



NATIONS  
UNIES

EP

UNEP/MED WG.505/7



**PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR  
L'ENVIRONNEMENT  
PLAN D'ACTION POUR LA MEDITERRANEE**

7 avril 2021

Français

Original : Anglais

Réunion sur l'évaluation de la mise en œuvre des plans d'action nationaux et des évaluations, et sur les outils utilisés pour estimer la charge polluante provenant de sources diffuses

Vidéoconférence, 22-23 avril 2021

**Point 4 de l'ordre du jour : Examen des évaluations pour l'élaboration des nouveaux plans régionaux sur la gestion de l'agriculture, de l'aquaculture et des eaux pluviales**

**Pratiques aquacoles en Méditerranée et leur impact sur le milieu marin**

Pour des raisons environnementales et économiques, ce document est imprimé en nombre limité. Les délégués sont priés d'apporter leurs exemplaires aux réunions et de ne pas demander d'autres exemplaires.

PNUE/PAM  
Athènes, 2021

## Note du Secrétariat

La 21<sup>e</sup> Réunion des Parties contractantes à la COP 21 de la Convention de Barcelone (Naples, Italie, 2-5 décembre 2019) a adopté la Décision IG.24/10, qui a avalisé les principaux éléments en vue de l'élaboration/la mise à jour de six nouveaux Plans régionaux relatifs au traitement des eaux usées urbaines, à la gestion des boues d'épuration, à la gestion de l'agriculture, à la gestion de l'aquaculture, à la gestion des eaux pluviales, en plus de la mise à jour de l'actuel Plan régional sur la gestion des déchets marins en Méditerranée. La COP21 a également approuvé la marche à suivre proposant le calendrier en vue de l'élaboration, de la négociation et de l'adoption des six Plans régionaux. En ce qui concerne le Plan régional pour la prévention et la réduction des rejets de polluants dans la mer Méditerranée résultant de l'aquaculture, la Réunion a approuvé la soumission du nouveau Plan régional à la COP23 (décembre 2023). Dans le cadre de la préparation en vue de l'élaboration de ce Plan régional, le programme de travail et budget pour l'exercice biennal 2020-2021, qui a été adopté par la Décision IG.24/14, a mandaté MED POL au titre de l'activité 2.4.3.1(c) d'entreprendre une « évaluation de l'état et des impacts de l'aquaculture sur l'environnement marin ».

La présente évaluation, réalisée en coordination avec le Centre d'activités régional du Plan Bleu et avec son concours, donne un aperçu du secteur de l'aquaculture en Méditerranée ; de l'état des installations aquacoles et des pratiques actuelles en Méditerranée ; des incidences des principaux aspects du secteur de l'aquaculture en ce qui concerne les pratiques communes à l'aquaculture côtière et extracôtière ; des pratiques culturelles dans l'aquaculture côtière et extracôtière ; des mesures juridiques et institutionnelles en vigueur qui réglementent l'aquaculture côtière et extracôtière ; des meilleures techniques disponibles (MTD) et des meilleures pratiques environnementales (MPE) actuellement appliquées dans l'aquaculture méditerranéenne. L'évaluation fait le point sur le niveau actuel et potentiel de la mise en œuvre (ou de la non-mise en œuvre) des mesures proposées dans les principaux éléments du Plan régional sur la gestion de l'aquaculture, y compris des recommandations pour d'autres mesures et propositions complémentaires en vue d'améliorer les MTD et les MPE pour l'aquaculture côtière et extracôtière.

Cette Réunion devrait examiner ce projet d'évaluation pour étayer l'élaboration du nouveau Plan régional pour la gestion de l'aquaculture en Méditerranée, et fournir ses commentaires et contributions de fond, dans le but de soumettre le projet convenu à la réunion des points focaux MED POL en mai 2021 pour leur approbation et leur orientation sur la marche à suivre.

## Table des matières

1.	Vue d'ensemble du secteur de l'aquaculture en Méditerranée .....	1
2.	État actuel des pratiques et des installations aquacoles dans la Méditerranée .....	1
2.1	Pratiques couramment appliquées dans le secteur de l'aquaculture .....	1
2.2	Polluants et contaminants rejetés par les installations aquacoles côtières et extracôtières .....	2
2.3	Cadre réglementaire et mesures institutionnelles afférentes en Méditerranée .....	3
2.4	Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales couramment observées en Méditerranée .....	4
3.	Incidences d'aspects importants du secteur de l'aquaculture sur l'environnement marin méditerranéen .....	5
3.1	Pratiques communes à l'aquaculture côtière et extracôtière en Méditerranée .....	5
3.2	Pratiques de culture en aquaculture côtière .....	7
3.3	Pratiques de culture en aquaculture extracôtière .....	7
3.4	Mesures juridiques et institutionnelles en place pour la réglementation de l'aquaculture côtière .....	8
3.5	Mesures juridiques et institutionnelles en place pour la réglementation de l'aquaculture extracôtière .....	9
3.6	Meilleures techniques disponibles (MTD) et meilleures pratiques environnementales (MPE) actuellement appliquées dans l'aquaculture méditerranéenne .....	10
4.	Mesures proposées pour atténuer les incidences de l'aquaculture côtière et mesures recommandées pour l'amélioration .....	11
4.1	Adoption de pratiques alimentaires alternatives efficaces .....	11
4.2	Installation de bassins de décantation et de filtres .....	12
4.3	Optimisation des systèmes de décharge .....	12
4.4	Surveillance des valeurs limites d'émission de nutriments .....	12
4.5	Systèmes fermés à circuit recirculé .....	13
4.6	Installation de cultures intercalaires bleues (ex. : moules) .....	13
4.7	Réutilisation ou recyclage de l'eau à des fins d'irrigation .....	14
4.8	Traitement des éléments nutritifs provenant des effluents .....	14
4.9	Adoption de mesures permettant l'évaluation de l'impact sur l'environnement .....	14
4.10	Politique rigoureuse en matière de délivrance de permis pour les installations aquacoles .....	15
5.	Mesures proposées pour atténuer les incidences de l'aquaculture extracôtière et mesures recommandées pour l'amélioration .....	15
5.1	Définition de critères à respecter lors de la sélection des sites d'aquaculture .....	15
5.2	Planification de l'espace marin .....	15
5.3	Régimes de permis définissant les conditions opérationnelles .....	16
5.4	Pratiques alimentaires efficaces .....	16
5.5	Contrôle des rejets dans les sédiments et dans la colonne d'eau par la surveillance .....	16
5.6	Systèmes d'aquaculture à circuit recirculé .....	16
5.7	Prévention des évasions d'organismes aquatiques et d'agents pathogènes nocifs .....	17
5.8	Utilisation de nouveaux agents antisalissures, respectueux de l'environnement .....	17
5.9	Mouvement régulier des cages dans les sites aquacoles .....	17
5.10	Alternatives pour l'élimination et la réutilisation des abats .....	17
5.11	Mise en place de programmes de surveillance appropriés .....	18
6.	Proposition de mesures supplémentaires concernant les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour l'aquaculture côtière et extracôtière .....	18
6.1	Incidences sur le milieu benthique et nutriments .....	18
6.2	Gestion de l'eau .....	19
6.3	Maladies et parasites .....	19
6.4	Rejets chimiques : utilisation d'agents antisalissures écologiquement inoffensifs .....	19
6.5	Évasions et prévention des invasions par des espèces exotiques envahissantes .....	19
6.6	Lutte contre les prédateurs, les perturbations et les dégâts physiques .....	20
6.7	Alternatives pour l'élimination et la réutilisation des abats .....	20
7.	Conclusions et recommandations .....	20

### Annexe I:      Références

## Liste des abréviations / Acronymes

<b>ADH</b>	Acide docosahexaénoïque
<b>ADN</b>	Acide désoxyribonucléique
<b>AEE</b>	Approche écosystémique de l'aquaculture
<b>AEP</b>	Acide eicosapentaénoïque
<b>AMI</b>	Aquaculture multitrophique intégrée
<b>CB</b>	Convention de Barcelone
<b>CCPR</b>	Code de conduite pour une pêche responsable
<b>CE</b>	Commission européenne
<b>CGPM</b>	Commission générale des pêches pour la Méditerranée
<b>DCE</b>	Directive-cadre sur l'eau
<b>DCSM</b>	Directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin »
<b>EEE</b>	Espèces exotiques envahissantes
<b>EIE</b>	Évaluation de l'impact sur l'environnement
<b>ESE</b>	Évaluation stratégique environnementale
<b>EUMOFA</b>	Observatoire européen des marchés des produits de la pêche et de l'aquaculture
<b>FAO</b>	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
<b>FCR</b>	Indice de consommation des aliments
<b>GES</b>	Bon état écologique
<b>GIZC</b>	Gestion intégrée des zones côtières
<b>MED POL</b>	Programme pour l'évaluation et le contrôle de la pollution marine en mer Méditerranée
<b>MOP</b>	Matières organiques particulières
<b>MPE</b>	Meilleures pratiques environnementales
<b>MTD</b>	Meilleures techniques disponibles
<b>NID</b>	Nutriments inorganiques dissous
<b>NPK</b>	azote, phosphore, potassium
<b>NQE</b>	Normes de qualité environnementale
<b>NQE</b>	Normes de qualité de l'eau
<b>NQS</b>	Normes de qualité des sédiments
<b>OCDE</b>	Organisation de coopération et de développement économiques
<b>OD</b>	Oxygène dissous
<b>PCDA</b>	Profileurs de courant Doppler acoustique
<b>PE</b>	Planification de l'espace marin
<b>PNUE/PAM</b>	Programme des Nations Unies pour l'environnement / Plan d'action pour la Méditerranée
<b>PSE</b>	Programme de surveillance environnementale
<b>RCSF</b>	Réseaux de capteurs sans fil
<b>R-U</b>	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord
<b>SAC</b>	Systèmes d'aquaculture à circuit recirculé
<b>SAIMR</b>	Systèmes d'aquaculture multitrophique intégrée en circuit recirculé
<b>Sels Poly-AP</b>	Sels polymériques de 3-alkylpyridinium
<b>ST</b>	Sources terrestres
<b>TSS</b>	Total des solides en suspension
<b>UE</b>	Union européenne
<b>UV</b>	Ultraviolets
<b>VLE</b>	Valeurs limites d'émission
<b>ZAA</b>	Zones allouées à l'aquaculture

## 1. Vue d'ensemble du secteur de l'aquaculture en Méditerranée

1. La Méditerranée est une grande mer semi-fermée bordée par 22 pays, comportant deux bassins distincts, divisés par un canal étroit et relativement peu profond entre la Sicile (au nord) et la Tunisie (au sud). Le bassin occidental compte approximativement pour un tiers de la superficie de cette mer, le bassin oriental compte pour les deux tiers. Ce dernier a une salinité légèrement plus élevée que celle du bassin occidental, surtout à proximité du canal de Suez (Angel, 2013). Malgré son impressionnante biodiversité, sa biomasse est relativement peu élevée, principalement en raison de sa faible production primaire. La longueur totale des côtes méditerranéennes est d'environ 45 000 kilomètres. C'est une région très peuplée avec de nombreuses activités fort variées, notamment le tourisme, qui concurrencent fortement le secteur de l'aquaculture pour l'espace maritime (Cardia *et al.*, 2007).

2. Dans la région méditerranéenne, l'aquaculture joue un rôle majeur pour la sécurité alimentaire, la création d'emplois et la croissance économique, tout en réduisant la dépendance à l'égard des stocks sauvages, surexploités. L'aquaculture méditerranéenne connaît une croissance remarquable et constante depuis 1980, surtout depuis l'adoption des technologies modernes. L'aquaculture contribue à 47 % de la production totale de poisson (2016). La production aquacole totale (poissons, crustacés et mollusques élevés dans les eaux marines et saumâtres) est passée de 643 000 tonnes en 2000 à 1 144 000 tonnes en 2010, pour atteindre 1 575 000 tonnes en 2016. Les principaux pays producteurs sont la Turquie (31 %), la Grèce (25 %), l'Italie (24 %) et l'Espagne (7 %), lesquels contribuent ensemble à hauteur de 87 % de la production totale. En 2016, la production de poissons marins méditerranéens a atteint près de 334 000 tonnes, pour une valeur totale de 2 milliards d'USD. La Turquie est le pays qui tire de l'aquaculture le revenu annuel le plus élevé : 670 millions d'USD. Les principales espèces produites sont le bar commun (42 %) et la daurade (41 %). Ce secteur joue un important rôle socioéconomique pour les populations côtières, car il fournit plus de 313 000 emplois dans les pays de la Méditerranée et de la mer Noire (Bolognini *et al.*, 2019). Cette croissance rapide pose de graves problèmes, notamment en ce qui concerne son impact sur l'environnement des écosystèmes marins et côtiers et sur la biodiversité qui leur est associée.

