
- Vasconcelos, P., Morgado-André, A., Morgado-André, C. & Gaspar, M.B. (2011). Shell strength and fishing damage to the smooth clam (*Callista chione*): simulating impacts caused by bivalve dredging. *ICES J Mar Sci*, 68, 32–42.
- Vásquez, J.A., Zuñiga, S., Tala, F., Piaget, N., Rodríguez, D.C. & Vega, J.M.A. (2014). Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *J Appl Phycol*, 26, 1081–1088.
- Vendermeirsch, F., Bonnat, A., Yin, X. & Lazure, P. (2012). *Caractéristique et état écologique. Golfe de Gascogne. Etat physique et chimique. Caractéristiques physiques. Variation spatio-*

- temporelle de la température et de la salinité. Ifremer, Brest.
- Verlaque, M. (2001). Checklist of the macroalgae of Thau Lagoon (Hérault, France), a hot spot of marine species introduction in Europe. *Oceanologica Acta*, 24, 29–49.
- Verlaque, M., Boudouresque, C.-F. & Mineur, F. (2007). Oyster transfers as a vector for marine species introductions: a realistic approach based on the macrophytes. In: *Impact of mariculture on coastal ecosystems*, Ciesm Workshop Monograph. CIESM Publisher, Monaco, p. 118.
- Viršek, M.K., Lovšin, M.N., Koren, Š., Kržan, A. & Peterlin, M. (2017). Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Marine Pollution Bulletin*, 125, 301–309.
- Waerebeek, K.V., Baker, A.N., Félix, F., Gedamke, J., Iñiguez, M., Sanino, G.P., et al. (2007). Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 6, 43–69.
- Walls, A.M. (2017). Ecosystem services and environmental impacts associated with commercial kelp aquaculture. National University of Ireland, Galway.
- Walls, A.M., Kennedy, R., Edwards, M.D. & Johnson, M.P. (2017). Impact of kelp cultivation on the Ecological Status of benthic habitats and *Zostera marina* seagrass biomass. *Marine Pollution Bulletin*, 123, 19–27.
- Waples, R.S., 1947-, Hindar, K. (Kjetil) & Hard, J.J., 1956-. (2012). Genetic risks associated with marine aquaculture. NOAA technical memorandum NMFS-NWFSC ; 119.
- Waring, R.H., Harris, R.M. & Mitchell, S.C. (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? *Maturitas*, 115, 64–68.
- Watts, J.E.M., Schreier, H.J., Lanska, L. & Hale, M.S. (2017). The Rising Tide of Antimicrobial Resistance in Aquaculture: Sources, Sinks and Solutions. *Marine Drugs*, 15, 158.
- Wells, R.S. & Scott, M.D. (1997). Seasonal Incidence of Boat Strikes on Bottlenose Dolphins Near Sarasota, Florida. *Marine Mammal Science*, 13, 475–480.
- Westfall, K.M. & Gardner, J.P.A. (2010). Genetic diversity of Southern hemisphere blue mussels (Bivalvia: Mytilidae) and the identification of non-indigenous taxa. *Biol J Linn Soc*, 101, 898–909.
- White, L.F. & Orr, L.C. (2011). Native clams facilitate invasive species in an eelgrass bed. *Marine Ecology Progress Series*, 424, 87–95.
- Wilber, D.H. & Clarke, D.G. (2001). Biological Effects of Suspended Sediments: A Review of Suspended Sediment Impacts on Fish and Shellfish with Relation to Dredging Activities in Estuaries. *North American Journal of Fisheries Management*, 21, 855–875.
- Wilcock, W.S.D., Stafford, K.M., Andrew, R.K. & Odom, R.I. (2014). Sounds in the Ocean at 1–100 Hz. *Annual Review of Marine Science*, 6, 117–140.
- Wilcox, C., Van Sebille, E. & Hardesty, B.D. (2015). Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proc Natl Acad Sci USA*, 112, 11899.
- Wildish, D.J. & Pohle, G.W. (2005). Benthic Macrofaunal Changes Resulting from Finfish Mariculture. In: *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture*, Handbook of Environmental Chemistry (ed. Hargrave, B.T.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 275–304.
- Williams, R., Wright, A.J., Ashe, E., Blight, L.K., Brintjes, R., Canessa, R., et al. (2015). Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean & Coastal Management*, Making Marine Science Matter: Issues and Solutions from the 3rd International Marine Conservation Congress, 115, 17–24.
- Williot, P., Rochard, E., Castelnaud, G., Rouault, T., Brun, R., Lepage, M., et al. (1997). Biological characteristics of European Atlantic sturgeon, *Acipenser sturio*, as the basis for a restoration program in France. In: *Sturgeon Biodiversity and Conservation*, Developments in Environmental Biology of Fishes (eds. Birstein, V.J., Waldman, J.R. & Bemis, W.E.). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 359–370.
- Williot, P., Rouault, T., Brun, R. & Gessner, J. (2011). Characteristics of the Reproductive Cycle of Wild *Acipenser sturio*. In: *Biology and Conservation of the European Sturgeon Acipenser sturio L. 1758: The Reunion of the European and Atlantic Sturgeons* (eds. Williot, P., Rochard, E., Dese-Berset, N., Kirschbaum, F. & Gessner, J.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 165–175.
- Wilson, S., Blake, C., Berges, J.A. & Maggs, C.A. (2004). Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. *Biological Conservation*, 120, 279–289.
- Wilson, S. & Siobhan, P. (2009). *In search of seal-friendly salmon farming. Seal interactions with salmonid farms: case studies and interim conclusions, October 2009*. Tara Seal Research.
- Witherington, B.E. & Bjørndal, K.A. (1991). Influences of artificial lighting on the seaward orientation of hatchling loggerhead turtles *Caretta caretta*. *Biological Conservation*, 55, 139–149.
- Wolf, M.A., Buosi, A., Juhmani, A.-S.F. & Sfriso, A. (2018). Shellfish import and hull fouling as vectors for new red algal introductions in the Venice Lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 215, 30–38.
- Wonham, M. (2004). Mini-review: distribution of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia: Mytilidae) and hybrids in the Northeast Pacific. *Journal of Shellfish Research*, 23, 535–543.
- Wood, D., Capuzzo, E., Kirby, D., Mooney-McAuley, K. & Kerrison, P. (2017). UK macroalgae aquaculture: What are the key environmental and licensing considerations? *Marine Policy*, 83, 29–39.
- Work, P.A., Sapp, A.L., Scott, D.W. & Dodd, M.G. (2010). Influence of small vessel operation and propulsion system on loggerhead sea turtle injuries. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 393, 168–175.
- Wright, S.L. & Kelly, F.J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environ. Sci. Technol.*, 51, 6634–6647.
- Würsig, B. & Gailey, G.A. (2002). Marine Mammals and Aquaculture: Conflicts and Potential Resolutions.

- In: *Responsible Marine Aquaculture* (eds. Stickney, R.R. & McVey, J.P.). CABI, Oxon.
- Ysebaert, T., Walles, B., Haner, J. & Hancock, B. (2019). Habitat Modification and Coastal Protection by Ecosystem-Engineering Reef-Building Bivalves. In: *Goods and Services of Marine Bivalves* (eds. Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. & Strand, Ø.). Springer International Publishing, Cham, pp. 253–273.
- Zardi, G.I., McQuaid, C.D., Jacinto, R., Lourenço, C.R., Serrão, E.A. & Nicastro, K.R. (2018). Re-assessing the origins of the invasive mussel *Mytilus galloprovincialis* in southern Africa. *Mar. Freshwater Res.*, 69, 607–613.
- Zbawicka, M., Trucco, M.I. & Wenne, R. (2018). Single nucleotide polymorphisms in native South American Atlantic coast populations of smooth shelled mussels: hybridization with invasive European *Mytilus galloprovincialis*. *Genet Sel Evol*, 50, 5.
- Zhang, Q.-S., Tang, X.-X., Cong, Y.-Z., Qu, S.-C., Luo, S.-J. & Yang, G.-P. (2007). Breeding of an elite Laminaria variety 90-1 through inter-specific gametophyte crossing. *J Appl Phycol*, 19, 303–311.
- Zwerschke, N., Emmerson, M.C., Roberts, D. & O'Connor, N.E. (2016). Benthic assemblages associated with native and non-native oysters are similar. *Marine Pollution Bulletin*, 111, 305–310.
- Žydelis, R., Esler, D., Kirk, M. & Boyd, W.S. (2009). Effects of off-bottom shellfish aquaculture on winter habitat use by molluscivorous sea ducks. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19, 34–42.

LEXIQUE

AECM :	Autorisation d'Exploitation des Cultures Marines (cf. Tome 1 II.B.2)
AOT :	Autorisation d'Occupation Temporaire (du Domaine Public Maritime) (cf. Tome 1 II.B.2)
AMP :	Aire Marine Protégée (cf. Tome 1 II.F.5.b)
CDPMEM :	Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (cf. Tome 1 I.B.2.c.iii)
CEPRALMAR :	Centre d'Etude pour la PRomotion des Activités Lagunaires et MARitimes (cf. Tome 1 I.B.3.c.i)
CEVA :	Centre d'Expérimentation et de Valorisation des Algues (cf. Tome 1 I.B.3.c.i)
CIEM :	Conseil International pour l'Exploration de la Mer (cf. Tome 1 I.B.3.a.i)
CIPA :	Comité Interprofessionnel de l'Aquaculture (cf. Tome 1 I.B.2.b.ii)
CNC :	Comité National Conchylicole (cf. Tome 1 I.B.2.b.i)
CNPMEM :	Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (cf. Tome 1 I.B.2.b.i)
CRC :	Comité Régional Conchylicole (cf. Tome 1 I.B.2.c.i)
CREAA :	Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole
CRPMEM :	Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (cf. Tome 1 I.B.2.c.iii)
CSAVM :	Chambre Syndicale des Algues et des Végétaux Marins (cf. Tome I.B.2.c.iv)
CSTEP :	Comité Scientifique, Technique et Economique des Pêches (cf. Tome 1 I.B.3.a.ii)
DAM :	Direction des Affaires Maritimes (cf. Tome 1 I.B.1.b.ii)
DCE :	Directive Cadre Eau (cf. Tome 1 II.F.1.b)
DCSMM :	Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (cf. Tome 1 II.F.1.b)
DDPP :	Direction Départementale de la Protection des Populations (cf. Tome 1 I.B.1.c.v)
DDTM :	Direction Départementale des Territoires et de la Mer (cf. Tome 1 I.B.1.c.vi)
DEB :	Direction de l'Eau et de la Biodiversité (cf. Tome 1 I.B.1.b.ii)
DHFF :	Directive Habitat Faune Flore (cf. Tome 1 II.F.1.a)
DGAL :	Direction générale de l'alimentation (cf. Tome 1 I.B.1.b.i)
DGCCRF :	Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et la Répression des Fraudes (cf. Tome 1 I.B.1.b.iii)
DGER :	Direction générale de l'enseignement et de la recherche (cf. Tome 1 I.B.1.b.i)
DGPR :	Direction Générale de la Prévention des Risques (cf. Tome 1 I.B.1.b.ii)
DIRECCTE :	Directions Régionales des Entreprises, de la Concurrence, de la Consommation, du Travail et de l'Emploi (cf. Tome 1 I.B.1.c.ii)
DIRM :	Direction Interrégionale de la Mer (cf. Tome 1 I.B.1.c.i)
DML :	Délégation Mer et Littoral (cf. Tome 1 I.B.1.c.vi)
DO :	Directive « Oiseaux » (cf. Tome 1 II.F.1.a)
DOCOB :	DOCument d'OBjectifs (Natura 2000) (cf. Tome 1 II.F.1.a)
DPM :	Domaine Public Maritime (cf. Tome 1 II.A et II.B)
DPMA :	Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (cf. Tome 1 I.B.1.b.i)
DRAAF :	Directions Régionales de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (cf. Tome 1 I.B.1.c.ii)
DREAL :	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement et de la Nature (cf. Tome 1 I.B.1.c.ii)
DSF :	Document Stratégique de Façade (cf. Tome 1 II.F.1.b)
ICPE :	Installation Classée Pour l'Environnement (cf. Tome 1 II.F.4)
IFREMER :	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER (cf. Tome 1 I.B.3.b.i)
INRA :	Institut national de la recherche agronomique (cf. Tome 1 I.B.3.b.iv)
ITAVI :	Institut Technique de l'Aviculture (cf. Tome 1 I.B.3.b.iii)
OE :	Objectif Environnemental du PAMM (DSF) (cf. Tome 1 II.F.1.b)
OES :	Objectif Socio-Economique (DSF) (cf. Tome 1 II.F.1.b)
OFB :	Office Français de la Biodiversité
MNHN :	Muséum National d'Histoire Naturelle (cf. Tome 1 I.B.3.b.iv)