## 2. État actuel des pratiques et des installations aquacoles dans la Méditerranée

3. Cette section présente l'état actuel des pratiques et des installations aquacoles en Méditerranée. Elle aborde également les pratiques courantes ; les polluants et les contaminants rejetés par les installations aquacoles côtières et extracôtières ; le cadre réglementaire et les cadres institutionnels afférents en Méditerranée ; les meilleures techniques disponibles et pratiques environnementales pour l'aquaculture côtière et extracôtière.

### 2.1 Pratiques couramment appliquées dans le secteur de l'aquaculture

#### Systemes de culture

4. Bolognini *et al.* (2019) ont classé les systèmes d'aquaculture méditerranéenne en fonction de leur degré d'intensification :

- a. **La culture de lagune** est une forme traditionnelle et extensive de pisciculture, originaire de la Méditerranée. Elle consiste à utiliser les lagunes côtières, les étangs salins et les grandes surfaces d'eau saumâtre dans les eaux de transition. Ce système se fonde soit sur le recrutement naturel d'alevins, soit sur l'ensemencement contrôlé d'alevins dans les écloseries, ainsi que sur la gestion de la circulation de l'eau à l'intérieur des canaux et des cordons des zones de culture. Des systèmes de capture permanente et des obstacles empêchent les poissons de regagner la mer. Ces systèmes sont typiques du nord de la mer Adriatique (par exemple, la « valliculture » saisonnière).
- b. **Les étangs terrestres**, qui sont pour la plupart des bassins de terre peu profonds où des systèmes modernes assurent l'approvisionnement en eau, servent à l'élevage du bar et de la daurade dans le sud de l'Espagne, en Italie et au Portugal. Bien que ces fermes présentent divers niveaux d'intensification et de tailles d'étang, il s'agit généralement de

systèmes semi-intensifs couvrant de grandes zones, dont chaque étang occupe une superficie allant d'un à plusieurs hectares.

- c. **Les systèmes de réservoirs terrestres** constituent une solution intensive pour la culture de poissons de grande valeur. La plupart des systèmes utilisés pour la production en écloserie sont des systèmes fermés à circuit recirculé, séparés de l'environnement externe par des filtres physiques et des drains. Ces mécanismes permettent de contrôler les paramètres de l'eau et les conditions environnementales, ce qui est d'une importance capitale pour la production d'œufs, de larves et de juvéniles. Le contrôle de la température libère l'activité des contraintes climatiques locales. En Méditerranée, les réservoirs terrestres sont surtout présents le long des côtes italiennes, et sont équipés de systèmes d'eau de mer à écoulement continu.
- d. **Les enclos de filets en mer** sont le système d'aquaculture le plus courant dans les eaux côtières et les eaux libres. Il consiste à poser de grands filets en forme de poche, ancrés au fond et maintenus à la surface par un cadre flottant rectangulaire ou circulaire. Ces enclos sont communément employés pour l'élevage de poissons dans les eaux côtières et libres, tels que le bar et la daurade et, dans une moindre mesure, la truite. L'ouverture de ce système de culture le rend vulnérable aux influences extérieures (pollution et impacts physiques) et le met en contact avec les écosystèmes marins sur lesquels il peut exercer ses propres pressions (produits chimiques, rejets d'effluents et de nutriments, propagation de pathogènes, etc.).

#### Composition en espèces

5. Les principales espèces de poissons élevées dans la région sont la daurade royale (*Sparus aurata*), le bar commun (*Dicentrarchus labrax*) et le mullet cabot (*Mugil cephalus*). La daurade et le bar sont principalement élevés dans des cages en filet dans les eaux côtières, alors que les mullets le sont généralement en étang.

## **2.2 Polluants et contaminants rejetés par les installations aquacoles côtières et extracôtières**

6. Les effluents de mariculture se composent principalement de matière organique et d'éléments nutritifs (provenant d'engrais, d'aliments pour animaux et du métabolisme) et de produits chimiques (provenant de produits thérapeutiques et de peintures antisalissures). Xinyan *et al.* (2020) ont décrit la composition et la source de ces polluants dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Composition et principales sources d'effluents de mariculture dans les systèmes en cage

<b>Composition</b>	<b>Source principale</b>	
Matière organique et nutriments	Carbone organique	Aliments non consommés, fèces
	Urée	Excrétions
	Acide urique	Excretion
	Azote (N)	Uneaten feed, feaces
Produits chimiques	Phosphore (P)	Uneaten feed, feaces
	Antibiotiques	Aliments non consommés, fèces et excréctions biliaires
	Pesticides	Uneaten feed, feaces and biliary excretion
	Parasitocides	Aliments non consommés, fèces, excréctions biliaires et colonne d'eau (bain)
	Algicides	Colonne d'eau (bain)
	Désinfectants	Water column (bath)
	Hormones	Uneaten feed, feaces and biliary excretion
	Zinc	Aliments, algicides et pesticides
	Cuivre	Peintures antisalissures, algicides et pesticides
Plomb	Peintures antisalissures	

## 2.3 Cadre réglementaire et mesures institutionnelles afférentes en Méditerranée

### Système PNUE/PAM-Convention de Barcelone

7. Le système PNUE/PAM-Convention de Barcelone est le cadre global institutionnel, juridique et de mise en œuvre adopté par les Parties contractantes pour une action concertée visant à réaliser la vision d'une mer et d'une côte méditerranéennes saines qui sous-tendent le développement durable dans la région. La Convention de Barcelone et ses sept protocoles constituent un cadre juridique multilatéral unifié et perfectionné pour la protection de l'environnement marin et côtier et pour l'utilisation durable de ses ressources en Méditerranée. Le Protocole sur les sources terrestres est extrêmement digne d'intérêt ; il propose « de prendre toutes les mesures appropriées pour prévenir, diminuer et éliminer dans toute la mesure possible la pollution de la mer Méditerranée par les sources et activités terrestres, par la réduction et l'élimination progressive des substances toxiques, persistantes et susceptibles de bioaccumulation figurant sur la liste du Protocole ».

8. Le Protocole sur la gestion intégrée des zones côtières est un autre document utile qui a été adopté par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone en 2008. En vertu de ce protocole, les Parties se sont engagées à mettre en place un cadre commun pour la gestion intégrée des zones côtières méditerranéennes et à prendre les mesures nécessaires pour renforcer la coopération régionale à cette fin. Ce Protocole vise à fournir un cadre dans lequel les pays peuvent mieux aménager et gérer leurs zones côtières tout en faisant face aux nouvelles menaces qui pèsent sur le littoral.

9. La mise en œuvre urgente de mesures à court, moyen et long terme est nécessaire afin de résoudre les problèmes auxquels l'industrie aquacole fait face actuellement, tels que la concurrence sur le marché, les questions environnementales, l'attribution de l'espace pour les exploitations aquacoles dans les zones côtières et la concurrence entre les différentes utilisations de l'espace et des ressources côtières. Dans ce contexte, la création de zones allouées à l'aquaculture doit être envisagée dans le cadre de ce protocole et dans le contexte de la gouvernance de la mer Méditerranée, en prévoyant une réglementation et/ou des restrictions pour chaque zone, conformément à leur adéquation aux activités aquacoles et aux limites de capacité de charge. La création de telles zones devrait se faire en suivant une approche multidisciplinaire et multipartite, en cohérence avec les principes de développement durable (Macias *et al.*, 2019).

### Directives techniques et stratégie de la FAO/CGPM

10. La FAO et la CGPM ont défini plusieurs stratégies et rédigé plusieurs directives, parmi lesquelles il faut noter le Code de conduite pour une pêche responsable, l'approche écosystémique de l'aquaculture, la planification de l'espace marin et les zones allouées à l'aquaculture.

### Réglementation de l'UE

11. L'aquaculture méditerranéenne est régie par plusieurs règlements de l'UE. Le règlement (UE) n° 1380/2013 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2013 relatif à la politique commune en matière de pêche, aux orientations stratégiques pour le développement durable de l'aquaculture dans l'UE (communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil et au Comité économique et social européen des régions, 2013) et le règlement (UE) n° 708/2007 du Parlement européen et du Conseil modifié par le règlement (UE) n° 304/2011 du 9 mars 2011 concernant l'utilisation d'espèces exotiques et d'espèces localement absentes en aquaculture sont du plus haut intérêt. La récente stratégie de l'UE « de la ferme à la table » établit plusieurs cibles conformes aux objectifs de développement durable, dont deux concernent l'aquaculture : i) réduire la vente d'antimicrobiens dans l'élevage et dans l'aquaculture de 50 % et ii) faire en sorte que 25 % du total des terres agricoles soient cultivées conformément aux principes de l'agriculture biologique.

### Directive-cadre sur l'eau (DCE) et Directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin » (DCSM)

12. La Directive-cadre sur l'eau vise à améliorer et à protéger l'état chimique et écologique des eaux de surface ainsi que l'état chimique et quantitatif des masses d'eau souterraine dans tout le bassin versant d'un bassin hydrographique. Cela concerne les rivières, les lacs et les eaux souterraines,

jusqu'aux eaux de transition (y compris les estuaires) et les eaux côtières. De son côté, la Directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin » vise l'atteinte du bon état écologique dans les eaux marines. Son champ d'application s'étend aux eaux côtières pour les aspects qui ne sont pas déjà traités par la Directive-cadre sur l'eau ou par d'autres législations communautaires (tels que l'état de l'environnement), ainsi qu'à l'ensemble des eaux territoriales des États membres sur lesquelles ils ont ou exercent des droits juridictionnels (article 3.1 de la Directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin »). Pour contribuer à l'atteinte du bon état écologique, onze descripteurs d'état ont été définis : biodiversité, espèces allogènes, pêche commerciale, réseaux trophiques, eutrophisation, intégrité du plancher océanique, conditions hydrographiques, contaminants (y compris dans le poisson et les fruits de mer), déchets et énergie sous-marine (telle que le bruit).

## **2.4 Meilleures techniques disponibles et meilleures pratiques environnementales couramment observées en Méditerranée**

### *Systèmes d'aquaculture à circuit recirculé*

13. Les systèmes d'aquaculture à circuit recirculé sont des installations aquacoles terrestres, extérieures ou intérieures, qui optimisent leur consommation d'eau en filtrant, en ajustant et en réutilisant l'eau. Par rapport à l'aquaculture traditionnelle en étang ou en eau libre, le circuit recirculé permet de contrôler les conditions de culture et de recueillir les déchets. En outre, l'aquaculture terrestre permet d'éviter que des poissons s'évadent et limite la transmission de maladies et de parasites avec l'extérieur. Le système à circuit recirculé promet une production alimentaire plus durable, avec des poissons plus sains, une moindre consommation d'eau douce et des distances de transport plus courtes, puisque les poissons peuvent être élevés plus près des marchés (EUMOFA, 2020). Le système actuel consiste généralement en i) des dispositifs permettant l'élimination des particules solides qui sont composées de fèces de poisson, d'aliments non consommés et d'amas bactériens ; ii) des biofiltres nitrifiants servant à oxyder l'ammoniac excrété par les poissons pour le transformer en nitrate ; iii) plusieurs dispositifs d'échange de gaz permettant d'éliminer le dioxyde de carbone dissous expulsé par les poissons et d'ajouter l'oxygène requis par les poissons et les bactéries nitrifiantes. En outre, le système à circuit recirculé utilise l'irradiation par les ultraviolets pour la désinfection de l'eau, l'ozonation et l'extraction de protéines pour le contrôle des microbes et des solides fins, et des systèmes dénitrifiants pour éliminer le nitrate (S. Goddek *et al.*, 2020).

### *Aquaculture multitrophique intégrée*

14. L'aquaculture multitrophique intégrée est l'une des voies les plus prometteuses pour l'évolution des systèmes d'aquaculture. Ce système se fonde sur une culture intégrée d'organismes aquatiques appartenant à des niveaux trophiques différents et complémentaires. Les déchets inorganiques et organiques des organismes aquacoles nourris (comme des poissons) sont assimilés par des espèces autotrophes (phytoplancton, macroalgues, plantes, etc.) et hétérotrophes (huîtres, moules, concombres de mer, etc.) co-cultivées avec les organismes nourris. Les systèmes multitrophiques intégrés sont conçus pour :

- a. réduire la dépendance aux intrants externes et augmenter l'efficacité du système en optimisant l'utilisation des nutriments et de l'énergie dans le cycle de production ;
- b. réduire les effets des effluents et des biodépôts en limitant la perte de nutriments (dans l'eau, dans les sédiments et dans l'air) ;
- c. diversifier les produits agricoles et générer une source de revenus plus stable (moins dépendante des marchés monoproduits) ;
- d. générer et exploiter différents types et niveaux de services écosystémiques.