PAMM :	Plan d'Actions pour le Milieu Marin (cf. Tome 1 II.F.1.b)
PLU :	Plan Local d'Urbanisme (cf. Tome 1 II.F.10.b)
PNM :	Parc Naturel Marin (cf. Tome 1 II.F.5.b.i)
PN :	Parc National (cf. Tome 1 II.F.5.b.ii)
PNR :	Parc Naturel Régional (cf. Tome 1 II.F.5.b.iii)
RNCFS :	Réserve Naturelle de Chasse et de Faune Sauvage (cf. Tome 1 II.F.5.b.vii)
RN(N, R, V) :	Réserve Naturelle Nationale / Régionale / Volontaire (cf. Tome 1 II.F.5.b.v)
SCOT :	Schéma de COhérence Territorial (cf. Tome 1 II.F.10.b)
SDAGE :	Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (cf. Tome 1 II.F.3.a)
SFAM :	Syndicat Français de l'Aquaculture Marine et nouvelle (cf. Tome 1 I.B.2.b.ii)
SMEL :	Synergie Mer et Littoral (cf. Tome 1 I.B.3.c.i)
SMIDAP :	Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de Loire (cf. Tome 1 I.B.3.c.i)
SMVM :	Schémas de Mises en Valeur de la Mer (cf. Tome 1 II.F.10.b)
SRDAM :	Schéma Régional de Développement de l'Aquaculture Marine (cf. Tome 1 II.A.1)
SRM :	Sous-Région Marine (cf. Tome 1 II.F.1.b)
SSECM :	Schéma des Structures des Exploitations des Cultures Marines (cf. Tome 1 II.A.2)
SYSSAF :	Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français (cf. Tome 1 I.B.3.b.ii)
ZPS :	Zone de Protection Spéciale (cf. Tome 1 II.F.1.a)
ZSC :	Zone Spéciale de Conservation (cf. Tome 1 II.F.1.a)

ANNEXES

DESCRIPTION DES HABITATS DES CAHIERS D'HABITATS NATURA 2000

Tableau 46 : liste et descriptions partielles des habitats élémentaires marins (pour la description complète voir Bensettiti *et al.* 2004). Les * indiquent les habitats prioritaires²⁴².

Code hab. décliné	Intitulé Habitat	ATL	MED	Caractères discriminants
Eaux marines et milieux à marées				
1110	Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine	X	X	Submergés de façon permanente et jusqu'à la limite inférieure considérée (infralittoral) - sables et gravier
1110-1	Sables fins propres et légèrement envasés, herbiers de <i>Zostera marina</i>	X		Ces avant-plages ne sont que le prolongement sous-marin, jusqu'à 15 à 20 m, des plages intertidales (étage médiolittoral) des milieux à très haute énergie. Elles se trouvent généralement face aux houles dominantes. [...] Ce sable fin constitue un substrat très compact.
1110-2	Sables moyens dunaires	X		Cet habitat correspond à des sables moyens (médiane de 200 à 400 µm) caractérisés par leur mobilité en milieu très exposé. Ils se disposent sous la forme de bancs sableux siliceux, en linéaire de l'avant-plage, le long des littoraux dunaires [...] ou sous la forme de dunes hydrauliques (constituées de sables coquilliers) façonnées par les houles et les courants de marée, dans l'ensemble de l'étage infralittoral [...].
1110-3	Sables grossiers et graviers, bancs de maërl	X		Cet habitat se présente sous la forme de plaines, parfois immenses, dont certaines ceinturent les îlots rocheux, à partir de quelques mètres de profondeur et plus profondément (de 30 à 50 m). Les courants sont forts à modérés, ainsi que les courants de marée. Ce type d'habitat est très homogène et se caractérise par sa monotonie.
1110-4	Sables mal triés	X		Cet habitat est représenté par des sables fins dont la caractéristique est d'être mal triés. [...] Ces sables mal triés constituent un sédiment légèrement mixte où la fraction coquillière, représentée par de gros débris, peut être importante (20 %). Ils sont caractéristiques des avant-plages des côtes de la Manche et de la mer du Nord, jusqu'à 10 m de profondeur dans ces mers mégatidales.
1110-5	Sables fins de haut niveau		X	Bande de sable immergée jusqu'à environ 2,5 à 3 m de profondeur au maximum. Succédant aux plages émergées, elle constitue la « basse plage » et correspond à la zone d'hydrodynamisme maximum des plages. [...]
1110-6	Sables fins bien calibrés		X	Étendues de sable fin faisant suite en profondeur à la biocénose des sables fins de haut niveau ; le sédiment est généralement de granulométrie homogène et d'origine terrigène. La biocénose débute vers 2-2,5 m et peut atteindre la profondeur de 25 m, elle occupe parfois de très grandes superficies le long des côtes ou dans les baies larges.
1110-7	Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond		X	Cet habitat est constitué de sables grossiers pratiquement dépourvus de phase fine. Il s'étend le plus communément entre 3 à 4 m et 20 à 25 m de profondeur (localement jusqu'à 70 m de profondeur). Il se rencontre donc aux étages infra- et cirralittoral. Il est fréquent dans les passes entre les îles, où il est soumis à de fréquents et violents courants ; ceux-ci constituent le principal facteur nécessaire à son existence. [...]
1110-8	Sables grossiers et fins graviers brassés par les vagues		X	Cet habitat se trouve dans les criques qui entaillent les côtes rocheuses plus ou moins battues, il n'excède pas quelques décimètres de profondeur. Il apparaît sous la forme de plages de sables grossiers et de graviers.

²⁴² DIRECTIVE 92/43/CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages.

« Types d'habitats naturels en danger de disparition présents sur le territoire [européen des États membres où le traité s'applique] et pour la conservation desquels la Communauté porte une responsabilité particulière, compte tenu de l'importance de la part de leur aire de répartition naturelle comprise dans le territoire [européen des États membres où le traité s'applique]. »

1110-9	Galets infralittoraux		X	Plages de galets se rencontrant dans les criques des côtes rocheuses soumises à un fort hydrodynamisme. L'habitat ne s'étend pas profondément, jusqu'à quelques décimètres tout au plus ; sa limite inférieure correspond à la zone où la force des vagues est insuffisante pour rouler les galets.
1120	Herbiers à Posidonies (<i>Posidonium oceanicae</i>)*		X	Occupés par les herbiers à Posidonies en Méditerranée
1120-1	Herbiers à Posidonies*		X	<i>Posidonia oceanica</i> est une plante phanérogame endémique stricte de la Méditerranée, où elle constitue des herbiers caractéristiques de l'étage infralittoral (profondeur : de quelques dizaines de centimètres jusqu'à 30 à 40 m). Sur substrat dur ou meuble, ceux-ci constituent l'un des principaux climax méditerranéens. [...] Après l'enracinement, ses rhizomes constituent un lacis colmaté par du sédiment auquel on donne le nom de «matte» et dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs mètres.
1130	Estuaires	X	X	Milieux à salinité variable (hypohalin) soumis à des apports d'eau douce par les fleuves et rivières
1130-1	Slikke en mer à marées	X		L'habitat s'étend des limites supérieures des pleines mers de mortes-eaux (0 m) jusqu'aux limites inférieures des basses mers de vives-eaux (étage médiolittoral). [...]
1130-2	Sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes		X	Cet habitat s'étend dans l'étage médiolittoral et la partie supérieure de l'infralittoral. Les rives sont relativement stables, mais les fonds se modifient avec les violentes crues hivernales. Les sédiments sont formés de sables fins, sables vaseux et vases suivant le tracé du lit du fleuve. [...]
1140	Replats boueux ou sableux exondés à marée basse	X	X	Humectés par les embruns (supralittoral) ou recouverts à haute mer (médiolittoral)
1140-1	Sables des hauts de plage à Talitres	X		Cet habitat occupe la zone correspondant à la haute plage, constituée des sables fins qui ne sont humectés que par les embruns. Il s'agit d'un sable sec fluide, soumis à l'action éolienne, ou d'un sable plus ou moins compact voire bulleux.[...] Cette zone de laisses de mer est alimentée par des matières organiques d'origines diverses : végétaux d'origine marine (algues, Zostères...) ou terrestre (phanérogames ²⁴³ , troncs), organismes marins morts, [...] objets divers, biodégradables ou non, appelés communément macrodéchets.
1140-2	Galets et les cailloutis des hauts de plage à <i>Orchestia</i>	X		Cet habitat subit fortement l'influence de la marée et se trouve le plus souvent sous le vent des obstacles comme les affleurements rocheux ou les brise-lames. Il est composé essentiellement de galets des hauts de plage qui retiennent dans leurs intervalles des débris végétaux rejetés en épaves et qui conservent toujours une grande humidité. La zone n'est humectée que par les embruns et par le haut des vagues lors de tempêtes.
1140-3	Estrans de sable fin	X		Cet habitat se présente sous forme de vastes étendues sableuses de très faible pente où les houles déferlent [...]. À l'opposé, lorsque ces estrans relient des pointes rocheuses et sont d'étendue plus restreinte [...], la pente peut être plus accentuée [...]. L'estran passe par des alternances d'immersion et d'émersion en fonction du régime marégraphique. [...]
1140-4	Sables dunaires	X		Dans la zone intertidale, le courant de marée crée, des accumulations de sables de type dunaire où le drainage est intense. Ces sables mobiles peuvent être façonnés de ripple-marks de taille variable. [...] Ces dunes forment des reliefs sur les plages de sable fin uniformes ou apparaissent comme des zones d'accumulation dans les méandres de chenaux de marée.
1140-5	Estrans de sables grossiers et graviers	X		Vastes estrans composés de sédiments grossiers entre les archipels rocheux et champs de petits graviers encroûtés d' <i>Hildenbrandia</i> et de <i>Lithophyllum</i> dont la présence témoigne de la stabilité de l'habitat.
1140-6	Sédiments hétérogènes envasés	X		Cailloutis et galets des niveaux moyens qui retiennent dans leurs intervalles des débris végétaux rejetés en épaves. Sous ces petits blocs, le sédiment est envasé.
1140-7	Sables supralittoraux avec ou sans laisses à dessiccation rapide		X	Zone correspondant à la haute plage qui n'est humectée par la mer que pendant les tempêtes. Certaines surfaces échappent cependant à la submersion totale, mais reçoivent une forte quantité d'embruns provenant des déferlements des vagues en contrebas. La physionomie de la haute plage va d'un sable fluide sur sable compact à la présence de plaques salines plus ou moins humides sur sable bulleux. [...]