15. En général, un système d'aquaculture multitrophique intégrée combine l'élevage d'organismes nourris (comme des poissons) avec une aquaculture reposant sur l'extraction des matières organiques en suspension (mollusques, etc.), en tirant avantage de l'enrichissement en petites matières organiques particulières, tandis que l'aquaculture extractive inorganique (algues, etc.) bénéficie de la disponibilité accrue de nutriments inorganiques dissous. En même temps, l'aquaculture reposant sur l'extraction de matières organiques déposées (oursins, concombres de mer, crustacés, polychètes, etc.) tire parti de

l'enrichissement en grandes matières organiques particulaires et des fèces et pseudo-fèces provenant des organismes qui se nourrissent de la matière en suspension. Au fond, la bioturbation et la minéralisation microbienne régénèrent plus de nutriments inorganiques dissous, qui sont rendus disponibles pour les algues (Chopin *et al.*, 2008).

### Technologie Biofloc

16. La technologie Biofloc est considérée comme une nouvelle « révolution bleue », puisque les éléments nutritifs peuvent être continuellement recyclés et réutilisés dans un même milieu de culture grâce à un échange sans eau ou à niveau d'eau minimum. Il s'agit d'une technique d'aquaculture écologique reposant sur la production de microorganismes *in situ*. Le biofloc est la croissance suspendue dans les étangs et réservoirs qui résulte de l'agrégation de matières organiques particulaires vivantes et mortes, de phytoplancton, de bactéries et de bactérivores. L'utilisation des processus microbiens dans l'étang ou dans le réservoir lui-même fournit des ressources alimentaires pour l'organisme élevé, tout en jouant en même temps le rôle de remède permettant de retraiter l'eau. Ainsi, ce système est également appelé « étangs à suspension active », « étangs hétérotrophes », voire « étangs de soupe verte ».

### **3. Incidences d'aspects importants du secteur de l'aquaculture sur l'environnement marin méditerranéen**

17. Outre les aspects importants relevés dans la section précédente, les incidences de ces aspects sont évaluées dans la présente section pour ce qui est des pratiques communes à l'aquaculture côtière et extracôtière ; des pratiques culturelles dans l'aquaculture côtière et extracôtière ; des mesures juridiques et institutionnelles en place pour réglementer l'aquaculture côtière et extracôtière ; des meilleures techniques disponibles et des meilleures pratiques environnementales dans l'aquaculture méditerranéenne.

#### **3.1 Pratiques communes à l'aquaculture côtière et extracôtière en Méditerranée**

##### Incidences des pratiques alimentaires, des aliments non consommés et des excréments

18. Une grande partie des aliments distribués aux poissons restent non consommés, un problème essentiellement dû à l'inefficacité des pratiques alimentaires. Les principales raisons en sont l'inadéquation de la ration et de la fréquence d'alimentation. Le poisson ne consomme pas l'aliment s'il est fourni en excès par rapport à sa capacité de consommation, si le pellet n'est pas détectable et si l'aliment est de qualité inférieure (solubilité élevée, mauvaise odeur, moindre digestibilité, etc.), ce qui donne un faible indice de consommation des aliments. La consommation d'aliments dépend également du comportement alimentaire des différentes espèces. Par conséquent, une bonne pratique d'alimentation est de la plus haute importance pour réduire au maximum la libération de nutriments dans le système. À l'heure actuelle, différents types de systèmes d'alimentation sont pratiqués : alimentation manuelle, mangeoires sous-marines autonomes et système d'alimentation automatisé télécommandé. Ces deux derniers systèmes libèrent moins de matière organique que le premier. Dans les élevages de thons, comme ceux-ci sont nourris de poissons entiers (de préférence huileux) tels que la sardine, l'anchois et le maquereau, l'eau autour des enclos est souvent recouverte d'une pellicule huileuse et émet une forte odeur, ce qui nuit à la qualité de l'eau.

19. D'après Xinyan *et al.* (2020), les plus importantes incidences négatives de la mariculture intensive sont celles corrélées à une charge en matière organique élevée (nutriments et solides). La matière organique contribue à la pollution par les éléments nutritifs, ce qui entraîne une hypoxie et une eutrophisation, causées par la croissance et la respiration des plantes aquatiques fertilisées. Une teneur importante en matière organique et en nutriments provoque une croissance excessive du phytoplancton, ce qui réduit la transparence de la colonne d'eau, nuit à la photosynthèse des plantes aquatiques et à l'équilibre entre productivité primaire et secondaire. Li *et al.* (2011) ont constaté que l'eutrophisation et une concentration élevée en matière organique entraînent une baisse de la concentration d'oxygène dissous dans la colonne d'eau, ce qui a pour effet de réduire les populations de poissons sauvages, entraînant à son tour des effets néfastes sur d'autres organismes aquatiques en

raison de la détérioration de la qualité de l'habitat. Ballester *et al.* (2017) ont souligné qu'en revanche, les aliments non consommés sont également exploités par les biocénoses responsables de l'encrassement biologique attachées aux structures des cages et par les poissons sauvages dans les eaux environnantes. Cela peut entraîner une agrégation de poissons et d'autres créatures trophiques autour des infrastructures de la cage, stimulant l'activité biologique. L'environnement benthique est également remarquablement affecté. Martinez *et al.* (2012) ont montré que l'enrichissement organique et nutritif peut aussi modifier la composition physicochimique des sédiments des fonds marins et altérer davantage l'abondance, la biomasse et la biodiversité des communautés benthiques. En raison de la diminution de la disponibilité en oxygène, une augmentation de l'accumulation totale de carbone organique dans les sédiments serait nocive pour le benthos. Au contraire, l'enrichissement en lipides dû à l'accumulation de granules alimentaires non consommées sur le fond marin fournirait des ressources nutritives qui favoriseraient la croissance des algues microbenthiques. (Xinyan *et al.*, 2020).

#### Incidences des médicaments/antibiotiques

20. Divers produits chimiques sont utilisés en aquaculture pour la désinfection et pour le traitement des épidémies. De plus, les produits pharmaceutiques et les nouveaux contaminants ne sont pas complètement éliminés pendant le traitement des eaux usées, ce qui fait que ces contaminants sont rejetés en grande quantité dans les plans d'eau de surface (Bodik *et al.*, 2016 ; Golovko *et al.*, 2014a, 2014b ; Yang *et al.*, 2017) lorsque les eaux usées sont réutilisées pour l'aquaculture. L'impact sur l'environnement des composés chimiques dépend de l'effet toxique du composé, de la sensibilité des agents pathogènes aux antibiotiques, des produits thérapeutiques et de la plage temporelle d'activité du produit chimique dans l'environnement. La plupart des médicaments sont des adaptations de produits employés dans l'élevage de la volaille ou du bétail ; leur éventuelle incidence sur le milieu marin n'a pas été entièrement étudiée (Illhan *et al.*, 2017). Comme les médicaments sont généralement administrés mélangés avec les aliments ou par bain, la plupart de ces traitements ont pour conséquence une libération directe de produits chimiques dans la colonne d'eau et dans les sédiments. De même, l'utilisation déraisonnée d'antibiotiques pour la gestion de la santé des poissons est l'un des principaux problèmes de l'aquaculture. Les antibiotiques non métabolisés sont souvent transmis à l'environnement aquatique par les aliments non consommés dans lesquels les antibiotiques ont été mélangés et par les fèces, lesquels sont consommés par les poissons ou par les filtreurs, ou passent dans les sédiments. Les différentes classes d'antibiotiques ont une demi-vie différente dans la colonne d'eau et dans les sédiments. Les incidences des matières bioactives sur l'environnement peuvent être classées comme suit : i) des substances à l'effet inhibiteur restent longtemps dans les tissus animaux ; ii) des substances à l'effet inhibiteur sont libérées dans l'environnement aquatique ; iii) apparition et transmission de gènes de résistance aux antibiotiques chez les microorganismes (Illhan *et al.*, 2017).

#### Incidences des métaux lourds

21. La concentration accrue en métaux lourds et en composés chimiques affecte la colonne d'eau adjacente et les sédiments du fond marin. Les métaux lourds accumulés sont incorporés dans plusieurs cycles biologiques et chimiques des sédiments benthiques. En outre, de fortes concentrations de zinc, de cuivre ou d'autres éléments métalliques sont toxiques pour la faune macrobenthique et pour les microalgues, qui sont des composantes essentielles de la chaîne alimentaire pour la production des zones de pêche naturelle (Xinyan, *et al.*).

#### Incidences du nettoyage des cages

22. Le nettoyage des filets est une opération très coûteuse, qui requiert beaucoup de main-d'œuvre. Selon les conditions locales et la saison, elle libère d'importantes quantités de déchets dans l'environnement. La libération dans l'environnement des particules de biosalissure est actuellement la norme pendant les opérations de nettoyage des filets ; elle présente cependant une multitude de risques, tels que la transmission des agents pathogènes associés aux poissons, les dégâts aux branchies et à la peau des poissons, les dépôts organiques et la contamination sous les exploitations piscicoles, et la propagation des espèces allogènes (Nina et Oliver, 2020).

### Incidences des agents antisalissures

23. Dans leur étude, Sampson *et al.* (2020) ont examiné les biocides, qui sont des substances actives conçues pour empêcher le dépôt, l'adhésion et la croissance d'organismes sur une surface peinte ; ils affirment que ces substances sont sans doute leur deuxième ingrédient le plus dangereux des agents antisalissures après le tributylétain, qui en est un composant essentiel. Après application, les peintures antisalissures percolent dans l'environnement marin, détruisant la vie aquatique, tuant les balanes et les autres organismes marins. Cela a abouti à leur interdiction totale, début 2008, à la suite d'une résolution signée par les autorités de nombreux pays.

### **3.2 Pratiques de culture en aquaculture côtière**

#### Incidences de l'installation des bassins de décantation et des filtres à tambour

24. Dans le système en étangs, la disposition des étangs ou bassins de décantation réduit l'espace pour les poissons, vu qu'ils prennent beaucoup de place. Dans le système à circuit recirculé, l'installation de bassins de décantation et de filtres à tambour améliore de façon remarquable l'efficacité du traitement des effluents. Mais le coût élevé de leur installation et de leur fonctionnement le rend peu attractif pour les petits producteurs.

#### Incidences du rejet des effluents d'eau

25. Les charges abondantes de déchets organiques, de nutriments et de produits chimiques dans les effluents sont rejetées dans les eaux réceptrices puis transportées dans la colonne d'eau, avant de se déposer sur le fond marin, ce qui a des répercussions sur la zone adjacente (champ proche) et au-delà (champ lointain). Ceci peut causer d'importants problèmes environnementaux et écologiques : baisse de la teneur en oxygène dissous (hypoxie), eutrophisation, pollution par les métaux lourds, destruction de l'habitat (Xinyang *et al.*, 2020). L'un des premiers problèmes pour la qualité de l'eau associés aux exploitations piscicoles méditerranéennes a été la présence d'une pellicule huileuse autour des cages. Ce phénomène était généralement causé par le grand pourcentage de poussières (granulés d'aliments pulvérisés) dans les aliments en poudre, non disponibles pour les poissons d'élevage ; ce qui entraîne des pertes considérables pour les éleveurs et une réduction de la qualité de l'eau (la croissance bactérienne stimulée épuise également l'oxygène dissous dans l'eau, qui est un facteur crucial) (Angel, 2013).

### **3.3 Pratiques de culture en aquaculture extracôtière**

#### Incidences de l'emplacement des cages, de leurs caractéristiques et de leur gestion

26. Cardia *et al.*, (2007) ont souligné qu'il convient de veiller à bien définir le site sur lequel les cages seront établies et d'assurer son adéquation en ce qui concerne i) sa vulnérabilité aux éventuelles tempêtes ; ii) les caractéristiques et la profondeur du fond marin ; iii) l'état habituel de la mer ; et iv) l'incidence visuelle. Un site vulnérable et un risque élevé de subir de fortes tempêtes exigeront des cages, des filets et des systèmes d'amarrage conçus pour résister à la force maximale enregistrée en cas de tempête. Si le site est quelque peu protégé, on pourra réduire le coût de l'investissement initial en simplifiant le système d'amarrage et en optant pour une structure plus légère. Les modèles submergés ou à faible incidence visuelle seront considérés en cas d'interactions négatives avec le tourisme côtier.

27. La profondeur de l'eau, combinée à la vitesse et à la direction moyennes du courant, peut déterminer la concentration des sédiments résiduels dans la zone entourant les cages. Les granulés d'aliments non consommés ont une densité plus élevée que les fèces : leur mouvement sera donc plus concentré. Si le courant est constant, plus le site sera profond, plus le mouvement sera important, tant pour les granulés non consommés que pour les fèces des poissons. Ainsi, un site peu profond devra utiliser des filets courts ; par conséquent, les volumes des cages seront plus petits que dans un site plus profond. Ceci aura également des répercussions sur l'empreinte de l'élevage, sur la conception de ses amarres et sur les inspections de plongée. Au cours de l'élaboration de tout projet, la profondeur de

l'eau devrait être étudiée sur une carte marine, puis correctement vérifiée au moyen d'une étude de terrain approfondie (Cardia *et al.*, 2015).

#### Incidences de l'évasion d'espèces allogènes

28. Angel (2013) a résumé les nombreux facteurs pouvant entraîner la perte du stock d'élevage : les tempêtes peuvent endommager les cages à filet ; les prédateurs (requins, dauphins, tassergals, phoques, etc.) peuvent déchiqueter les filets en tentant de manger les poissons qui y sont enfermés ; des erreurs humaines peuvent se produire, notamment lors du remplacement des cages à filet ou pendant la récolte ; les braconniers peuvent couper les filets pour attraper le poisson ; des navires peuvent entrer en collision avec les cages... Tous ces facteurs entraînent généralement le rejet de poissons d'élevage dans l'environnement alentour, ce qui entraîne des pertes financières pour l'aquaculteur et d'éventuels problèmes environnementaux suite aux interactions génétiques et écologiques des animaux évadés avec la faune sauvage. Étant donné que de nombreux pays méditerranéens n'exigent pas que les agriculteurs signalent les évasions, il n'existe pas de données fiables sur leur fréquence ; cependant, on suppose que les pourcentages d'évasion doivent être similaires à ceux rapportés en Norvège, variant entre 0 et 6 %. Daimont (1997) a fait remarquer qu'en plus de la « pollution » génétique du stock de gènes sauvages, les animaux évadés concurrencent également la faune sauvage pour l'habitat ou les ressources alimentaires ; de plus, il existe des cas de transmission de maladies des animaux d'élevage aux populations sauvages.

#### Incidences du rejet des effluents d'eau

29. Price *et al.* (2013) ont réalisé un examen détaillé de l'impact de la culture en cage sur l'environnement, et ont déclaré que, lorsque les fermes sont situées dans des eaux bien drainées, il n'y avait généralement aucun effet mesurable sur la qualité de l'eau à 30 mètres au-delà des cages. Des pointes de nutriments et une réduction de l'oxygène dissous sont parfois observées après les distributions d'aliments, mais peu de rapports font état de risques à long terme découlant de l'aquaculture marine pour la qualité de l'eau. En ce qui concerne les effets benthiques, les exploitations bien gérées peuvent présenter peu de perturbations ; lorsque des altérations chimiques sont effectivement mesurées, ces incidences sont généralement limitées à un rayon de 100 mètres des cages. Après la récolte, la récupération chimique du benthos est souvent rapide.

### **3.4 Mesures juridiques et institutionnelles en place pour la réglementation de l'aquaculture côtière**

#### Programmes de surveillance pour la mesure des polluants rejetés

30. Les critères de protection de l'environnement pour les exploitations terrestres sont couverts par la législation, qui exige une étude spéciale approuvée pour l'élimination des déchets, incluant des recommandations pour le traitement des effluents avant leur rejet. La procédure de traitement consiste en la filtration mécanique, la sédimentation, ainsi que la filtration et la désinfection biologiques (Papoutsoglou, 2000). Dans la pratique, le respect de toutes ces obligations réglementaires n'est pas idéal, peut-être dû à des lourdeurs administratives, à la diversité des informations requises et à la publication continue de nouvelles ordonnances réglementaires. Rosa et Marta (2011) ont souligné que le manque de continuité des actions politiques et économiques est le principal problème, qui met les pays en difficulté et génère de l'instabilité. Ce problème décourage les investissements dans l'aquaculture, car de nombreux projets progressent lentement.

#### Mesures réglementaires, dont les conditions de délivrance de permis pour les installations aquacoles côtières

31. Le cadre juridique régissant l'aquaculture et le nombre d'organismes et d'autorités participant au processus d'octroi de licences peuvent varier considérablement d'un pays à l'autre. Les exigences en matière de permis prennent généralement en considération la protection de l'environnement, la sécurité de la navigation, les règles de navigation, la protection des pêches commerciales, la protection de la santé publique, la protection de sites archéologiques et les activités touristiques. Elles tiennent également compte des conditions sociales, économiques et politiques existantes afin d'éviter de troubler la

tranquillité publique ou de gâcher des vues panoramiques, en prenant en considération l'usage local de la terre et les sensibilités environnementales publiques, tout en évitant les régions politiquement sensibles. Les organismes les plus couramment impliqués dans le processus de délivrance des permis sont les ministères des Pêches, de l'Environnement, de l'Aménagement du territoire et des Travaux publics, de la Marine marchande ou de la Navigation, de la Culture et du Patrimoine, de la Défense nationale, de l'Industrie et du Travail (Rosa et Marta, 2011).

### **3.5 Mesures juridiques et institutionnelles en place pour la réglementation de l'aquaculture extracôtière**

#### *Surveillance des polluants dans les sédiments et dans la colonne d'eau*

32. Dans le chapitre A de son annexe I, le Protocole sur les sources terrestres définit l'aquaculture comme étant un secteur d'activité qui exige clairement la délivrance d'une autorisation (c'est-à-dire d'un permis) pour les rejets de déchets résultant de cette activité, visée à l'article 6 de ce même Protocole. En outre, l'annexe II de ce Protocole définit clairement les caractéristiques de ces rejets et les caractéristiques du lieu de rejet et de l'environnement récepteur dont il faut tenir compte.

33. En ce qui concerne la surveillance des polluants provenant des activités aquacoles dans les sédiments et dans la colonne d'eau, il convient de noter que les Directives sur la surveillance ont été élaborées pour l'objectif écologique n° 5 du Programme de surveillance et d'évaluation intégrées de la mer et des côtes méditerranéennes (IMAP), aux indicateurs communs 13 : Concentration des principaux éléments nutritifs dans la colonne d'eau et 14 : Concentration en chlorophylle-a dans la colonne d'eau, ainsi que pour l'objectif écologique n° 9 de l'IMAP, aux indicateurs communs 17 : Concentration des principaux contaminants nocifs mesurée dans la matrice correspondante ; 18 : Niveau des effets de la pollution des principaux contaminants dans les cas où une relation de cause à effet a été établie, et 20 : Concentrations effectives de contaminants ayant été décelés et nombre de contaminants ayant dépassé les seuils maximaux réglementaires dans les produits de la mer de consommation courante. Ces directives ont été définies dans le but d'aider le personnel technique des laboratoires compétents IMAP des Parties contractantes à mettre en œuvre des pratiques de surveillance normalisées et harmonisées relatives à l'application des méthodes d'échantillonnage, à la conservation et au transport des échantillons, à la préparation et à l'analyse des échantillons de l'eau de mer, du biote et des sédiments, ainsi qu'à l'assurance qualité et à la communication des données de surveillance. Elles présentent un résumé des meilleures pratiques connues disponibles et utilisées dans la surveillance du milieu marin, en rassemblant des pratiques analytiques globales intégrées afin de garantir la représentativité et l'exactitude des résultats analytiques nécessaires à la production de données de surveillance à la qualité assurée.

#### *Mesures réglementaires, dont les conditions de délivrance de permis pour les installations aquacoles extracôtières*

34. Les mêmes conditions, ou presque, s'appliquent à l'obtention d'un permis pour l'aquaculture extracôtière. Le délai moyen pour la délivrance des permis est de 14 mois ; le délai jusqu'à la première vente est de 2,5 à 3,5 ans (Rosa et Marta, 2011).

35. Papoutsoglou (2000) a constaté que les critères suivants pour l'obtention d'un permis assurent un niveau satisfaisant d'installation et de gestion pour la protection de l'environnement : respect d'une certaine distance entre exploitations ; suffisance et permanence des courants d'eau de mer ; orientation correcte de l'axe principal des blocs de cages à filet par rapport aux courants d'eau présents ; bon amarrage des blocs de cages à filet ; détermination de la profondeur minimale de l'eau sous le fond des cages ; prise en charge scientifique pour l'exploitation et la gestion des exploitations ; limites de la relation entre la superficie occupée par les cages à filet et la production annuelle maximale ; limites de la densité de stockage ; distribution rationnelle des aliments (indice de consommation des aliments, technique de dispersion des aliments) ; enlèvement régulier de poissons morts ; surveillance régulière de la qualité de l'eau et des sédiments du fond, ainsi que des communautés benthiques de la région ; mesures sanitaires. Pour pouvoir louer le site et être autorisé à exploiter une ferme piscicole, une évaluation de l'impact sur l'environnement doit être soumise au préalable, ainsi que des informations

détaillées sur le mode de gestion de la production et une description des paramètres physiques, chimiques et biologiques du plan d'eau dans la zone spécifique (Papoutsoglou, 1996 ; Papoutsoglou *et al.*, 1996 ; Dagnino *et al.*, 1998). Malheureusement, la quasi-totalité des données nécessaires proviennent habituellement de sources publiées (si elles existent) plutôt que de programmes de mesure propres à un site. Par conséquent, l'effet de tous ces règlements n'est pas du niveau souhaité.

#### Planification de l'espace maritime

36. La planification de l'espace maritime a été cernée comme un instrument crucial pour l'allocation de l'espace entre ses différentes utilisations afin d'éviter les conflits entre ces différentes activités, et entre les activités et l'environnement. La planification de l'espace maritime intègre l'approche écosystémique pour équilibrer les objectifs socioéconomiques et environnementaux, conformément à la Directive établissant un cadre pour la planification spatiale maritime et à la Directive-cadre « Stratégie pour l'espace marin ».

37. Le PNUE/PAM a pris des initiatives remarquables pour appuyer la mise en œuvre des méthodes de l'aménagement du territoire maritime, telles que la coopération transfrontalière à cette fin, qui ont contribué à l'application de la Directive établissant un cadre pour la planification de l'espace maritime et du Protocole relatif à la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée (GISC) dans le cadre de la Convention de Barcelone. Ces actions, qui s'appuyaient aussi sur l'expérience de longue date du système PNUE/PAM dans la conception et la mise en œuvre d'outils pour la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée et des méthodes de la planification de l'espace maritime, ont aussi contribué à l'atteinte d'un bon état environnemental pour la mer et pour les côtes méditerranéennes. Les deux projets achevés, à savoir « Appuyer la mise en œuvre de la planification de l'espace maritime dans la région de la Méditerranée occidentale (SIMWESTMED) » et « Appuyer la planification de l'espace maritime dans la Méditerranée orientale (SUPREME) », méritent une mention spéciale à cet égard (PNUE/PAM, 2021).

### **3.6 Meilleures techniques disponibles (MTD) et meilleures pratiques environnementales (MPE) actuellement appliquées dans l'aquaculture méditerranéenne**

#### Apport benthique et nutritif à l'environnement marin en tant que résultat des pratiques alimentaires et des autres aspects opérationnels

38. Bien que les MTD et les MPE permettent de réduire considérablement l'apport benthique et nutritif, une petite partie atteint tout de même l'environnement marin. En outre, dans le cadre d'autres aspects opérationnels, le fait de déployer de nombreux instruments modernes (comme différents capteurs sous-marins, etc.) réduit ou entrave la libre circulation d'autres espèces, ce qui peut nuire à la biodiversité.

#### Systèmes à circuit fermé recirculé en aquaculture côtière et réutilisation ou recyclage de l'eau à des fins d'irrigation

39. Les installations à circuit recirculé ont tendance à être assez chères. Les coûts d'investissement sont élevés, et la technologie de recirculation consomme de grandes quantités d'énergie et doit être supervisée et gérée par une main-d'œuvre qualifiée. Les systèmes à circuit recirculé ont une longue histoire dans les environnements d'eau douce ; mais cette technologie doit encore prouver sa viabilité pour la production à grande échelle, en particulier en ce qui concerne les environnements d'eau salée. Ces systèmes ne garantissent pas le bien-être des poissons et plusieurs projets ont connu une mortalité de masse, due à des erreurs de conception ou à des difficultés techniques de recyclage de l'eau. Malgré les avancées technologiques de ces dernières années, il existe encore de nombreux risques associés aux opérations à circuit recirculé intensives et à grande échelle.

40. Dans les régions arides, où l'eau douce est rare, les eaux aquacoles usées sont une source d'eau alternative. L'irrigation au moyen des eaux usées de l'aquaculture peut altérer la diversité fonctionnelle et la composition de la biocénose microbienne du sol. Cela signifie que d'importants changements se produiraient dans l'environnement du sol (Chen *et al.*, 2021).

Utilisation d'agents antisalissures écologiquement inoffensifs pour le nettoyage des cages

41. Même si plusieurs composés ayant une action forte contre les bio-salissures typiquement produites par les microorganismes marins ont été découverts depuis 1995, on trouve peu d'informations faisant état de leurs essais sur le terrain. Par conséquent, il est nécessaire d'évaluer les plus efficaces de ces composés dans des essais sur le terrain pour déterminer le spectre de leur activité antisalissure, ce qui fournira des données cruciales pour les entreprises de revêtement marin. Compte tenu de ce que les métaux lourds et les biocides de substitution des organostanniques posent de plus en plus de problèmes écologiques, il faut étudier, avant toute commercialisation, la toxicité aiguë et chronique à l'égard des organismes non visés et la cinétique de dégradation des agents antisalissures puissants dans l'écosystème marin. Certains de ces composés (c'est surtout le cas pour les plus complexes d'entre eux) ne se décomposent que très difficilement dans le milieu marin et peuvent donner lieu à une bioaccumulation dans les organismes marins, ce qui entraînera des répercussions physiologiques à long terme dans la chaîne alimentaire. Il est tout aussi indispensable d'évaluer la toxicité des produits de dégradation de ces composés complexes afin de définir des directives permettant d'en faire un usage rationnel (Kai-Ling *et al.*, 2017).