²⁴³ Végétaux présentant des organes de reproduction apparents (cône ou fleur). Les zostères ou les posidonies sont des phanérogames marines et non des algues, d'où l'usage du terme d' « herbiers ».

1140-8	Laiesses à dessiccation lent		X	Cet habitat correspond aux cordons de galets des hauts de plage qui retiennent dans leurs intervalles des débris végétaux rejetés en épaves et qui conservent toujours une grande humidité. Comme pour la biocénose des sables supralittoraux, la zone n'est humectée que par les embruns et par le haut des vagues lors des tempêtes. Dans les zones vaseuses telles que les schorres méditerranéens, l'habitat peut se trouver en sous-strate des peuplements de Salicornes (<i>Salicornia</i> , spp.). [...]
1140-9	Sables médiolittoraux		X	Cet habitat correspond à la moyenne plage, généralement étroite en Méditerranée. Cette zone passe par des alternances d'immersions et d'émersions par temps calme du fait des variations du niveau du plan d'eau (marées lunaires, marées barométriques, hydrodynamique). Elle est fréquemment mouillée par les vagues, même de faible intensité. L'amplitude verticale de la montée et de la descente des eaux peut être de l'ordre de quelques dizaines de centimètres, ce qui peut délimiter sur une plage des bandes de plusieurs mètres de large. [...]
1140-10	Sédiments détritiques médiolittoraux		X	Cet habitat correspond à la moyenne plage composée de graviers et de galets, étroite en Méditerranée. Ces galets retiennent dans leurs intervalles des débris végétaux rejetés en épave. La présence de banquettes de Posidonies (<i>Posidonia oceanica</i>) est possible. Cette zone passe par des alternances d'immersions et d'émersions par temps calme du fait des variations du niveau du plan d'eau. [...]
1150	Lagunes côtières*	X	X	Milieux à salinité variable (hypo- et hyperhalin) peu profonds et sans communication directe avec la mer ou avec une communication réduite ou sporadique
1150-1	Lagunes en mer à marées *		X	Ces étendues côtières d'eau salée correspondent le long des côtes basses à des zones humides ou des marais côtiers. Les échanges avec la mer se font soit par un étroit chenal que remonte la marée, soit, lorsque la lagune est fermée, par percolation sous un cordon de galets. Parfois, l'apport d'eau de mer ne se produit qu'aux grandes marées de vives-eaux et lors des tempêtes hivernales. [...] Dans tous les cas, l'eau doit, par moments, passer par des phases d'hyper-salinité (de son évaporation), condition nécessaire pour que l'on ne soit pas seulement en présence d'un marais saumâtre.
1150-2	Lagunes méditerranéennes*		X	Habitat présent au niveau des étangs littoraux salés, mais aussi dans certaines zones marines estuariennes, où l'eau est irrégulièrement dessalée et la température variable. Ces fluctuations se produisent dans des intervalles de temps allant de la journée à l'année. [...] Les organismes vivant dans cet habitat sont donc soumis à de fortes variations de salinité et de température d'où la présence d'espèces euryhalines et eurythermes. Le sédiment est généralement de type vaseux ou sablo-vaseux.
1160	Grandes criques et baies peu profondes	X	X	Submergés de façon permanente et jusqu'à la limite inférieure considérée (infralittoral) - sédiments envasés des milieux semi-fermés
1160-1	Vasières infralittorales		X	Cet habitat occupe les secteurs abrités des vagues et des houles, où les courants de marée sont très faibles. Il s'agit de milieux semi-fermés comme les rades ou les pertuis du littoral atlantique. Ils sont très mal représentés en Manche où les courants de marée sont toujours forts (système macrotidal). Soumis à une sédimentation active de matériaux fins, ces milieux restent néanmoins marins, la salinité sur le fond, même en hiver, n'étant pas inférieure à 30 PSU (milieu euryhalin). La variabilité thermique sur l'année est inférieure à 10 °C, ce qui correspond bien à la définition de l'étage infralittoral.
1160-2	Sables hétérogènes envasés infralittoraux. Bancs de maerl		X	Situé dans les milieux abrités à proximité des massifs rocheux, cet habitat est caractérisé par un substrat hétérogène constitué de trois fractions : graviers, sables et particules fines. De tels sédiments mixtes reflètent des actions hydrodynamiques inverses ou alternées avec apport d'éléments fins en période estivale et d'éléments grossiers en période hivernale. Les massifs rocheux participent activement à la production d'éléments grossiers et de coquilles mortes (moulières...). La présence de corallinacées libres (<i>Lithothamnium corallioides</i>) dans cet habitat constitue également une source d'éléments biogènes grossiers. [...]
1160-3	Sables vaseux de mode calme		X	Habitat situé dans les criques protégées, en milieu calme, où peut s'effectuer une sédimentation fine donnant un sédiment sablo-vaseux parfois mêlé d'une faible proportion de graviers. Sa profondeur n'excède pas 3 m ; elle est souvent limitée au 1 ^{er} mètre.
1170	Récifs	X	X	Faciès rocheux et récifs d'origine biogène (Hermelles, Coralligène)
1170-1	La roche supralittorale		X	Située entre la limite inférieure des végétaux terrestres comme les phanérogames halophiles et le niveau moyen des pleines mers de vives-eaux (PMVE), cette zone de contact entre la terre et la mer se trouve sous l'influence des embruns et n'est qu'exceptionnellement immergée.

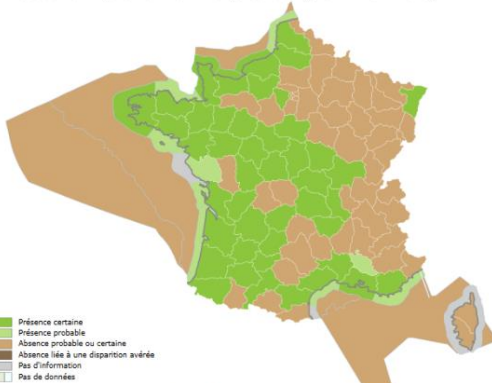
1170-2	La roche médiolittorale en mode abrité	X	Il s'agit typiquement de la zone de balancement des marées où les espèces subissent l'alternance quotidienne émergence/immersion, ce qui correspond à l'étage médiolittoral. Les espèces végétales sont réparties en ceintures dont la supérieure ne se retrouve immergée qu'à l'occasion des pleines mers de vives-eaux, tandis que l'inférieure est régulièrement émergée, lors de toutes les mortes-eaux. C'est le domaine des fucophycées, algues brunes, qui peuvent apparaître en ceintures continues ou plus généralement en mosaïque avec des «plages» de crustacés cirripèdes, les Balanes.
1170-3	La roche médiolittorale en mode exposé	X	En milieu très exposé, les Fucophycées disparaissent presque totalement au bénéfice d'espèces animales qui s'installent au niveau des fissures et anfractuosités du milieu. Elles occupent ainsi tout l'espace dévolu en mode abrité aux algues brunes, cet habitat prend alors le nom de « moulière ».
1170-4	Les récifs d'Hermelles	X	Le ver polychète <i>Sabellaria alveolata</i> (Linnaeus, 1767) construit un tube de sable et de fragments coquilliers fortement cimentés et agglomérés. Etant donné le mode de vie grégaire de cette espèce, les accolements des tubes forment des structures en nids d'abeilles. [...] Lorsqu'il ne s'agit que de structures en placage adossées à la roche, on ne peut pas parler de récifs. Ces récifs sont construits en dessous du niveau de la marée, en milieu moyennement battu, où les eaux sont très chargées en sable. Les colonies réagissent à l'hydrodynamisme et croissent plus modestement du côté battu par les vagues et les houles dominantes. [...]
1170-5	La roche infralittorale en mode exposé	X	Les zones infralittorales rocheuses de l'ensemble des mers froides et tempérées sont occupées par une forêt de grandes algues brunes désignées globalement sous le nom de « kelp ». Sur les côtes françaises, six espèces de laminariales occupent cet espace compris entre le 0 des cartes marines et environ – 30 m. [...] La frange supérieure de l'infralittoral découvre lors des basses mers de vives-eaux, c'est un espace de très forte turbulence qui peut limiter les Laminaires au bénéfice d'algues rouges. [...]
1170-6	La roche infralittorale en mode abrité	X	En mode abrité et semi-abrité, sur les fonds rocheux et de galets infralittoraux, la forêt de Laminaires voit la disparition des espèces de mode exposé au profit essentiellement de <i>Laminaria saccharina</i> . Celle-ci, présente de 0 à – 20 m, ne constitue cependant pas une véritable forêt dense comme il s'en développe en milieu exposé.
1170-7	La roche infralittorale en mode très abrité	X	En mode très abrité, les forêts de Laminaires diminuent notablement au bénéfice notamment d'espèces animales sessiles. Celles-ci sont d'autant plus abondantes et diversifiées que la turbidité est élevée, à condition toutefois que les films de particules déposées sur les substrats ne soient pas limitants pour les organismes vivants. Cet habitat ne dépasse généralement pas 10 m de profondeur, et la frange exondable est réduite.
1170-8	Les cuvettes ou mares permanentes	X	La topographie rocheuse peut être à l'origine de cuvettes de rétention d'eau de mer, de quelques décimètres à quelques mètres carrés. La flore et la faune y vivent submergées de façon permanente et sont ainsi peu affectées par le niveau marégraphique auquel ces mares sont situées. Cet habitat correspond donc à des enclaves écologiques.
1170-9	Les champs de blocs	X	Les champs de blocs apparaissent dans la zone intertidale, soit au pied de falaises rocheuses, soit en arc de cercle entre les pointes rocheuses. Ces blocs peuvent être retournés en milieu très exposé lors des tempêtes. Ils n'hébergent que des populations algales éphémères. Lorsqu'ils sont situés plus bas sur l'estran, mais aussi selon leur taille, ils peuvent offrir des conditions d'humidité et d'obscurité tout à fait propices à l'installation en dessous d'eux d'une faune très diversifiée, inhabituelle pour le niveau auquel ils se trouvent. [...] Le sédiment sous-jacent constitue un microhabitat supplémentaire participant à la diversité remarquable de cet habitat.
1170-10	La roche supralittorale	X	L'étage supralittoral est situé au-dessus du niveau de la mer. Il est humecté par les embruns et par les vagues lors des tempêtes. L'extension verticale de cette zone varie en fonction de l'hygrométrie, donc de l'hydrodynamisme local, de l'ensoleillement et de la pente de la côte. En mode calme ou abrité, elle ne dépasse pas quelques dizaines de centimètres (10 à 50 cm). Au contraire, en mode agité ou battu, sur des parois verticales, elle peut s'étendre sur plusieurs mètres (5 à 6 m). [...] Celui-ci est le plus souvent de couleur noirâtre du fait de la présence de lichens.
1170-11	La roche médiolittorale supérieure	X	En ce qui concerne les substrats rocheux, les potentialités biotiques de l'étage médiolittoral sont conditionnées par la fréquence des submersions. Celles-ci sont dues aux vagues, aux variations irrégulières du niveau de la mer en fonction de la pression atmosphérique et aux vents. [...] Suivant l'hydrodynamisme et la topographie locale, il peut s'étendre de quelques centimètres à 2 m.