Prévention des évasions et lutte contre les espèces exotiques envahissantes

42. Si elle n'est pas contrôlée très strictement, l'entrée d'espèces exotiques envahissantes dans l'environnement, même avec un très faible nombre d'individus initial, peut elle aussi engendrer un véritable massacre, entraînant de grandes pertes pour la biodiversité autochtone.

Réutilisation des abats de poisson comme engrais et rejets

43. La variabilité du contenu en engrais NPK peut créer de la confusion dans le choix des doses à appliquer et ne pas donner les résultats escomptés. En outre, si ces ingrédients proviennent de poissons morts ou malades, cela peut nuire à l'exploitation agricole.

**4. Mesures proposées pour atténuer les incidences de l'aquaculture côtière et mesures recommandées pour l'amélioration**

44. Les principaux éléments du Plan régional pour la gestion de l'aquaculture en Méditerranée (Décision IG.24/10) appellent à l'atténuation des incidences de l'aquaculture côtière par le recours à des méthodes telles que : l'adoption de pratiques alimentaires alternatives efficaces ; l'installation de bassins de décantation et de filtres ; l'optimisation des systèmes de décharge ; l'établissement de programmes de surveillance fondés sur les conditions océanographiques locales ; la mise en place de systèmes fermés à circuit recirculé ; l'installation de cultures intercalaires bleues ; la réutilisation ou le recyclage de l'eau à des fins d'irrigation ; le traitement des éléments nutritifs provenant des effluents ; l'évaluation de l'impact des installations aquacoles sur l'environnement ; la délivrance de permis pour les installations aquacoles. Ces mesures sont examinées plus en détail ci-dessous :

**4.1 Adoption de pratiques alimentaires alternatives efficaces**

45. Renforcer l'efficacité de l'alimentation implique d'optimiser la composition des aliments (digestibilité optimale) et la distribution des aliments afin d'obtenir la meilleure croissance possible et de réduire au maximum la production de déchets, le tout au coût le plus bas possible. Améliorer la distribution des aliments implique d'adopter le régime d'alimentation optimal, qui donne aux poissons en cage des aliments dans des portions appropriées et en respectant de bons intervalles de temps, afin d'optimiser la croissance et la santé et de réduire les rejets dans les eaux environnantes. Des systèmes avancés de distribution d'aliments existent, parmi lesquels des programmes d'alimentation informatisés et personnalisés pour chaque cage afin d'optimiser la distribution d'aliments aux poissons. Un autre perfectionnement consiste à utiliser des systèmes Doppler immergés (par exemple, le capteur à granules Doppler) qui détectent quand les poissons cessent de se nourrir (augmentation du flux de granules au fond des cages) et envoient un signal pour que les mangeoires automatiques cessent la distribution d'aliments. Un grand nombre des technologies précitées sont utilisées en Méditerranée (Angel, 2013), mais elles doivent devenir universelles.

46. De nombreuses améliorations ont été récemment apportées à la composition des aliments. Les aliments comportent des nutriments essentiels et des additifs alimentaires spécifiques (selon les ingrédients utilisés), tels que les acides aminés essentiels limitants (lysine, méthionine, thréonine, etc.), les acides gras essentiels (acide docosahexaénoïque, acide eicosapentaénoïque, etc.), les oligoéléments (ces éléments nutritifs essentiels étaient auparavant fournis par l'apport de farines de poisson et d'huiles de poisson de haute qualité) et, plus récemment, des enzymes alimentaires spécifiques (phytase, protéase, xylanase, etc.), des émulsifiants (dérivés de la lécithine, acide taurocholique, etc.), des acidifiants (acides organiques) et des prébiotiques et/ou des probiotiques, selon les espèces élevées (Huan *et al.*, 2018 ; Novelli *et al.*, 2017 ; Tacon, Hasan et Metian, 2011). On augmentera l'efficacité de l'alimentation en distribuant aux animaux des aliments améliorés au moyen d'un système moderne.

#### **4.2 Installation de bassins de décantation et de filtres**

47. Les systèmes à circuit recirculé éliminent les déchets solides par le biais de la sédimentation et de filtres à tamis (Ebeling et Timmons, 2012). Les bassins de sédimentation éliminent les particules les plus grosses (plus de 100 µm) alors que les particules les plus petites sont éliminées par des filtres à tamis. Bien que les systèmes à circuit recirculé puissent éliminer une grande partie des déchets solides par la sédimentation, cette technique n'est pas efficace pour éliminer du système les particules solides fines (Piedrahita, 2003), d'où la nécessité d'un filtre à tamis supplémentaire, complétant la sédimentation. En général, les filtres à tamis ou à billes flottantes ont une meilleure efficacité d'élimination des particules par rapport aux bassins de sédimentation, sans pour autant permettre une élimination totale de ces particules solides (Patterson, Watts et Timmons, 1999).

#### **4.3 Optimisation des systèmes de décharge**

48. Mise en place de systèmes de pipelines sous-marins : Plusieurs modèles d'évacuation ont été récemment imaginés (en plus de la décharge de surface) pour optimiser la dilution initiale des rejets, en particulier dans la zone de mélange. La décharge par des pipelines sous-marins offre une plus grande flexibilité pour atteindre cet objectif.
49. Détermination de la profondeur de mer appropriée : En règle générale, et en fonction de la vitesse du courant, la profondeur du filet de la cage ne doit pas dépasser un tiers de la profondeur du site et au moins 15 mètres doivent être laissés entre la base du filet et le fond de la mer (à marée basse), pour permettre une meilleure dispersion, plus large, des particules de déchets provenant des cages (Cardia *et al.*, 2015). Des modèles ingénieux sont maintenant disponibles pour trouver les meilleurs emplacements pour les fermes d'enclos à filet en fonction de la vitesse, de la profondeur, de la vitesse de chargement et d'autres facteurs qui permettent de réduire les incidences négatives sur le benthos. (Boyed *et al.*, 2020).
50. Installation de diffuseurs à l'extrémité des pipelines et des pompes : Les diffuseurs immergés permettent aux effluents d'être dirigés selon différents angles par rapport au débit ambiant afin de maximiser la dilution initiale. Les diffuseurs immergés multiports donnent une meilleure dilution que les sorties simples. Ils donnent un élan suffisant qui dilue la concentration le plus rapidement possible.
51. Amélioration des mesures de réduction pour la collecte des résidus huileux : Ce problème a été rapidement résolu : la plupart des aliments en granulés sont maintenant extrudés pour en améliorer l'intégrité et réduire la perte d'aliments, tandis que les poussières des aliments sont recueillies et recyclées (Angel, 2013). Il est également utile de conserver les aliments dans un endroit frais et pour une courte période (Susanne *et al.*, 2019).

#### **4.4 Surveillance des valeurs limites d'émission de nutriments**

52. De nombreux pays (Norvège, Australie, Royaume-Uni, etc.) ont adopté le concept de zone de mélange des effluents de mariculture. Cette zone est définie comme étant celle située immédiatement autour du système de culture en cages où les effluents se mélangent et se dispersent physiquement dans l'environnement alentour. Des valeurs limites d'émission et les normes de qualité

environnementale (normes de qualité de l'eau et normes de qualité des sédiments) sont établies dans la zone de mélange pour les principaux contaminants présents dans les effluents ; ces valeurs et normes s'appliquent à la qualité de l'eau respectivement au niveau de l'extrémité de la source ponctuelle et dans l'environnement récepteur. Une fois ces normes établies, des mesures de surveillance doivent également être mises en place pour évaluer la conformité de la mariculture. Ce concept peut être adopté pour concevoir un programme de surveillance fiable.

53. Dans leur étude, Xinyang *et al.* (2020) ont découvert que les techniques de surveillance des effluents de mariculture ont rapidement évolué à partir des techniques d'échantillonnage manuel traditionnelles (relevés de plongée visuels, etc.) pour couvrir des zones de surveillance de plus en plus grandes en utilisant des approches plus rentables et plus rapides (télé-détection, surveillance vidéo, etc.). Des réseaux de capteurs sans fil ont récemment été adoptés pour assurer une surveillance continue de la qualité de l'eau à de hautes résolutions spatiales et temporelles. Ces systèmes permettent d'installer un grand nombre de capteurs de qualité de l'eau autour du site de mariculture pour pouvoir surveiller de façon précise le taux d'oxygène dissous, la salinité, le total des solides en suspension, la température, le niveau d'eau et la teneur en azote ammoniacal. En outre, des relevés vidéo *in situ* sont utilisés pour surveiller les changements survenus dans les biocénoses benthiques du fait de la présence de la mariculture sans devoir recourir à un échantillonnage destructeur, ainsi que l'absorption des aliments par les poissons dans les cages de mariculture elles-mêmes. Le traçage biochimique (analyse des acides gras, signatures isotopiques stables et ADN de soja) et les indicateurs biologiques (macroalgues et groupe de protistes) sont également utilisés comme outils de surveillance efficaces pour le suivi des déchets de mariculture dans la colonne d'eau ou dans le système benthique.

#### 4.5 Systèmes fermés à circuit recirculé

54. On assiste à une amélioration technologique continue dans tous les aspects opérationnels des systèmes à circuit recirculé, que ce soit en ce qui concerne l'oxygénation du flux principal, les alternatives de biofiltration nitrifiantes, le contrôle des particules fines solides, l'ozonation, la dénitrification, le contrôle microbien ou l'efficacité énergétique. Des efforts ont été faits pour classer les biofiltres et enregistrer leurs performances afin d'aider les éleveurs et les concepteurs à concevoir leurs systèmes de façon plus fiable. Le bioréacteur à lit mobile, le bioréacteur à filtre à sable fluidisé et le bioréacteur à lit fixe sont des exemples de modèles de biofiltres de croissance attachés qui sont devenus la norme dans les exploitations commerciales modernes. Parmi les stratégies de contrôle des particules fines solides employées dans les exploitations modernes, on compte l'ozonation, l'écumage des protéines, la flottaison, la filtration par cartouches et la filtration par membranes. Le type le plus approprié de système à circuit recirculé dépend de l'espèce élevée, des aliments distribués, du volume de production, de la température et de facteurs locaux tels que l'accès à l'eau, les niveaux d'émissions, l'accès à la terre, les bâtiments et le chauffage (S. Goddek *et al.*, 2020). On recommande d'adopter le système à circuit recirculé moderne, doté de ces nouvelles technologies.

#### 4.6 Installation de cultures intercalaires bleues (ex. : moules)

55. La culture en parallèle d'espèces de capture bleues (espèces extractives) est une mesure efficace pour lutter contre les émissions de nutriments issues de la pisciculture, puisqu'elles absorbent les nutriments dans l'eau en filtrant ou en mangeant les nutriments liés aux particules (moules, huîtres, détritivores), ou en assimilant les nutriments dissous (algues), jouant ainsi le rôle de cultures intercalaires (Buck *et al.*, 2018 ; Troell *et al.*, 2009). Ces cultures peuvent être installées directement à côté des fermes piscicoles ou dans la même zone d'eau (définie différemment selon l'emplacement) pour obtenir un équilibre nutritif dans les émissions provenant de l'élevage piscicole. Les moules, les ascidies et les algues sont des cultures intercalaires courantes ; de nombreuses autres espèces ont également le potentiel de jouer ce rôle. Le nombre de cultures intercalaires peut être défini d'après des modèles d'équilibre de masse où la quantité d'azote et de phosphore libérée de la pisciculture est équilibrée par l'élevage d'espèces extractives conçues pour absorber une quantité correspondante d'azote et de phosphore (Susanne *et al.*, 2020).

#### **4.7 Réutilisation ou recyclage de l'eau à des fins d'irrigation**

56. L'aquaponie (ou systèmes d'aquaculture multitrophiques intégrés à circuit recirculé) est la meilleure des nouvelles technologies dans cette lignée qui associe l'aquaculture intégrée à la production végétale. Elle combine deux systèmes de production en recyclant l'eau d'aquaculture, riche en nutriments, dans des lits de cultures hydroponiques ordinaires. Tous les éléments nutritifs requis par les plantes sont fournis par les déchets des poissons, éliminant ainsi le besoin de recourir à des engrais. Les plantes nettoient l'eau des poissons, éliminant ainsi le besoin de changer leur eau. Il s'agit donc d'une technique permettant d'économiser de la main-d'œuvre et de réaliser des économies sur les travaux agricoles traditionnels tels que le labour.

57. L'eau des effluents peut également être utilisée pour irriguer des plantes. Malgré les avantages de cette dernière méthode, la forte concentration en ions dans les effluents d'aquaculture peut entraîner la salinisation du sol et la contamination des eaux souterraines (Beltrán, 1999 ; Miranda *et al.*, 2008). Par conséquent, l'utilisation de cette eau pour l'irrigation de pépinières d'espèces arborées pourrait être une meilleure alternative, afin d'éviter de tels problèmes dans les champs (El-Kady et Suloma, 2013). Liete *et al.* (2017) ont montré que les effluents d'aquaculture salins peuvent être réutilisés pour irriguer certaines espèces d'arbres (*Enterolobium contortisiliquum*), permettant une intégration réussie de l'aquaculture et de l'agriculture et réduisant l'impact d'une mauvaise évacuation des effluents sur l'environnement.

#### **4.8 Traitement des éléments nutritifs provenant des effluents**

58. Les exploitations à circuit recirculé utilisent un système biologique pour la gestion de l'azote dans le système de culture. Ce système utilise le procédé de nitrification pour convertir l'ammoniac toxique en nitrate, moins toxique (Avnimelech et Devoirdt, 2007). Deux types de filtres sont généralement disponibles aujourd'hui ; des recherches sont en cours pour en améliorer la qualité. Les filtres à pellicule fixe émergés comprennent des contacteurs biologiques rotatifs et des filtres d'entretien, tandis que les filtres à pellicule fixe immergés comprennent des filtres à lit fluidisé et des filtres à billes (Dauda *et al.*, 2014 ; Malone et Pfeiffer, 2006). Les biofiltres fournissent une surface sur laquelle peuvent se reproduire les microbes qui entrent en contact avec les eaux usées et qui transforment l'ammoniac toxique en nitrate (Ebeling et Timmons, 2012). Les filtres à fractionnement à lit granulaire ou en mousse pourraient également s'avérer être une meilleure option (Waller, 2001). Des systèmes à circuit recirculé pourraient être dotés de cette installation ; les recherches visant à l'améliorer pourraient être encouragées.

#### **4.9 Adoption de mesures permettant l'évaluation de l'impact sur l'environnement**

59. La FAO (2009) a procédé à un examen détaillé de l'évaluation et de la surveillance de l'impact de l'aquaculture sur l'environnement, et a résumé certaines des mesures utiles pouvant être prises pour renforcer l'évaluation de l'impact sur l'environnement. Il s'agit notamment : i) d'élaborer un document de synthèse propre à l'aquaculture, reprenant un examen de toutes les directives en matière d'évaluation de l'impact sur l'environnement ; ii) de définir de meilleurs critères de dépistage et directives sur la mise à échelle, plus uniformes ; iii) de rationaliser les procédures en matière d'évaluation de l'impact sur l'environnement ; iv) de faire en sorte que les petits producteurs ne soient pas désavantagés ou exclus, en réduisant les obstacles à l'entrée des petits producteurs dans l'aquaculture ; v) d'entreprendre une meilleure analyse des enjeux socioéconomiques. L'évaluation de l'impact sur l'environnement et l'évaluation stratégique environnementale peuvent également servir d'outils d'analyse efficaces. Des directives propres à chaque pays pourraient être élaborées à l'aide de toutes ces mesures ; leur mise en œuvre stricte, par le renforcement des capacités de toutes les parties prenantes, permettra d'obtenir un rapport convenable sur l'impact sur l'environnement, prêt pour la délivrance du consentement.

#### 4.10 Politique rigoureuse en matière de délivrance de permis pour les installations aquacoles

60. Au lieu de s'en tenir à de nombreuses obligations en matière de délivrance de permis, il y a une immense marge d'amélioration du cadre législatif en vue d'une meilleure contribution au développement de l'aquaculture dans la région. On pourrait élaborer un document de politique commune pour l'ensemble de la région. Les autorités locales pourraient se voir dotées de plus grands pouvoirs pour l'application très méthodique de toutes les lois ; on recommande une plus grande rationalisation pour l'ensemble de ces procédures. On pourrait renforcer les capacités de toutes les parties prenantes afin d'accélérer les procédures, de les simplifier et d'en permettre un suivi strict, ce qui, en retour, pourrait attirer un plus grand nombre d'investissements dans ce secteur.

#### 5. Mesures proposées pour atténuer les incidences de l'aquaculture extracôtière et mesures recommandées pour l'amélioration

61. Les principaux éléments du Plan régional pour la gestion de l'aquaculture en Méditerranée (Décision IG.24/10) appellent à l'atténuation des incidences de l'aquaculture extracôtière par le recours à des méthodes telles que : la définition de critères à respecter lors de la sélection des sites d'aquaculture ; l'application de la planification spatiale marine pour l'installation d'exploitations aquacoles ; la mise en œuvre de régimes de permis ; la mise en évidence de pratiques alimentaires alternatives efficaces ; le contrôle des rejets par la surveillance ; la conception de systèmes d'aquaculture multitrophiques ; la prévention des évasions d'organismes aquatiques nuisibles ; l'utilisation de nouveaux agents antisalissures plus respectueux de l'environnement (sans TBT, de préférence aussi sans cuivre) ; le mouvement régulier des cages dans les sites aquacoles ; l'encouragement d'alternatives pour l'élimination et la réutilisation des abats ; la mise en place de programmes de surveillance appropriés. Ces mesures sont examinées plus en détail ci-dessous :

##### 5.1 Définition de critères à respecter lors de la sélection des sites d'aquaculture

62. Il faut particulièrement tenir compte des éléments suivants : i) **la cartographie de l'habitat marin** : répartition des habitats marins et informations sur leur niveau de protection juridique et sur leur sensibilité à l'augmentation de la pollution organique ; ii) **les conditions océanographiques et la capacité de charge** : analyse des courants et des vagues, profils de température et de salinité, nutriments et teneur en chlorophylle ; iii) **l'interaction avec la pêche** : zones de pêche et interactions avec la faune sauvage ; iv) **l'incidence négative de la part des autres utilisateurs** : sources de pollution organique et chimique et autres risques, tels que les activités de transport maritime et les marées noires. Conformément à l'approche écosystémique de l'aquaculture, la capacité de transport écologique (ainsi que les aspects physiques, sociaux et productifs) joue un rôle crucial dans la sélection des sites aquacoles.

##### 5.2 Planification de l'espace marin

63. L'emplacement optimal de l'aquaculture en mer est un problème complexe pour la planification de l'espace marin, qui nécessite une planification globale (faisant la part des objectifs des secteurs existants comme des nouveaux), coordonnée (par une planification simultanée entre plusieurs secteurs émergents) et stratégique (optimisée au moyen d'une fonction objective, définie de manière analytique, tenant compte explicitement des objectifs) dans tout le paysage marin (E. Menera *et al.*). S. E. Lester *et al.* (2018) ont démontré et testé l'intérêt d'un modèle analytique de planification de l'espace marin qui détermine stratégiquement l'emplacement, la taille, et le type d'exploitations aquacoles extracôtières en tenant compte des diverses activités océaniques existantes et des enjeux environnementaux dans la baie de Californie méridionale, aux États-Unis, une région qui s'intéresse fortement au développement de l'aquaculture extracôtière, qui y est en même temps une source de préoccupations. Presque tous les pays méditerranéens ont commencé leurs propres procédures de planification de l'espace marin et en sont à différentes étapes de leur phase initiale. Ce type de modèle propre à une zone pourrait être renforcé.

### 5.3 Régimes de permis définissant les conditions opérationnelles

64. Dans le cadre des conditions de licence, le Programme de surveillance environnementale représente un outil important pour surveiller les éventuelles pollutions provenant d'une exploitation piscicole donnée. De cette façon, il sera immensément utile d'inclure toutes les conditions opérationnelles dans le régime de délivrance de permis en tant que Programme de surveillance environnementale en ce qui concerne la pollution chimique, le rejet de matière organique, l'altération visuelle des lieux pittoresques, la fuite de poissons, etc. Le modèle MOM (Modélisation et extension de la surveillance des exploitations piscicoles, Stigebrandt *et al.*, 2004) suivi en Norvège et le modèle Volledenvieder de l'OCDE sont des modèles appréciés pour le calcul des émissions de sources ponctuelles et pour la surveillance de l'environnement aquatique.

### 5.4 Pratiques alimentaires efficaces

65. Les aliments améliorés qui perdent moins d'éléments nutritifs dans l'eau et sont mieux assimilés par les poissons permettent de réduire le nombre de déchets et d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des aliments, ce qui profite à la fois à l'environnement et aux résultats bioéconomiques de l'exploitation. À peu près toutes les techniques modernes décrites ci-dessus pour accroître l'efficacité de l'alimentation en aquaculture côtière sont appliquées dans le cas de l'aquaculture extracôtière.

### 5.5 Contrôle des rejets dans les sédiments et dans la colonne d'eau par la surveillance

66. En plus des dispositifs de surveillance avancés mentionnés plus haut, plusieurs autres dispositifs sont disponibles aujourd'hui et peuvent être appliqués pour le contrôle des rejets. L'application de la télédétection à la surveillance de la mariculture se fait couramment à l'aide d'un réseau optique (ex. : Landsat Thematic Mapper, China-Brazil Earth Resources satellite (CBERS)-3/4, Sentinel-2A) et d'instruments spatiaux à radar (ex. : CosmoSkyMed, RADARSAT, Sentinel-1A). Ces techniques permettent de mesurer et de surveiller les paramètres de qualité de l'eau tels que la teneur en chlorophylle-a, les particules en suspension, la turbidité et les matières organiques dissoutes colorées à des échelles spatiotemporelles variables. Des profileurs de courant Doppler acoustique combinés à un profileur multi-paramètres à chute libre pourraient être utilisés pour surveiller les structures d'écoulement et les paramètres de qualité de l'eau tels que la conductivité, la température, la fluorescence, la turbidité et la concentration en oxygène dissous afin de faire ressortir l'éventuelle répartition des matières résiduelles (Xinyan *et al.*, 2020).

### 5.6 Systèmes d'aquaculture à circuit recirculé

67. Bela *et al.* (2020) se sont penchés sur l'application actuelle des techniques d'aquaculture multitrophique intégrée dans le secteur de l'aquaculture extracôtière, et ont constaté que les méthodes existantes pour la culture d'espèces extractives (algues et invertébrés) dans les zones côtières et abritées doivent être adaptées avec précision pour permettre aux opérations en mer de résister aux forces de traînée des courants forts, des vagues et de la houle typiques des environnements moins abrités. Bien qu'il soit probable que des taux de croissance plus élevés soient enregistrés à proximité des exploitations piscicoles en mer, il est également nécessaire de cerner les risques (sociaux, économiques, environnementaux...), de comprendre le rôle des espèces extractives dans la bioremédiation et de communiquer à ce sujet. L'introduction de l'intégration multitrophique dans les systèmes extracôtiers à utilisation multiple a le potentiel de fournir des organismes d'intérêt sur le plan commercial représentant différents niveaux trophiques, ainsi que divers services écosystémiques pouvant s'appuyer les uns les autres, et susceptibles de participer à la bioremédiation et à la protection de l'environnement marin, tout en offrant une voie durable pour la production alimentaire future tirée des océans. Des modèles fondés sur le mélange d'espèces propres au site doivent être élaborés pour rendre le système neutre dans le temps comme dans l'espace. Les éleveurs doivent choisir la bonne combinaison d'espèces, qui offre les plus grands avantages pour la localité. Cela nécessite une connaissance approfondie des conditions locales telles que la profondeur de l'eau, la topographie, les courants, les variations temporelles et spatiales dans les nutriments, la température, la salinité et les niveaux d'oxygène, ainsi que la congélation. (Susanne *et al.*, 2019).

## 5.7 Prévention des évasions d'organismes aquatiques et d'agents pathogènes nocifs

68. Plutôt que de tenter de protéger la population sauvage, il est plus logique d'appliquer une technique de confinement plus efficace, bien qu'il ne soit pas réalistement possible d'atteindre une prévention complète. Les dommages causés aux systèmes piscicoles par les tempêtes sont l'une des principales causes d'évasion ; l'emploi d'une norme fiable, comme pratiqué en Norvège (NS 9415 : exigences de conception et d'opération des exploitations piscicoles marines) est une approche prometteuse pour la réduction de ces risques. Les systèmes de cage submersibles conçus pour les conditions de haute mer, comme le système Sub-Flex et le système Ocean-Spar, sont une option permettant de réduire la contrainte mécanique exercée sur les cages à filet dans les environnements à haute énergie (Angel, 2013). La déclaration des évasions est également une autre mesure efficace, qui n'est pas pratiquée dans la région méditerranéenne. Toute législation ou directive à cet égard sera utile. Le traçage des poissons échappés à l'aide d'un marqueur moléculaire est également utile pour évaluer leur incidence. Les systèmes fermés ou semi-fermés sont évidemment utiles.