1170-12	La roche médiolittorale inférieure	X		Les caractéristiques de l'horizon inférieur de la roche médiolittorale résultent de la conjonction de trois facteurs essentiels : présence de vagues, variations irrégulières de la pression atmosphérique et des vents et influence des marées, lorsqu'elles sont présentes. L'humectation, constante et plus forte que dans l'horizon supérieur constitue le facteur dominant, suivi par la lumière. L'amplitude de l'habitat, conditionnée par la morphologie du substrat, mais surtout par l'intensité de l'humectation, peut varier de quelques centimètres à 1 mètre.
1170-13	La roche infralittorale à algues photophiles	X		Cet habitat est situé dans l'étage infralittoral qui s'étend depuis la zone où les émergences ne sont plus qu'accidentelles jusqu'à la limite au-delà de laquelle les phanérogames marines et les algues photophiles ne peuvent plus survivre. Cette limite inférieure est conditionnée par la pénétration de la lumière, elle est donc extrêmement variable selon la topographie et la qualité de l'eau. [...] Tous les substrats rocheux de l'étage infralittoral où règnent des conditions de lumière suffisantes sont recouverts par des peuplements extrêmement riches et variés d'algues photophiles.
1170-14	Le Coralligène	X		La distribution du Coralligène est soumise à une combinaison de facteurs biotiques et abiotiques dont les principaux sont la lumière, l'hydrodynamisme, la température, la salinité, le dépôt de sédiments et les interactions biologiques. Le Coralligène se rencontre sur les parois rocheuses ou sur les roches où les algues calcaires peuvent constituer des constructions biogènes. [...] Les profondeurs moyennes de cet habitat se situent entre 40 à - 90 m. [...] L'ampleur des variations saisonnières de la température au niveau de cet habitat est variable. Si une certaine tolérance aux fluctuations de salinité a été observée, la sédimentation de particules fines se révèle, par contre, particulièrement néfaste.
1180	Structures sous-marines causées par des émissions de gaz	X		Structures sous-marines spectaculaires complexes, formées de blocs et de colonnes pouvant atteindre 4 mètres de haut. Elles résultent de l'agrégation de grains de sable par un ciment carbonaté se formant sous l'action de l'oxydation microbienne d'émissions de gaz, principalement du méthane. Ce méthane provient vraisemblablement de la décomposition de dépôts végétaux fossiles et s'échappe de manière intermittente des formations par les nombreux orifices qui les parsèment. Ces formations abritent un écosystème très diversifié, composé d'espèces richement colorées.
Habitats rocheux et grottes				
8330	Grottes marines submergées ou semi-submergées	X	X	Grottes marines immergées ou ouvertes à basse mer
8330-1	Grottes en mer à marée	X		Les grottes de l'étage médiolittoral sont creusées dans des falaises rocheuses de nature variée. Leur entrée émerge à basse mer, tandis que le fond des grottes peut rester immergé avec présence de grandes vasques ou de petites cuvettes la lumière restreinte et l'atténuation des conditions hydrodynamiques permettent la venue et la survie d'espèces sciaphiles (= ombrophiles) des étages inférieurs. [...] Les surplombs rocheux à l'abri de la lumière et de la dessiccation font également partie de cet habitat.
8330-2	Biocénoses des grottes médiolittorales		X	Les grottes médiolittorales correspondent à des fissures ou des porches de grottes partiellement émergées, ces dernières étant situées le plus souvent dans les systèmes karstiques ou volcaniques. [...] Dans les formations cavitaires émergées se développe une faune terrestre à base d'acariens, de pseudoscorpions et de chilopodes. La partie supralittorale et surtout médiolittorale qui leur font suite sont recouvertes d'algues encroûtantes. Les fissures ou les porches de grottes se caractérisent par des gradients de variabilité des facteurs ambiants essentiels dans la distribution des espèces ; ils se traduisent par une diminution de l'hydrodynamisme et de la lumière.
8330-3	Biocénoses des grottes semi-obscur		X	Tombants verticaux, surplombs, entrées de grottes et de tunnels. Cet habitat constitue la transition entre les fonds de substrats durs fortement concrétionnés où les algues calcaires jouent un rôle fondamental et les grottes obscures où l'environnement physique est très sélectif. Dans cet habitat, les facteurs tels que la lumière et l'hydrodynamisme sont réduits, ou linéaires, car canalisés pour les courants, ce qui entraîne une forte stabilité du milieu et une moindre représentation de certains groupes d'organismes.
8330-4	Biocénoses des grottes obscures		X	Cet habitat correspond à des cavités immergées de grande dimension, surtout présentes dans les réseaux karstiques ennoyés, des cavités de petite taille et des microcavités isolées dans les amas de pierres et au sein de certains concrétionnements. Les grottes obscures constituent des enclaves du domaine aphotique dans la zone littorale, en conséquence, elles présentent des conditions environnementales très originales. Les deux facteurs clés sont l'absence de lumière et le confinement. [...]

CARTES DE REPARTITION DES ESPECES NATURA 2000 (HORS ESPECES D'OISEAUX)

Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

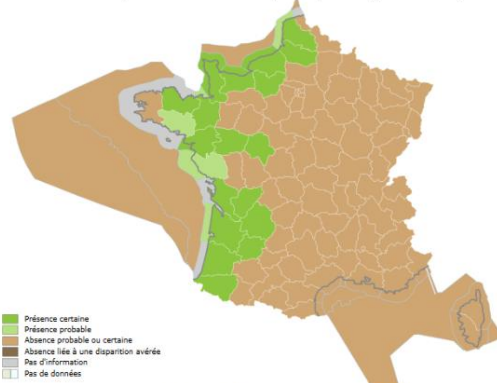
1095-Lamproie marine (*Petromyzon marinus*)



Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

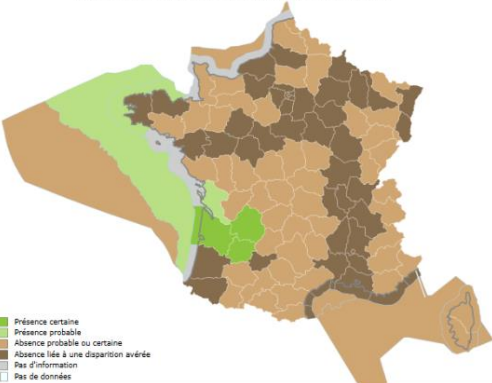
1099-Lamproie de rivière (*Lampetra fluviatilis*)



Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

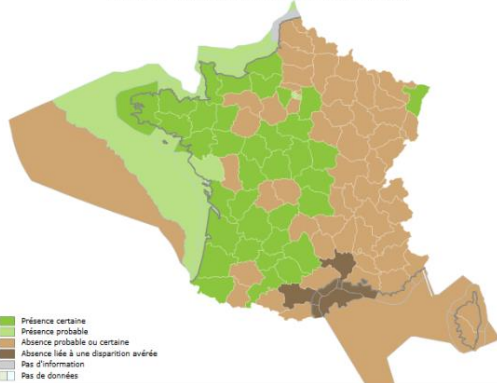
1101-Esturgeon (*Acipenser sturio*)



Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

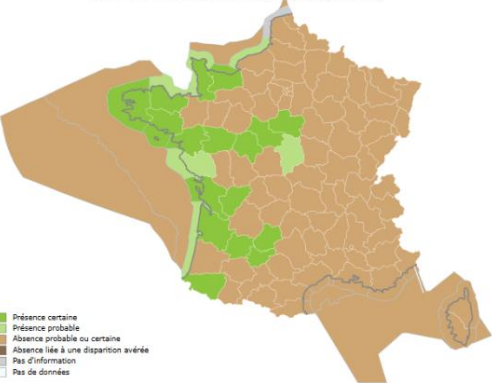
1102-Grande alose (*Alosa alosa*)



Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

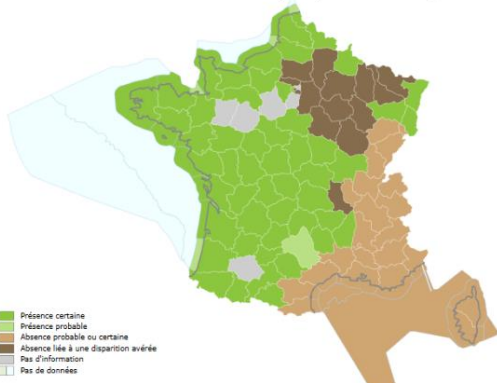
1203-Alose feinte (*Alosa fallax*)



Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

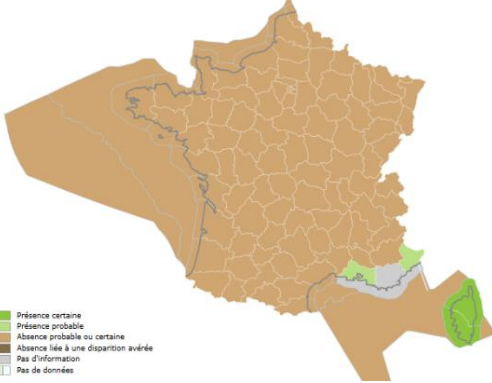
1106-Saumon atlantique (*Salmo salar*)



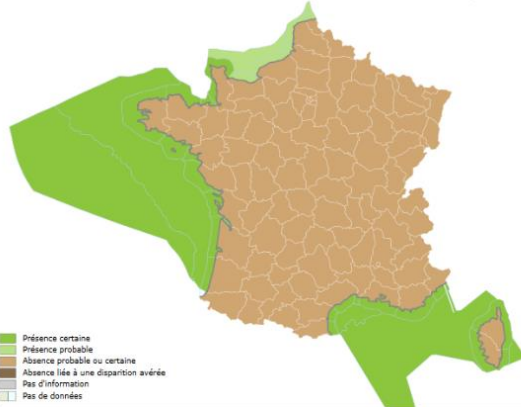
Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

Carte de répartition issue du programme Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins

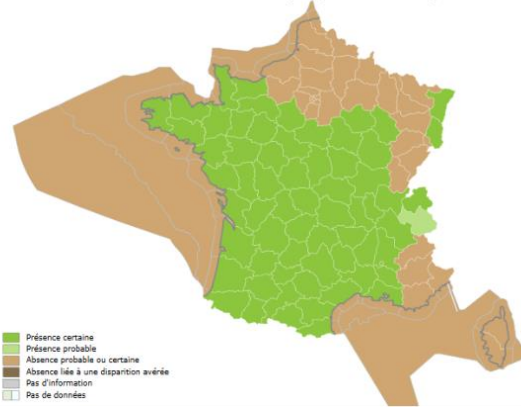
1152-Aphanius de Corse (*Aphanius fasciatus*)



1224-Tortue caouanne (*Caretta caretta*)



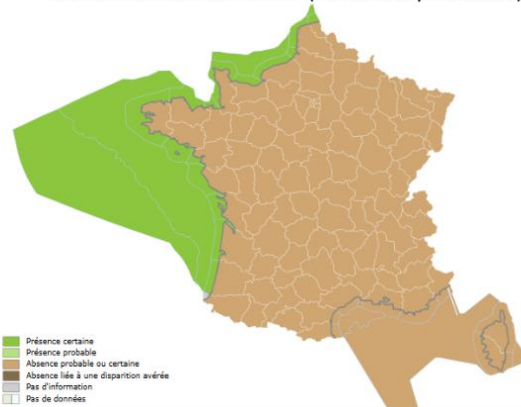
1355-Loutre d'Europe (*Lutra lutra*)



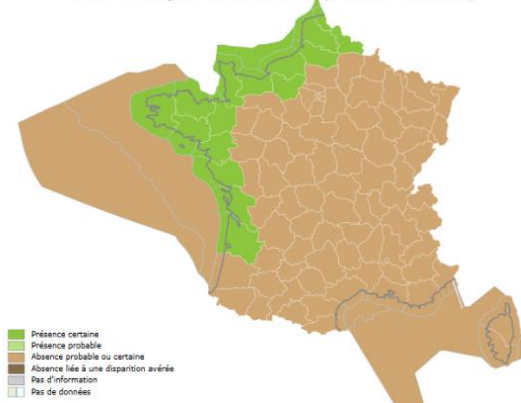
1349-Grand dauphin (*Tursiops truncatus*)



1351-Marsouin commun (*Phocoena phocoena*)



1365-Phoque veau marin (*Phoca vitulina*)



1364-Phoque gris (*Halichoerus grypus*)

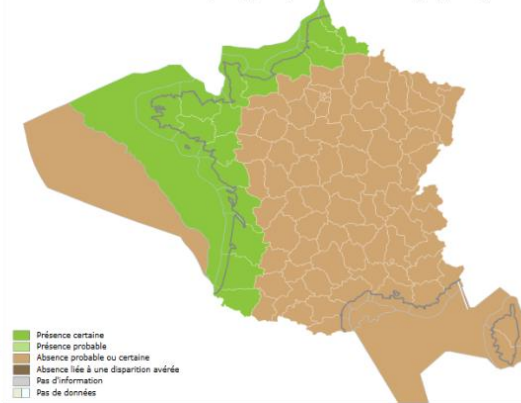


Figure 65 : cartes de répartition des espèces Natura 2000 (hors oiseaux) justifiant la désignation de sites du réseau Natura 2000 en mer (<https://inpn.mnhn.fr> - cartes téléchargées en février 2019).

**LISTE DES ESPECES D'OISEAUX MARINS DE LA DIRECTIVE « OISEAUX »
POTENTIELLEMENT CONCERNEES PAR LES ACTIVITES DE CULTURES MARINES.**

Tableau 47 : liste des espèces d'oiseaux composant les groupes définis dans l'arrêté du 9 septembre 2019 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines et aux normes méthodologiques d'évaluation. * Espèces inscrites à l'annexe I de la directive « oiseaux » (hors espèces migratrices).

Groupe d'espèces	Code N2000	Nom vernaculaire	Nom scientifique et auteur	
Oiseaux herbivores	A046	Bernache cravant	<i>Branta bernicla</i> (Linnaeus, 1758)	
	A048	Tadorne de belon	<i>Tadorna tadorna</i> (Linnaeus, 1758)	
Échassiers	A132*	Avocette élégante	<i>Recurvirostra avosetta</i> Linnaeus, 1758	
	A156	Barge à queue noire	<i>Limosa limosa</i> (Linnaeus, 1758)	
	A157*	Barge rousse	<i>Limosa lapponica</i> (Linnaeus, 1758)	
	A147	Bécasseau cocorli	<i>Calidris ferruginea</i> (Pontoppidan 1763)	
	A143	Bécasseau maubèche	<i>Calidris canutus</i> (Linnaeus, 1758)	
	A145	Bécasseau minute	<i>Calidris minuta</i> (Leisler, 1812)	
	A144	Bécasseau sanderling	<i>Calidris alba</i> (Pallas, 1764)	
	A149	Bécasseau variable	<i>Calidris alpina</i> (Linnaeus, 1758)	
	A148	Bécasseau violet	<i>Calidris maritima</i> (Brünnich, 1764)	
	A164	Chevalier aboyeur	<i>Tringa nebularia</i> (Gunnerus, 1767)	
	A161	Chevalier arlequin	<i>Tringa erythropus</i> (Pallas, 1764)	
	A165	Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i> Linnaeus, 1758	
	A162	Chevalier gambette	<i>Tringa totanus</i> (Linnaeus, 1758)	
	A168	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i> Linnaeus, 1758	
	A166*	Chevalier sylvain	<i>Tringa glareola</i> Linnaeus, 1758	
	A151*	Combattant varié	<i>Calidris pugnax</i> (Linnaeus, 1758)	
	A160	Courlis cendré	<i>Numenius arquata</i> (Linnaeus, 1758)	
	A158	Courlis corlieu	<i>Numenius phaeopus</i> (Linnaeus, 1758)	
	A131*	Échasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i> (Linnaeus, 1758)	
	A137	Grand gravelot	<i>Charadrius hiaticula</i> Linnaeus, 1758	
	A138*	Gravelot à collier interrompu	<i>Charadrius alexandrinus</i> Linnaeus, 1758	
	A130	Huitrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i> Linnaeus, 1758	
	A142	Pluvier argenté	<i>Pluvialis squatarola</i> (Linnaeus, 1758)	
	A141*	Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i> (Linnaeus, 1758)	
	A169	Tournepierrre à collier	<i>Arenaria interpres</i> (Linnaeus, 1758)	
	A142	Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i> (Linnaeus, 1758)	
	Oiseaux Marins de surface	A176*	Mouette mélanocéphale	<i>Ichthyaetus melanocephalus</i> (Temminck, 1820)
		A179	Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i> (Linnaeus, 1766)
A180*		Goéland railleur	<i>Chroicocephalus genei</i> (Brème, 1839)	
A181*		Goéland d'Audouin	<i>Ichthyaetus audouinii</i> (Payraudeau, 1826)	
A182		Goéland cendré	<i>Larus canus</i> Linnaeus, 1758	
A183		Goéland brun	<i>Larus fuscus</i> Linnaeus, 1758	
A184		Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i> Pontoppidan, 1763	
A186		Goéland bourgmestre	<i>Larus hyperboreus</i> Gunnerus, 1767	
A187		Goéland marin	<i>Larus marinus</i> Linnaeus, 1758	
A604		Goéland leucophée	<i>Larus michahellis</i> Naumann, 1840	
A189*		Sterne hansel	<i>Gelochelidon nilotica</i> (Gmelin, 1789)	
A190*		Sterne caspienne	<i>Hydroprogne caspia</i> (Pallas, 1770)	
A191*		Sterne caugek	<i>Thalasseus sandvicensis</i> (Latham, 1787)	
A192*		Sterne de Dougall	<i>Sterna dougallii</i> Montagu, 1813	
A193*		Sterne pierregarin	<i>Sterna hirundo</i> Linnaeus, 1758	
A194*		Sterne arctique	<i>Sterna paradisaea</i> Pontoppidan, 1763	
A195*	Sterne naine	<i>Sternula albifrons</i> (Pallas, 1764)		