## 5.8 Utilisation de nouveaux agents antisalissures, respectueux de l'environnement

69. La synthèse de nouveaux composés efficaces et respectueux de l'environnement à partir de ressources naturelles a pris de l'ampleur en raison de l'interdiction du tributylétain et des autres biocides de renfort. Divers produits naturels ont fait la preuve de leur efficacité en tant que matériaux de départ dans l'élaboration de peintures antisalissures. Les agents antisalissures naturels écologiques se trouvent notamment dans les algues, les bactéries, les coraux, les éponges et les plantes terrestres. Les antisalissants naturels emploient divers mécanismes de contrôle physique et chimique : faible traînée, faible adhérence, mouillabilité, microtexture, toilettage, détachage, sécrétion chimique. Ils sont composés d'un taux plus élevé en biofibres, ce qui pourrait leur conférer un pouvoir antisalissure analogue à celui des revêtements conventionnels, réduisant ainsi la proportion des polymères de base les plus toxiques. Parmi les produits antisalissures naturels et écologiques utilisés actuellement dans le monde, on compte le tanate de zinc (plantes), l'isocyanotempenes (éponges, nudibranches), le 5,6-dichloro-1-méthylgramine (plantes) et les polymères linéaires de 3-octylpyridinium (éponges marines). On recommande d'encourager l'utilisation de ces biocides respectueux de l'environnement (Sampson, 2020).

## 5.9 Mouvement régulier des cages dans les sites aquacoles

70. La mise en jachère est la pratique consistant à déplacer les cages à poissons marins ou à retarder le repeuplement des cages pour permettre aux sédiments sous les cages de connaître un rétablissement naturel, géochimique et écologique, suite aux incidences causées par la charge en nutriments. Cette modalité de gestion est employée partout dans le monde pour éviter de causer des dommages durables à l'environnement benthique et pour réduire les risques pour les exploitations de subir des invasions d'agents pathogènes et de parasites (Price et Morris, 2013).

## 5.10 Alternatives pour l'élimination et la réutilisation des abats

71. Les abats de poisson sont réutilisés de différentes façons pour produire divers types de produits : aliments pour animaux, compost, biodiesel et biogaz, pigments naturels, industrie alimentaire et cosmétique, protéases, peau de poisson, etc. Ils sont couramment utilisés comme ingrédient alimentaire, car ils représentent une source précieuse de protéines et d'énergie de haute qualité (New, 1996 ; Gabrielsen et Auseng, 1998). Les caroténoïdes récupérés à partir des crevettes, des homards, des crabes, des écrevisses, des truites, des saumons, des sébastes, des vivaneaux campêches et des thons sont de bons substituts pour les caroténoïdes synthétiques dans les formulations des aliments d'aquaculture ; les résidus disponibles après extraction peuvent être utilisés pour la préparation de la chitine et du chitosane (Sachindra *et al.*, 2006). Plusieurs composés utiles sont extraits des déchets de fruits de mer, tels que des enzymes, de la gélatine et des protéines aux capacités antimicrobiennes et antitumorales. Le chitosane, produit à partir des carapaces de crevettes et de crabe, sert à une large gamme d'applications, de l'industrie cosmétique à l'industrie pharmaceutique.

### 5.11 Mise en place de programmes de surveillance appropriés

72. Humbrey (2009), synthétisant de nombreux documents d'examen et rapports nationaux, a résumé les recommandations pour la mise en place de programmes de suivi appropriés. L'accent devrait être mis sur l'application de mesures efficaces pour la surveillance de l'environnement au sens large, tant en ce qui concerne les risques relevés que les éventuelles actions visant à y remédier. Ce faisant, il faut : rechercher le bon équilibre entre la surveillance au niveau de l'exploitation et la surveillance de l'environnement global ; améliorer la valeur des informations en visant des paramètres plus ciblés et moins nombreux ; veiller à l'efficacité de l'analyse et de la communication des données de surveillance ; faire en sorte que les résultats de ces actions se répercutent sur la gestion des exploitations et du secteur ; définir et surveiller les indicateurs de durabilité ; établir des normes et des protocoles d'échantillonnage ; rendre la surveillance plus performante au niveau local ; créer des systèmes d'information nationaux et régionaux pour la surveillance de l'aquaculture.

### 6. Proposition de mesures supplémentaires concernant les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour l'aquaculture côtière et extracôtière

73. Les principaux éléments du Plan régional pour la gestion de l'aquaculture en Méditerranée (Décision IG.24/10) appellent à l'élaboration d'un document d'orientation sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour le secteur de l'aquaculture (côtière et extracôtière) abordant les thèmes suivants : incidences sur le milieu benthique et nutriments, pratiques alimentaires efficaces, bassins de décantation (pour la collecte des particules de sol en suspension) et filtres (à tambour), mouvement régulier des cages, optimisation des systèmes de rejet, cultures intercalaires bleues (moules, etc.), gestion de l'eau (systèmes fermés à circuit recirculé, réutilisation et recyclage de l'eau issue de l'aquaculture côtière à des fins d'irrigation), maladies et parasites, rejets chimiques (agents antisalissures écologiquement inoffensifs), évasions et prévention des invasions par les espèces exotiques envahissantes, lutte contre les prédateurs, les perturbations et les dégâts physiques, alternatives pour l'élimination et la réutilisation des abats. Des propositions spécifiques sont fournies dans la présente section pour chacun de ces aspects, dans le but de fournir des informations complémentaires susceptibles d'être incluses dans un tel document d'orientation.

#### 6.1 Incidences sur le milieu benthique et nutriments

74. Pratiques alimentaires efficaces : Une meilleure digestibilité des aliments peut réduire l'indice de consommation des aliments, augmentant ainsi leur efficacité. L'optimisation de la digestion est cruciale pour l'atteinte d'une aquaculture durable et dépend de plusieurs mécanismes physiologiques intégrés, tels que l'ingestion, la sécrétion, la digestion, l'absorption, la motilité et l'évacuation. Des essais sur le terrain propres aux différentes espèces de poissons pourraient être organisés.

75. Bassins de décantation (pour la collecte des particules de sol en suspension) : Singh, Ebeling et Wheaton (1999) n'ont signalé aucune différence entre la qualité de l'eau des systèmes à circuit recirculé avec filtre à tamis et celle des bassins de décantation, bien que le volume d'eau nécessaire soit significativement plus élevé dans les systèmes avec bassins de décantation. Il pourrait être utile de mener plus de recherches pour accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

76. Filtres (à tambour) : Dans un filtre à tambour, l'eau sale passe à travers le filtre, lequel retient les particules solides ; le filtre se dirige ensuite vers une zone de rinçage où de l'eau propre est vaporisée à l'arrière du filtre pour le nettoyer. Ce rinçage continu nécessite qu'un plus grand volume d'eau soit détourné vers l'égout avec les déchets. En outre, un filtre à tambour n'élimine généralement pas des particules aussi petites que celles qui peuvent être captées par les filtres à lit granulaire. De plus amples recherches pourraient être menées pour en accroître l'efficacité.

77. Mouvement régulier des cages : Des recherches pourraient être menées pour étudier les corrélations entre les caractéristiques des sites piscicoles et le temps requis pour le rétablissement de l'environnement ainsi que l'efficacité de ce rétablissement. Leurs résultats pourraient contribuer à l'élaboration de directives relatives à la mise en jachère dans le secteur de la mariculture.

78. Optimisation des systèmes de rejet : Il sera utile d'employer des systèmes semi-fermés avec une coque souple ou dure, dans lesquels l'eau quitte le système de production par un tuyau central au fond, et dans lequel les boues (matériaux déposés) et les poissons morts s'accumulent et sont séparés. Différentes structures permettent de séparer les boues et les poissons morts dans différents systèmes de transport.

79. Cultures intercalaires bleues (ex. : moules) : L'absorption des nutriments varie selon les organismes. L'accent doit être mis sur les caractéristiques propres à chaque espèce, qui peut fonctionner comme un puits spécifique pour tel ou tel nutriment (en absorbant plus que ce qu'elle ne libère).

## 6.2 Gestion de l'eau

80. Systèmes fermés à circuit recirculé : De récentes études (B-V Chang *et al.*, 2019) ont démontré les avantages de l'intégration du multitrophisme et des circuits recirculés pour développer un nouveau système d'aquaculture multitrophique intégrée en circuit recirculé. De nouvelles recherches pourraient être effectuées à ce sujet. D'autres études pourraient être menées pour rendre les circuits recirculés plus rentables (surtout pour ce qui est des systèmes à grande échelle dans le milieu marin) et plus attractifs pour les investisseurs.

81. Réutilisation et recyclage de l'eau issue de l'aquaculture côtière à des fins d'irrigation : Bien que l'aquaponie ait connu des avancées considérables au cours des dernières décennies, certaines questions cruciales restent sans réponse, notamment en ce qui concerne la création de systèmes à faible consommation d'énergie avec un recyclage optimisé des éléments nutritifs, et un contrôle efficace des agents pathogènes.

## 6.3 Maladies et parasites

82. Il est essentiel de surveiller régulièrement la santé des poissons, de diagnostiquer les pathogènes et de procéder à un traitement rapide et judicieux. Les aliments complétés de probiotiques et de prébiotiques sont utiles pour renforcer l'immunité des poissons. L'émergence de souches d'agents pathogènes résistantes représente aujourd'hui un grave problème. Il sera utile de mener davantage de recherches afin de renforcer les approches de médecine préventive. L'adoption d'un système semi-fermé ou fermé réduit le risque d'infection.

## 6.4 Rejets chimiques : utilisation d'agents antisalissures écologiquement inoffensifs

83. Une solution technologique prometteuse pour résoudre ces problèmes est l'emploi de filets en alliage de cuivre. Ces alliages sont intrinsèquement résistants aux antisalissures, ont une force et une résistance aux morsures plus élevées que les filets en polymère, et présentent des propriétés hydrodynamiques avantageuses. De nouvelles recherches pourraient être menées à ce sujet.

## 6.5 Évasions et prévention des invasions par des espèces exotiques envahissantes

84. Boudouresque *et al.* (2002) recommandent la prise de mesures immédiates pour ralentir le taux d'introduction d'espèces allochtones dans l'environnement. En particulier, il semble nécessaire de faire appliquer les législations nationales, d'établir des conditions de quarantaine (aquaculture), de contrôler le flux des eaux de ballast et de réguler le commerce des espèces d'aquarium, et d'interdire toutes les espèces connues pour être envahissantes dans d'autres parties du monde (rédaction d'une « liste noire »). Les technologies employées pour le traitement des eaux de ballast dans le secteur du transport maritime pourraient être appliquées dans l'aquaculture. Des listes nationales d'espèces exotiques envahissantes pourraient également être dressées en vue d'en améliorer leur gestion.

## **6.6 Lutte contre les prédateurs, les perturbations et les dégâts physiques**

85. Les cages submergées et l'installation de cages dans les zones allouées pour l'aquaculture permettent de surmonter les incidences physiques. Les systèmes fermés et semi-fermés sont utiles dans la lutte contre les prédateurs.

## **6.7 Alternatives pour l'élimination et la réutilisation des abats**

86. Il existe de nouvelles technologies permettant de produire des enzymes variés dans les industries alimentaires : protéases pour attendrir la viande, coagulants du lait, etc. Ces débouchés méritent qu'on s'y penche de plus près.

## **7. Conclusions et recommandations**

87. Les résultats de l'évaluation indiquent que l'aquaculture en Méditerranée connaît une bonne amélioration de l'aspect technologique et qu'elle est à peu près sur la bonne voie, bien qu'il existe encore des possibilités d'amélioration. Il existe un besoin accru d'un cadre juridique et d'une structure de gouvernance solides, avec une cartographie claire des responsabilités pour une stricte application des lois disponibles afin de réduire au maximum les impacts sur l'environnement. D'autres recherches (particulièrement des essais sur le terrain) sont requises afin de mesurer l'efficacité des nouvelles technologies conçues partout dans le monde et d'évaluer les conditions de la reproductibilité et de la transférabilité des meilleures technologies disponibles et des meilleures pratiques environnementales. L'économie circulaire devrait être considérée comme le cadre conceptuel global sous-tendant toutes les innovations dans l'aquaculture. Pour assurer la transition vers la durabilité, il est essentiel de définir une vision méditerranéenne à long terme pour ce secteur. Ces aspects devraient se retrouver dans le nouveau Plan régional pour la gestion de l'aquaculture en Méditerranée.

88. En ce qui concerne les mesures proposées, l'accent devrait être mis sur l'utilisation de nouvelles technologies susceptibles d'englober un vaste domaine, allant du zonage de l'aquaculture aux aspects régissant la production, en passant par la bonne sélection des sites. Pour l'aquaculture côtière et extracôtière en général, notamment en ce qui concerne les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, le champ d'application sera destiné à accroître l'efficacité de la production (grâce à l'utilisation de nouveaux ingrédients dans les aliments et au recours à des pratiques alimentaires innovantes) ainsi qu'à réduire l'impact sur l'environnement (par l'installation de systèmes fermés ou semi-fermés, par le recours à des technologies de recirculation améliorées, par le contrôle efficace des maladies et par l'amélioration de l'efficacité énergétique). En ce qui concerne l'aquaculture extracôtière en particulier, il faut donner la priorité aux technologies innovantes pour la sélection des sites et à l'adoption de structures appropriées pour les cages, capables d'endurer les divers aléas physiques auxquels elles sont soumises par la mer. Pour l'agriculture côtière, la priorité doit être donnée à la gestion des déchets solides et des effluents. L'adoption de toutes ces technologies novatrices et une collaboration efficace à tous les niveaux entre toutes les parties prenantes feront de l'aquaculture un secteur important pour l'économie bleue dans la région.