A197*	Guifette noire	<i>Chlidonias niger</i> (Linnaeus, 1758)	
A009	Fulmar boréal	<i>Fulmarus glacialis</i> (Linnaeus, 1760)	
A010*	Puffin cendré	<i>Calonectris diomedea</i> (Scopoli, 1769)	
A011	Puffin majeur	<i>Ardenna gravis</i> (O'Reilly, 1818)	
A012	Puffin fuligineux	<i>Ardenna grisea</i> (Gmelin, 1789)	
A013	Puffin des Anglais	<i>Puffinus puffinus</i> (Brünnich, 1764)	
A384	Puffin des Baléares	<i>Puffinus mauretanicus</i> Lowe, 1921	
A464*	Puffin yelkouan	<i>Puffinus yelkouan</i> (Acerbi, 1827)	
A172	Labbe pomarin	<i>Stercorarius pomarius</i> (Temminck, 1815)	
A173	Labbe parasite	<i>Stercorarius parasiticus</i> (Linnaeus, 1758)	
A174	Labbe à longue queue	<i>Stercorarius longicaudus</i> Vieillot, 1819	
A175	Grand labbe	<i>Stercorarius skua</i> (Brünnich, 1764)	
A177	Mouette pygmée	<i>Hydrocoloeus minutus</i> (Pallas, 1776)	
A188	Mouette tridactyle	<i>Rissa tridactyla</i> (Linnaeus, 1758)	
A014*	Océanite tempête	<i>Hydrobates pelagicus</i> (Linnaeus, 1758)	
A015*	Océanite culblanc	<i>Hydrobates leucorhous</i> (Vieillot, 1818)	
A170*	Phalarope à bec étroit	<i>Phalaropus lobatus</i> (Linnaeus, 1758)	
A178	Mouette de Sabine	<i>Xema sabini</i> (Sabine, 1819)	
A171	Phalarope à bec large	<i>Phalaropus fulicarius</i> (Linnaeus, 1758)	
Oiseaux plongeurs benthiques	A063	Eider à duvet	<i>Somateria molissima</i> (Linnaeus, 1758)
	A064	Harelde boréale	<i>Clangula hyemalis</i> (Linnaeus, 1758)
	A062	Fuligule milouinan	<i>Aythya marila</i> (Linnaeus, 1760)
	A065	Macreuse noire	<i>Melanitta nigra</i> (Linnaeus, 1758)
	A066	Macreuse brune	<i>Melanitta fusca</i> (Linnaeus, 1758)
	A067	Garrot à œil d'or	<i>Bucephala clangula</i> (Linnaeus, 1758)
Oiseaux plongeurs pélagiques	A069	Harle Huppé	<i>Mergus serrator</i> Linnaeus, 1758
	A001*	Plongeon catmarin	<i>Gavia stellata</i> (Pontoppidan, 1763)
	A002*	Plongeon arctique	<i>Gavia arctica</i> (Linnaeus, 1758)
	A003*	Plongeon imbrin	<i>Gavia immer</i> (Brünnich, 1764)
	A005	Grèbe huppé	<i>Podiceps cristatus</i> (Linnaeus, 1758)
	A006	Grèbe jougris	<i>Podiceps grisegena</i> (Boddaert, 1783)
	A007*	Grèbe esclavon	<i>Podiceps auritus</i> (Linnaeus, 1758)
	A008	Grèbe à cou noir	<i>Podiceps nigricollis</i> Brehm, 1831
	A017	Grand cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i> (Linnaeus, 1758)
	A018	Cormoran huppé	<i>Gulosus aristotelis</i> (Linnaeus, 1761)
	A392*	Cormoran huppé de Méditerranée	<i>Gulosus aristotelis desmarestii</i> (Payraudeau, 1826)
	A016	Fou de bassan	<i>Morus bassanus</i> (Linnaeus, 1758)
	A199	Guillemot de Troïl	<i>Uria aalge</i> (Pontoppidan, 1763)
	A200	Pingouin torda	<i>Alca torda</i> Linnaeus, 1758
	A203	Mergule nain	<i>Alle alle</i> (Linnaeus, 1758)
A204	Macareux moine	<i>Fratercula arctica</i> (Linnaeus, 1758)	

DESCRIPTION DETAILLEE DES PRESSIONS RECENSEES PAR L'UMS PATRIMOINE NATUREL

Tableau 48 : catégories de pressions et leurs définitions détaillées. Les colonnes de gauche (en vert) correspondent aux intitulés présents dans l'annexe III révisée de la DCSMM. Les deux colonnes de droite correspondent aux travaux de l'UMS Patrimoine Naturel dont seule la partie relative aux pressions physiques est publiée (La Rivière *et al.* 2015). De ce fait, les parties grisées sont en cours de validation et peuvent être amenées à évoluer. Les codes entre parenthèses dans la 2nde colonne (catégories de pressions) font référence aux descripteurs qualitatifs d'état ou de pression de la DCSMM. Les codes dans la 4^e colonne correspondent à la classification des pressions de l'UMS Patrimoine Naturel. Pour les correspondances : « > » la catégorie de pressions DCSMM englobe la pression de l'UMS Patrimoine Naturel ; « = » la catégorie de pression DCSMM et la pression de l'UMS Patrimoine Naturel sont équivalentes.

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de Pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Corrè-pondance	Pressions UMS Patrimoine Naturel	Définitions UMS Patrimoine Naturel
Physique	Perte physique (due à une modification permanente du substrat ou de la morphologie des fonds marins ou à l'extraction de substrat) (D6 et D7)	>	Perte d'un habitat (M1)	Perte physique permanente d'un habitat marin existant au profit d'un habitat terrestre ou dulcicole. <i>Par définition, les habitats profonds sont considérés comme « non exposés » alors que tous les habitats côtiers sont considérés comme « très sensibles » (aucune capacité de résistance ni de récupération) à cette pression.</i> <i>Exemples de sources de pression: constructions; poldérisation.</i>
		>	Changement d'habitat (pour un autre type de fond marin) (M2)	Perte permanente du type d'habitat marin d'origine et création d'un habitat marin différent par modification du type de substrat (addition/exposition permanente de matériel de nature différente de celle qui compose le substrat d'origine) ou par modification de l'étagement. Dans le cas des habitats de substrats meubles, la modification du type de substrat est définie comme le changement d'une classe dans le diagramme modifié de Folk. Cette pression inclut la modification vers un substrat artificiel. <i>Exemples de sources de pression: rechargement de plages; constructions d'infrastructure altérant la dynamique sédimentaire; rejets de déchets industriels, eaux usées, ou dragage portuaire; récifs artificiels.</i>
	Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins (D6 et D7)	>	Extraction de substrat (M3)	Suppression de substrat, y compris des éléments biogéniques, qui expose du substrat de même nature que le substrat d'origine ou bien qui expose temporairement du substrat de nature différente mais qui permettra la recolonisation par les communautés d'origine. <i>Exemples de sources de pression: extraction de granulats; dragage portuaire.</i>
		>	Tassement (M4)	Compression verticale du substrat et écrasement des espèces vivant sur le fond. <i>Exemples de sources de pression: piétinement; pêche (casiers, à pied); passage d'engins.</i>
		>	Abrasion superficielle (M5)	Frottement limité à la surface du fond et pression sur l'épifaune et l'épiflore. Perturbation pour laquelle la perte de substrat est limitée ou nulle. <i>Exemples de sources de pression: pêche (dragues, filets calés de fond, casiers, chaluts de fond); ensouillage de câbles; plongée sous-marine; mouillage.</i>
		>	Abrasion peu profonde (M6)	Pénétration du fond jusqu'à 5 cm de profondeur et pression sur les espèces vivant dans les 5 premiers cm du substrat (meuble) ou décapage des substrats durs. Perturbation pour laquelle la perte de substrat est limitée ou nulle. <i>Exemples de sources de pression: pêche (dragues, filets calés de fond, casiers, chaluts de fond); ensouillage de câbles; plongée sous-marine; mouillage.</i>
		>	Abrasion profonde (M7)	Pénétration du fond à une profondeur supérieure à 5 cm et pression sur les espèces vivant dans le substrat (meuble) ou décapage des substrats durs. Perturbation pour laquelle la perte de substrat est limitée ou nulle. <i>Exemples de sources de pression: pêche (dragues, filets calés de fond, casiers, chaluts de fond); ensouillage de câbles; plongée sous-marine; mouillage.</i>
		>	Remaniement (M8)	Déplacement et réarrangement du substrat sans perte de matière. Cette pression ne concerne pas les substrats rocheux. <i>Exemples de sources de pression: ensouillage de câbles; tamisage; pose d'objets/ constructions sur le fond.</i>
		>	Dépôt faible de matériel (M9)	Addition de 5 cm maximum de matériel sur le fond. Cette pression inclut l'apport de matériel de même nature que le substrat d'origine; ou l'apport de matériel de nature différente si les caractéristiques de l'habitat en termes d'hydrodynamisme permettent d'éliminer le dépôt dans un délai court. <i>Exemples de sources de pression: aquaculture; extraction de granulats; clapage; rejets de dragage.</i>
		>	Dépôt important de matériel (M10)	Addition de plus de 5 cm de matériel sur le fond. Cette pression inclut l'apport de matériel de même nature que le substrat d'origine; ou l'apport de matériel de nature différente si les caractéristiques de l'habitat en termes d'hydrodynamisme permettent d'éliminer le dépôt dans un délai court. <i>Exemples de sources de pression: aquaculture; extraction de granulats; clapage; rejets de dragage.</i>

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de Pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Physique (suite)	Modification des conditions hydrologiques (D6 et D7)	>	Modification des conditions hydrodynamiques (M11)	Changement intervenant dans le régime des marées ou dans l'action du courant et des vagues d'une durée inférieure à un an. <i>Exemples de sources de pression: constructions (barrages, digues, récifs artificiels, dispositifs énergie renouvelable)</i>
		>	Modification de la charge en particules (M12)	Augmentation de la charge en sédiment ou matière organique (particulaire ou dissoute) de l'eau provoquant une modification de sa clarté et/ou un colmatage des organismes filtreurs, d'une durée inférieure à 1 an. <i>Exemples de sources de pression: aquaculture ; rejets de dragage ou de déchets, constructions et toutes les activités susceptibles de remettre du sédiment en suspension.</i>
		>	Modification de la salinité (P6)	Augmentation ou diminution de la salinité locale de l'eau entraînant un changement d'une catégorie de salinité telle que définie par Hiscock et al. (1996) OU Augmentation ou réduction de la salinité locale de l'eau hors de la fourchette normale de salinité du biotope / de l'habitat considéré, pendant un an. Les catégories de salinité (adaptées d'Hiscock, 1996) sont les suivantes : - Marine 30-40 ‰ - Salinité variable 18-40 ‰ - Salinité réduite 18-30 ‰ - Faible salinité < 18 ‰ <i>Cette pression peut être causée par des sources anthropiques telles que les rejets d'eau douce, saumâtre ou à l'inverse, hypersalée (rejets industriels, rejets de pompes à chaleur ou de stations de désalinisation, lavage de caves de sels). Cette pression peut également être causée par des modifications hydrologiques, par exemple des activités de dragage importantes si elles modifient l'halocline, ou la construction de barrages qui modifient les flux d'eaux douces et d'eaux salées. La pression peut être délimitée dans le temps et/ou l'espace selon les causes et l'environnement local.</i>
		>	Modification du pH (P7)	Réduction locale du pH de l'eau <i>Cette pression ne concerne pas les changements de pH à large échelle liés au changement climatique. Les causes d'une réduction locale du pH peuvent être des rejets d'eaux ayant un pH plus acide ou plus neutre que le milieu dans lequel ils sont déversés. L'acidification de l'eau peut provoquer de nombreux effets indésirables pour l'environnement : modification des caractéristiques d'oxydo-réduction du sédiment, modification de la disponibilité en nutriments, en oxygène, et de la teneur en CO2, et modification des propriétés de contaminants présents (naturellement ou pas) dans l'environnement. En conséquence notamment de la modification de la teneur en CO2 peuvent aussi apparaître des effets physiologiques sur les espèces, tels que des modifications du pH artériel de certaines espèces, l'hypercapnie, des modifications de l'activité photosynthétique, ou des dommages sur les organismes calcifiants.</i>
		>	Modification de la température (P5)	Augmentation ou diminution/réduction locale de la température de l'eau. <i>Cette pression ne s'applique que dans le panache thermique engendré par la source de pression. Elle ne concerne pas les changements de température à large échelle liés au changement climatique.</i>
Substances, déchets et énergie	Apports de sons anthropiques (impulsionnels, continus) (D11)	=	Emissions sonores (et vibrations) (P8)	Augmentation du niveau sonore au-dessus des niveaux naturels de bruit de fond. <i>Les émissions sonores au-dessus du niveau de bruit de fond naturel sont associées à des activités de construction, telles que le battage de pieux, ou à des phases opérationnelles (navigation, ferme éolienne...). La propagation du bruit peut se faire sur de longues distances (dizaines de kilomètres) (OSPAR).</i>
	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur) (D11)	>	Champs électromagnétiques (P9)	Modification des champs électromagnétiques. <i>Les sources de cette pression sont principalement des champs électriques et magnétiques localisés, associés à des câbles électriques opérationnels ou à des câbles de télécommunication. Ces câbles peuvent générer des champs électromagnétiques dont l'intensité est comparable ou supérieure à celle des champs électromagnétiques présents naturellement dans le milieu marin qui peuvent perturber et modifier le comportement de certaines espèces sensibles, notamment lors de phases de reproduction ou de nourrissage (OSPAR).</i>

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de Pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Substances, déchets et énergie (suite)	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur) (D11) (suite)	>	Modification de la température (P5)	Cf. ci-dessus dans "Modifications des conditions hydrologiques"
		>	Diminution de la lumière naturelle (P11)	Diminution de la lumière naturelle incidente, causée par des sources anthropiques (pontons flottants par exemple). <i>Si la modification de l'intensité lumineuse est plus que temporaire, cette pression peut mener à la pression perte d'habitat, par mortalité ou fuite des espèces sensibles, et changement de la composition faunistique et bactérienne des communautés benthiques.</i>
		>	Introduction de lumière artificielle (P10)	Augmentation de la quantité de lumière incidente par des moyens humains. <i>Cette pression concerne les apports directs de lumière, dus à des activités anthropiques, c'est-à-dire causés par des éclairages artificiels pour permettre par exemple un travail ou des activités de nuit : par exemple sur des structures lors de la construction ou d'opérations, équipements touristiques comme les promenades ou les pontons, éclairages sur les structures gazières ou pétrolières, ou encore la navigation et les pêcheries de nuit, voire même la réflexion nocturne des lumières côtières sur la mer via les nuages etc. Les lumières artificielles vont masquer les rythmes naturels de l'intensité lumineuse lunaire. Les effets écologiques sur l'habitat marin peuvent être une augmentation de la croissance algale et donc la modification des communautés, ainsi qu'une perturbation des processus biologiques d'espèces benthiques (direction, reproduction, recrutement, prédation, communication...) (OSPAR).</i>
	Apports de substances dangereuses (substances synthétiques, substances non synthétiques, radionucléides) – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques, phénomènes aigus (D8 et D9)	>	Contamination par les radionucléides (C4)	Introduction de radionucléides augmentant le débit de dose des organismes benthiques au-dessus du seuil de protection radiologique de 10 µGy/h en incrément du bruit de fond naturel. <i>La contamination par des radionucléides peut provenir de rejets d'installations nucléaires, et d'opérations terrestres ou marines.</i>
		>	Contamination par des éléments traces métalliques (ETM), métalloïdes et organo-métaux (C1)	Dépassement des seuils de concentration d'un ou plusieurs éléments traces métalliques, métalloïdes et/ou organo-métaux dans les compartiments pertinents (eau, biote ou sédiment), au-delà desquels il y a une probabilité non-nulle d'observer un effet toxique pour l'habitat. <i>Les principaux éléments métalliques préoccupants pour les sédiments marins sont : Cuivre, Zinc, et d'autres plus toxiques tels que l'Argent, le Cadmium, le Plomb, le Mercure, le Chrome, le Cobalt, l'Arsenic, le Nickel, le Zinc.</i> <i>Ces substances peuvent provenir d'apports terrestres, atmosphériques ou rejets directs en mer. Les composés organo-métalliques tels que les organo-étains (TBT et ses dérivés) peuvent être hautement persistants et une exposition chronique à des concentrations faibles peut avoir des effets biologiques négatifs, par exemple l'apparition d'un Imposex chez les mollusques gastéropodes.</i> <i>Les seuils de concentration existants sont par exemple les seuils EAC, les NQE, les ERL, les ERM, les PEL.</i>
		>	Contamination par hydrocarbures et HAP (C2)	Dépassement des seuils de concentration d'un ou plusieurs hydrocarbures et HAP dans les compartiments pertinents (eau, biote ou sédiment), au-delà desquels il y a une probabilité non-nulle d'observer un effet toxique pour l'habitat. <i>Les hydrocarbures sont émis dans l'environnement soit par des sources naturelles (suintements naturels de la roche, éruptions volcaniques, feux de forêt...), soit par des sources anthropiques.</i> <i>Les composés provenant de sources anthropiques peuvent être regroupés selon leur origine :</i> <i>- hydrocarbures pétrogéniques, issus d'une transformation lente de la matière organique présente dans des roches sédimentaires. L'émission anthropique de ces hydrocarbures dans l'environnement correspond par exemple à des déversements de pétrole, des marées noires, des ruissellements d'eaux de surface polluées par des débris de pneumatiques, par des huiles lubrifiantes etc.)</i> <i>- hydrocarbures pyrogéniques, issus de la combustion incomplète de la matière organique. Ces hydrocarbures d'origine pyrolytique sont par exemple produits par la combustion de charbon, de bois, de pétrole, d'ordures ménagères etc.</i> <i>Un grand nombre d'hydrocarbures, dont notamment la plupart des HAP, présente des propriétés mutagéniques, cancérigènes et de toxicité pour la reproduction.</i> <i>Les seuils de concentration existants sont par exemple les seuils EAC, les NQE, les ERL, les ERM, les PEL.</i>

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de Pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Substances, déchets et énergie (suite)	Apports de substances dangereuses (substances synthétiques, substances non synthétiques, radionucléides) – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques, phénomènes aigus (D8 et D9) (suite)	>	Contamination par composés synthétiques (C3)	<p>Dépassement des seuils de concentration d'un ou plusieurs composés synthétiques dans les compartiments pertinents (eau, biote ou sédiment), au-delà desquels il y a une probabilité non-nulle d'observer un effet toxique pour l'habitat.</p> <p><i>Les composés synthétiques peuvent provenir d'une grande variété de procédés industriels et de produits de consommation courante. Ils incluent les phénols, les phtalates, les composés organochlorés (incluant les PCBs, le DDT et les dioxines), les retardateurs de flamme bromés, les composés perfluorés, les produits phytosanitaires et les produits biocides à usage non-agricole (insecticides, herbicides, rodenticides et fongicides), les produits pharmaceutiques (médicaux ou vétérinaires) et les produits cosmétiques et d'hygiène corporelle.</i></p> <p><i>Il existe une grande variété de structure, composition, persistance environnementale et toxicité pour les organismes non-cibles.</i></p> <p><i>Les seuils de concentration existants sont par exemple les seuils EAC, les NQE, les ERL, les ERM, les PEL.</i></p>
		>	Introduction de substance à caractère visqueux (C5)	<p>Recouvrement d'espèces ou d'habitats par des substances visqueuses (généralement hydrophobes), comme les huiles, les paraffines ou les hydrocarbures.</p> <p><i>Cette pression ne concerne que les habitats et espèces en contact avec la surface de l'eau et pas les habitats subtidiaux.</i></p> <p><i>Les substances à caractère visqueux peuvent provenir de pollutions accidentelles telles que les déversements de pétrole.</i></p> <p><i>Les conséquences écologiques concernent le colmatage et l'étouffement du substrat et des espèces benthiques.</i></p>
	Apports de nutriments – sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques (D5)	>	Modification des apports en nutriments (C6)	<p>Dépassement des concentrations en un ou plusieurs nutriments par rapport aux concentrations de référence, et/ou déséquilibre des rapports molaires en nutriments (azote, phosphore, silice, fer...). Les concentrations de référence sont définies selon les seuils entre Moyen état et Bon état au sens de la DCE ou de la DCSMM.</p> <p><i>Les nutriments peuvent provenir de processus naturels tels que la décomposition de débris, la dissolution des roches, les apports fluviaux, ou atmosphériques, ou bien de sources anthropiques telles que les rejets industriels ou d'eaux usées, les ruissellements et lessivages de terres agricoles, volatilisation de l'ammoniac ou rejets de l'azote oxydé (par le transport) ou encore les apports de l'aquaculture.</i></p> <p><i>Les nutriments peuvent être transportés par les courants et induire un enrichissement dans la zone réceptrice.</i></p> <p><i>Le dépassement des concentrations en un ou plusieurs nutriments, ou bien la modification de certains apports (par exemple par des barrages) peut mener à des déséquilibres des rapports en nutriments dans le milieu marin (tel que le rapport N/P/Si). Les effets écologiques potentiels incluent notamment l'eutrophisation du milieu (enrichissement par rapport à la situation naturelle), des blooms algaux et des changements de structure de communautés.</i></p>
	Apports de matières organiques – sources diffuses et sources ponctuelles (D5)	>	Modification des apports en matériel organiques (C7)	<p>Modification de la concentration en matière organique de l'eau par rapport aux concentrations caractérisant l'habitat.</p> <p><i>La matière organique peut provenir de la décomposition d'organismes (terrestres ou marins), de matière fécale d'animaux marins, de matière organique dissoute (ex. exsudats) ou colloïdale, de rejets industriels ou d'eaux usées, de déchets (domestiques ou industriels), de l'aquaculture, ou des ruissellements terrestres.</i></p> <p><i>L'enrichissement organique permet aux espèces profitant de l'apport accru de nourriture de coloniser les zones affectées et favorise notamment la présence de détritivores suspensivores ou dépositivores.</i></p> <p><i>L'enrichissement organique excessif peut induire un effondrement ou une modification significative de la communauté en place quand les apports de matière organique excèdent la capacité de l'environnement à l'absorber.</i></p> <p><i>Généralement, il y a accumulation de matière organique à la surface du sédiment, ce qui peut étouffer les organismes sessiles et épuiser les concentrations en oxygène dans le sédiment et parfois dans l'eau sus-jacente. Ceci induit un changement de la géochimie du sédiment et augmente l'exposition des organismes aux substances toxiques parfois associées à la matière organique.</i></p>
	Apports d'eau – sources ponctuelles (saumure, par exemple)	>	Modification de la salinité (P6)	Cf. ci-dessus dans "Modifications des conditions hydrologiques"
	>	Modification du pH (P7)	Cf. ci-dessus dans "Modifications des conditions hydrologiques"	