**Annexe I**  
**Références**

- Angel, Dror L. (2013), *Marine Aquaculture in Mediterranean*. In P. Christou et al. (eds.), *Sustainable Food Production*, Springer Science+Business Media New York.
- Ballester-Moltó, M.; Sanchez-Jerez, P.; Aguado-Giménez, F. Consumption of particulate wastes derived from cage fish farming by aggregated wild fish. An experimental approach. *Mar. Environ. Res.* 2017, 130, 166–173.
- Bea-Ven Chang, Chien-Sen Liao, Yi-Tang Chang, Wei-Liang Chao, Shinn-Lih Yeh, Dong-Lin Kuo and Chu-Wen Yang. (2019). Investigation of a Farm-scale Multitrophic Recirculating Aquaculture System with the Addition of *Rhodovulum sulfidophilum* for Milkfish (*Chanos chanos*) Coastal Aquaculture. MDPI. Sustainability.
- Beltrán JM (1999). Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. *Agric Water Manag* 40:183–194.
- Bolognini L., Grati F., Marino G., Punzo E., Scanu M., Torres C., Hardy P.Y., Piante C. (2019). Safeguarding Marine Protected Areas in the growing Mediterranean Blue Economy. Recommendations for Aquaculture. PHAROS4MPAs project. 52 pages.
- Boudouresque, C.F., Marc Verlaque. (2002). Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. *Marine Pollution Bulletin* 44: 32–38.
- Buck, B.H., Troell, M.F., Krause, G., Angel, D.L., Grote, B. & Chopin, T. (2018). State of the art and challenges for offshore integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Frontiers in Marine Science*, 5: 165.
- Cardia, F. and Lovatelli, A. (2015). *Aquaculture operations in floating HDPE cages: a field handbook*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 593. Rome, FAO. 152 pp.
- Cardia, F. and Lovatelli, A. (2007). A review of cage aquaculture: Mediterranean Sea. In M. Halwart, D. Soto and J.R. Arthur (eds). *Cage aquaculture – Regional reviews and global overview*, pp. 156–187. FAO Fisheries Technical Paper. No. 498. Rome, FAO. 241 pp.
- Chen, L.; Feng, Q.; Li, C.; Wei, Y.; Zhao, Y.; Feng, Y.; Zheng, H.; Li, F.; Li, H. Impacts of aquaculture wastewater irrigation on soil microbial functional diversity and community structure in arid regions. *Sci. Rep.* 2017, 7, 11193.
- Chopin, T., Robinson, S.M.C., Troell, M., Neori, A., Buschmann, A.H. & Fang, J. 2008. Multitrophic integration for sustainable marine aquaculture. In Jørgensen, S.E. & Fath, B.D. (Eds.) *Encyclopedia of Ecology. Ecological Engineering*, vol. 3. Elsevier, Oxford, pp. 2463–2475.
- Boyd, C.E.; Louis R. D'Abramo, Brent D. Glencross, David C. Huyben, Lorenzo M. Juarez, George S. Lockwood, Aaron A. McNevin, Albert G. J. Tacon, Fabrice Teletchea, Joseph R. Tomasso Jr, Craig S. Tucker, Wagner C. Valenti. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges, Review Article. *Journal of the World Aquaculture Society* · June 2020.
- Crab, R., Avnimelech, Y., & Defoirdt, T. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270, 1–14.
- Dauda, A. B., Akinwale, A. O., & Olatinwo, L. K. (2014). Bionitrification of aquaculture wastewater at different drying times in water reuse system. *JAFT*, 4(2), 6–12.
- E. Manea, S. Bianchelli, E. Fanelli, R. Danovaro, E. Gissia. (2020). Towards an Ecosystem-Based Marine Spatial Planning in the deep Mediterranean Sea. *Science of The Total Environment* Volume 715, 1 May 2020, 136884.
- Ebeling, J. M., & Timmons, M. B. (2012). Recirculating aquaculture systems. In J. H. Tidwell (Ed.). *Aquaculture production systems* (pp. 245–278). A publication of World Aquaculture Society. John Wiley & Sons, Inc.
- El-Kady AFY, Suloma A (2013) Towards wastewater-aquaculture-agriculture integration in arid and semi-arid regions: utilization of aquaculture effluents in the irrigation of khaya and mahogany seedlings. *J Horticult Sci Ornamental Plants* 5:227–237.
- FAO. Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 527. Rome, FAO. 2009. 57p. 648 pages.

- Gabrielsen, B.O. & Austreng, E. (1998). Growth, product quality and immune status of Atlantic salmon, *Salmo Salar* L. fed wet feed with alginate. *Aquaculture Research*, 29, 397–401.
- Hambrey, J.B. 2009. Global review and synthesis of reviews of EIA and monitoring in aquaculture in four regions and for salmon aquaculture. In FAO. Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 527. Rome, FAO. pp. 3–57.
- Huan, D., Li, X., Kabir Chowdhury, M. A., Yang, H., Liang, G., & Leng, X. (2018). Organic acid salts, protease and their combination in fish meal-free diets improved growth, nutrient retention and digestibility of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). *Aquaculture Nutrition*, 24(6), 1813–1821.
- Bodik, I., T. Mackul'ak, M. Faberova, L. Ivanova. (2016). Occurrence of illicit drugs and selected pharmaceuticals in Slovak municipal wastewater *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.*, 23, pp. 21098-21105.
- Ilhan A, Rafet C O. Adverse Effects of Mariculture Activities and Practices on Marine Environment. *Fish & Ocean Opj.* 2017; 4(1):003 555630.
- Kai-Ling Wang, Ze-Hong Wu, Yu Wang, Chang-Yun Wang, and Ying Xu. (2017).: Mini-Review: Antifouling Natural Products from Marine Microorganisms and Their Synthetic Analogs. *Marine Drugs.* 2017 Sep; 15(9): 266.
- Karakassis, I.; Tsapakis, M.; Hatziyanni, E. (1988).: Seasonal variability in sediment profiles beneath fish cages in the Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 162,243-252.
- Li, Q.; Zhang, Y.; Juck, D.; Fortin, N.; Greer, C.W. Impact of Intensive Land-Based Fish Culture in Qingdao, China, on the Bacterial Communities in Surrounding Marine Waters and Sediments. *Evid. Based Complementary Altern. Med.* 2011, 1–8.
- Malone, R. F., & Pfeiffer, T. J. (2006). Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating quaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 34, 389–402.
- Marta Pascual, Ecorys & Martina Bocci. 2018. in MSP as a tool to support Blue Growth. Sector Fiche: Marine Aquaculture. European MSP Platform for the European Commission. P 222-235.
- Martinez-Porchas, M.; Martinez-Cordova, L.R. World Aquaculture: Environmental Impacts and Troubleshooting Alternatives. *Sci. World J.* 2012, 1–9.
- Macias, J.C., Avila Zaragozá, P., Karakassis, I., Sanchez-Jerez, P., Massa, F., Fezzardi, D., Yücel Gier, G., Franičević, V., Borg, J.A., Chapela Pérez, R.M., Tomassetti, P., Angel, D.L., Marino, G., Nhhala, H., Hamza, H., Carmignac, C. & Fourdain, L. 2019. *Allocated zones for aquaculture: a guide for the establishment of coastal zones dedicated to aquaculture in the Mediterranean and the Black Sea.* General Fisheries Commission for the Mediterranean. Studies and Reviews. No 97. Rome, FAO. 90 pp.
- Miranda FR, Lima RN, Crisóstomo LA, Santana MGS (2008). Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. *Aquac Eng* 39:1–5.
- New, M. (1996). Responsible use of aquaculture feeds. *Aquaculture Asia*, 1, 3–15.
- Nina Bloecher and Oliver Floerl. (2020). Towards cost-effective biofouling management in salmon aquaculture: a strategic outlook. In *Reviews in Aquaculture.* John Wiley & Sons Australia, Ltd
- Novelli, P. K., Barros, M. M., Pezzato, L. E., De Araujo, E. P., De Mattos Botelho, R., & Fleuri, L. F. (2017). Enzymes produced by agro-industrial co-products enhance digestible values for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): A significant animal feeding alternative. *Aquaculture*, 481, 1–7.
- O. Golovko, V. Kumar, G. Fedorova, T. Randak, R. Grabic. (2014). Removal and seasonal variability of selected analgesics/anti-inflammatory, anti-hypertensive/cardiovascular pharmaceuticals and UV filters in wasterwater treatment plant. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.*, 21, pp. 7578-7585
- Papoutsoglou, S. E. (1996). Role of management in achievement of aquaculture's production systems' aims. In: *The Role of Aquaculture in World Fisheries, Proceedings of World Fisheries*

- Congress, Theme 6. Ed.: T. G. Heggberget. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Co. (Mohan Primlary). pp.116-120.
- Papoutsoglou, S. E.; Costello, M. J.; Stamou, E.; Tziha, G. (1996): Environmental conditions at sea!cages, and ectoparasites on farmed European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.), and gilt-head sea bream, *Sparus aurata* (L.), at two farms in Greece. *Aquacult. Res*, 27,25-34.
- Papoutsoglou, S.E. (2000). Monitoring and regulation of marine aquaculture in Greece licensing, regulatory control and monitoring guidelines and procedures. *Journal of Applied Ichthyology* 16:167-171.
- Patterson, R. N., Watts, K. C., & Timmons, M. B. (1999). The power of law in particle size analysis for aquacultural facilities. *Aquacultural Engineering*, 19, 259–273.
- Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226, 35–44.
- Price, C.S. and J.A. Morris, Jr. 2013. *Marine Cage Culture and the Environment: Twenty-first Century Science Informing a Sustainable Industry*. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 164. 158 pp.
- Rosa Chapela & Marta Ballesteros. (2011). Procedures for site selection, regulatory schemes and EIA procedures in the Mediterranean. In *Site selection and carrying capacity in Mediterranean Marine Aquaculture: Key Issues (WGSC-SHoCMed)*. J. A. Borg, D. Crosetti and F. Massa. (eds).
- Sachindra, N.M., Bhaskar, N. & Mahendrakar, N.S. (2006). Recovery of carotenoids from shrimp waste in organic solvents. *Waste Management*, 26, 1092–1098.
- Sampson Kofi Kyei , Godfred Darko, Onyewuchi Akaranta. (2020). Chemistry and application of emerging ecofriendly antifouling paints: a review. *Journal of Coatings Technology and Research* · January 2020 online issue.
- Simon Goddek, Alyssa Joyce, Benz Kotzen, and Gavin M. Burnell (2019). *Aquaponics Food Production Systems*. Springer Open.
- Singh, S., Ebeling, J. M., & Wheaton, F. (1999). Water quality trials in four recirculating aquaculture system configurations. *Aquacultural Engineering*, 20, 75–84.
- Susanne Eriksson, Markus Langeland, Daniel Wikberg, Jonas Nilsson, Kristina Snuttan Sundell. (2019). Overview of farming techniques for aquaculture in Sweden - environmental impact, production systems, species and feeds. A rept by Swedish Agency for Marine and Water Management.
- Tacon, A. G. J., Hasan, M. R., & Metian, M. (2011). Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: Trends and prospects (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 564). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Tiago de Sousa Leite, Rômulo Magno Oliveira de Freitas, Narjara Walessa Nogueira, Moadir de Sousa Leite and José Rivanildo de Souza Pinto. (2017). The use of saline aquaculture effluent for production of *Enterolobium contortisiliquum* seedlings. *Environ Sci Pollut Res*. 24:19306–19312.
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H. & Fang, J-G. (2009). Ecological engineering in aquaculture –potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297(1–4): 1–9.
- Waller, U. (2001). Tank culture and recirculating systems. In K. D. Black (Ed.). *Environmental impacts of aquaculture* (pp. 99–127). Sheffield, UK: Sheffield AcademicPress.
- [www.unep.org/unepmap/what-we-do/projects/SIMWESTMED-SUPREME](http://www.unep.org/unepmap/what-we-do/projects/SIMWESTMED-SUPREME). Retrieved on 07.04.2021
- Xinyan Wang, Alan Cuthberston, Carlo Gualtieri and Dongdong Shao. (2020). A Review on Mariculture Effluent: Characterization and Management Tools. *MDPI, Water* 2020, 12, 2991.
- Y. Yang, Y.S. Ok, K.-H. Kim, E.E. Kwon, Y.F. Tsang. (2017). Occurrences and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in drinking water and water/sewage treatment plants: a review *Sci. Total Environ.*, 596–597, pp. 303-320.