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de Pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Substances, déchets et énergie (suite)	Apports de déchets (déchets solides, y compris les déchets microscopiques) (D10)	=	Déchets solides (P4)	Apport d'objets manufacturés ou transformés (non-naturels) (par exemple : plastiques, métaux, engins de pêche abandonnés, bois, cordes, etc.) et leurs composés de dégradation (par exemple : microplastiques). <i>Les conditions hydrodynamiques (circulation des masses d'eau, fleuves), la présence d'activités maritimes (transport, pêches, aquaculture) et la distance aux grandes agglomérations côtières sont les facteurs explicatifs principaux de la présence de déchets en milieu marin.</i>
			Désoxygénation (C8)	Réduction de la concentration en oxygène dissous de l'eau en deçà de 2 mg/l pendant plusieurs jours. <i>La désoxygénation est la réduction des niveaux d'oxygène dans l'eau ou le substrat d'origine anthropique (certaines zones peuvent être naturellement désoxygénées par la stagnation/stratification des masses d'eau). La désoxygénation peut résulter de l'enrichissement nutritif ou organique (pressions C6 et C7, notamment lors de processus d'eutrophisation), des blooms phytoplanctoniques et/ou être liée à des actions anthropiques directes telles que le rejet d'eaux de ballast désoxygénées pour l'élimination des espèces non-indigènes. Les effets sur le benthos sont généralement identiques quelle que soit la source de cette pression.</i>
Biologique	Introduction d'espèces génétiquement modifiées et transfert ou translocation d'espèces indigènes	=	Transfert d'individus génétiquement différents d'espèces indigènes (B1)	Transfert/déplacement d'une ou plusieurs espèces indigènes et/ou introduction de populations d'espèces indigènes génétiquement modifiées ou génétiquement différents, hors de leur zone géographique. <i>La modification génétique peut être soit délibérée (par exemple introduction accidentelle ou délibérée d'individus d'élevage dans l'environnement, production de nourriture génétiquement modifiée) ou un sous-produit d'autres activités (par exemple mutations associées à une contamination par radionucléides). Le transfert d'espèces indigènes peut se faire via les eaux de ballast, ou sur la coque des bateaux, ou par imports de l'aquaculture par exemple. Les migrations d'espèces natives vers de nouvelles régions peuvent aussi introduire un stock génétique différent. Les conséquences écologiques de transfert d'espèces indigènes génétiquement différentes des populations locales sont notamment la compétition avec les populations locales de l'espèce, la modification des communautés de l'habitat d'accueil, et la possibilité d'hybridation entre des espèces similaires (ex : Spartina spp. et Mytilus spp.) (OSPAR)</i>
	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes (D2)	=	Introduction ou propagation d'espèces non-indigènes (B2)	Introduction directe ou indirecte d'une ou plusieurs espèces non-indigènes pouvant entrer en compétition avec les espèces indigènes OU il existe un potentiel important d'introduction d'espèce non-indigène. <i>Les eaux de ballast, l'encrassement des coques de bateaux, les ports et marinas, l'effet « relais » (par exemple avec des fermes éoliennes offshore) peuvent faciliter la propagation d'espèces non-indigènes. Cette pression peut également être associée à l'aquaculture, la mytiliculture ou la conchyliculture, à cause des stocks de semences importées ou des relâches accidentelles. Cette pression n'inclue pas le potentiel des espèces de se propager grâce à des structures fournissant un habitat adéquat à la colonisation. Une espèce non-indigène introduite peut avoir des effets néfastes pour l'environnement, notamment si elle devient envahissante (ce qui arrive parfois au bout de plusieurs dizaines d'années). Les effets écologiques néfastes sont par exemple l'altération des équilibres écologiques en place (notamment chaîne trophique), la modification des communautés (par prédation, concurrence...).</i>
	Introduction d'agents pathogènes microbiens	=	Introduction de pathogènes (B3)	Introduction de pathogènes microbiens (bactéries, fungi, virus, protozoaires) ou de métazoaires vecteurs de maladies dans une zone dans laquelle ils n'étaient pas présents naturellement. <i>L'introduction de pathogènes peut être causée par le rejet accidentel ou non d'eaux usées, non-traitées ou insuffisamment traitées (rejets de décharges, rejets de bateaux, d'eaux de ballast, lessivage de terres...). Elle peut aussi être liée à des activités d'aquaculture, avec l'apport d'individus contaminés, les rejets d'effluents, des individus échappés (OSPAR).</i>
	Disparition ou altération des communautés biologiques naturelles due à l'élevage d'espèces animales ou à la culture d'espèces végétales	=	Appauvrissement génétique de populations naturelles (B7)	Diminution et/ou augmentation de la représentation de certains allèles d'une ou plusieurs populations naturelles. Ou Modification des équilibres alléliques et génotypiques d'une ou plusieurs populations naturelles. <i>Les effets écologiques néfastes associés à l'appauvrissement génétique des populations animales (c'est-à-dire la surreprésentation ou sous-représentation de certains allèles dans le profil génétique de la population) ou végétales sont principalement une adaptabilité amoindrie face aux changements de l'environnement ; une diminution des systèmes de défense, immunitaires ou autres, exposant davantage les individus à l'agression des agents pathogènes ; un développement accru de l'expression des gènes délétères.</i>

Thème DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Catégories de Pressions DCSMM (Annexe III, tableau 2)	Correspondance	Pressions UMS Patrinat	Définitions UMS Patrinat
Biologique (suite)	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/ blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées (par la pêche commerciale et récréative et d'autres activités) (D3)	>	Prélèvement d'espèces cibles (B5)	Prélèvement d'espèces ciblées par une activité récréative ou commerciale, amateur ou professionnelle. <i>Cette pression concerne seulement l'aspect « biologique » du prélèvement direct et voulu de biote, et pas l'aspect mécanique (type abrasion). Les conséquences écologiques incluent le déséquilibre du maintien des populations, l'impact sur les réseaux trophiques à l'échelle de l'habitat, et sur la composition de la communauté (OSPAR).</i>
		>	Prélèvement d'espèces non-cibles (B6)	Prélèvement d'espèces benthiques non ciblées par une activité de récolte récréative ou commerciale, amateur ou professionnelle (ciblant une autre espèce). <i>Cette pression concerne seulement l'aspect « biologique » des prises accidentelles associées aux activités de pêche, et pas l'aspect mécanique (type abrasion). Les effets écologiques de cette pression incluent le déséquilibre du maintien des populations, l'impact sur les réseaux trophiques à l'échelle de l'habitat, et sur la composition de la communauté (OSPAR).</i>
	>	Mort ou blessure par collision/interaction (P2)	Blessure ou mortalité des espèces par collision avec des structures statiques ou mobiles. <i>Exemples de sources de pression: fermes éoliennes offshore, digues, barrages marémoteurs, infrastructures d'aquaculture, centrales hydroélectriques, phases de constructions portuaires, passage de bateaux etc...</i>	
	>	Obstacle au mouvement (P1)	Obstruction physique partielle ou temporaire aux déplacements des espèces benthiques et pélagiques, qu'ils soient locaux ou à large échelle (migration). <i>Exemple de sources de pressions : fermes éoliennes offshore, digues, barrages marémoteurs, infrastructures d'aquaculture...</i>	
	Perturbation des espèces (aires de reproduction, de repos et d'alimentation, par exemple) due à la présence humaine	>	Dérangement visuel d'espèces (P3)	Dérangement visuel des espèces pouvant entraîner une perturbation de leur cycle de vie (reproduction, nourrissage, repos...). <i>Exemples de sources de pression : pêche récréative ou professionnelle, pêche à pied, phases de constructions d'infrastructures, tourisme, véhicules sur les plages etc.</i>

Rédaction :

P. Ragot (Agence des aires marines protégées) (1^{re} version, 2009).

R. Coz (Office français de la biodiversité) (2^{de} version, 2020).

Appui technique :

Olivier Abellard (Agence des aires marines protégées) (1^{re} version, 2009).

Stéphanie Tachoures (Office français de la biodiversité) (2^{de} version, 2020).

Comité de suivi :

Un comité de suivi a été associé à l'actualisation de 2020, des échanges privilégiés ont été mis en place avec ses membres : CIPA, FFA, SFAM, CNC, CNPMEM et Ministères en charge de l'aquaculture et de l'écologie (DPMA et DEB).

Contributeurs :

Nous tenons à remercier les structures et personnes ayant contribué à l'élaboration de ce document :

OFB (C. Aulert, B. Guichard, M. La Rivière, J. Delavenne, V. Toison, M. Chevrier, M. Baron), Agrocampus (H. Le Bris), CEVA (B. Jacquemin), J.-P. Gueret (LPO), Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CNPMEM), Comité National de la Conchyliculture (CNC), Comités Régionaux de la Conchyliculture (CRC), Comité Interprofessionnel des Produits de l'Aquaculture (CIPA), Fédération Française d'Aquaculture (FFA) et Syndicat Français de l'Aquaculture Marine et Nouvelle (SFAM).

Pour citer ce document :

Coz R., Ragot P. (2020) Référentiel pour la prise en compte des activités de cultures marines dans la préservation de l'environnement marin. Tome 2. Interactions des activités de cultures marines avec le milieu marin – Avec focus sur les habitats et espèces Natura 2000. Office français de la biodiversité.



Actualisation réalisée avec le soutien de :



Direction générale de l'OFB

85 bis, avenue de Wagram - 75017 Paris
Tél. : 01 44 15 17 17

Site de Vincennes

« Le Nadar », Hall C 5, square Félix Nadar - 94300 Vincennes
Tél : 01 45 14 36 00

Site de Brest

16 quai de la Douane - CS42932 - 29229 Brest Cedex 2
Tél : 02 98 83 37 67