



Pacific  
Community  
Communauté  
du Pacifique

RESCCUE

## NOTE DE SYNTHÈSE RELATIVE AUX INTERACTIONS PERLICULTURE-ENVIRONNEMENT



L'opérateur en charge de la réalisation du projet RESCCUE en Polynésie française, sous le double contrôle de la CPS et du Gouvernement de la Polynésie française, représentée par sa Direction de l'Environnement, est l'Agence française pour la biodiversité (AFB) (ex- Agence des aires marines protégées), avec l'Université de la Polynésie française, l'IRCP, Créocéan, le GIE Océanide, PTPU, Vertigo Lab, l'association SOP Manu et plusieurs consultants individuels.

**Agence française pour la biodiversité (AFB)**

Mahé CHARLES  
[mahe.charles@aires-marines.fr](mailto:mahe.charles@aires-marines.fr)

**Créocéan**

Julien GUILLET  
[guillet@creocean.fr](mailto:guillet@creocean.fr)

**SOP Manu**

Thomas GHESTEMME  
[tghestemme@manu.pf](mailto:tghestemme@manu.pf)

**PTPU**

Charles EGRETAUD  
[charles.egretau@ptpu.pf](mailto:charles.egretau@ptpu.pf)

**Vertigo Lab**

Thomas BINET  
[thomasbinet@vertigolab.eu](mailto:thomasbinet@vertigolab.eu)

**Commune des Gambier**

Teicho PAEMARA  
[teicho.paeamara@gmail.com](mailto:teicho.paeamara@gmail.com)

**Jean-François BUTAUD, consultant**

[jfbutaud@hotmail.com](mailto:jfbutaud@hotmail.com)

**Océanide**

Jean-Brice HERRENSCHMIDT  
[ddatpacific@gmail.com](mailto:ddatpacific@gmail.com)

**IRCP-EPHE**

Serge PLANES  
[planes@univ-perp.fr](mailto:planes@univ-perp.fr)

**Université de Polynésie française (UPF)**

Nabila GAERTNER-MAZOUNI  
[nabila.gaertner-mazouni@upf.pf](mailto:nabila.gaertner-mazouni@upf.pf)

**ADEPRINA**

Harold LEVREL  
[harold.levrel@agroparistech.fr](mailto:harold.levrel@agroparistech.fr)

**Hervé LALLEMANT, juriste**

[lallemant.herve@gmail.com](mailto:lallemant.herve@gmail.com)

**Annie AUBANEL, consultante**

[annie.aubanel.3@gmail.com](mailto:annie.aubanel.3@gmail.com)

Rédacteur Principal/Contributeur (s)	Date de publication
Nabila Gaertner-Mazouni et Thibaut Rodriguez (UPF)	Décembre 2017

*Citation du document: Gaertner-Mazouni N & Rodriguez T (2017). Note de synthèse relative aux interactions Perliculture – Environnement. Rapport UPF réalisé dans le cadre du projet RESCCUE, Communauté du Pacifique CPS, 28 pages.*

## **Rappel des objectifs et composantes du projet RESCCUE**

Le projet RESCCUE (Restauration des services écosystémiques et adaptation au changement climatique) vise à contribuer à accroître la résilience des pays et territoires insulaires du Pacifique face aux changements globaux, par la mise en œuvre de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC). Il prévoit notamment de développer des mécanismes de financement innovants pour assurer la pérennité économique et financière des activités entreprises. Ce projet régional opère sur un à deux sites pilotes dans chacun des pays et territoires suivants : Fidji, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française et Vanuatu.

RESCCUE est financé principalement par l'Agence française de développement (AFD) et le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM), pour une durée de cinq ans (01/01/2014 - 31/12/2018). La CPS bénéficie d'un financement total de 8,5 millions d'euros : une subvention de l'AFD octroyée en deux tranches (2013 et 2017 à hauteur de 2 et 4,5 millions d'Euros respectivement), et une subvention du FFEM de 2 millions d'Euros. Le projet RESCCUE fait en complément l'objet de cofinancements. Sa maîtrise d'ouvrage est assurée par la Communauté du Pacifique (CPS), assisté par les gouvernements et administrations des pays et territoires concernés. La Polynésie française assure donc le rôle d'assistant à maîtrise d'ouvrage aux côtés de la Communauté du Pacifique (CPS).

RESCCUE est structuré en cinq composantes :

**Composante 1 - Gestion intégrée des zones côtières** : Il s'agit de soutenir la mise en œuvre de la GIZC « de la crête au tombant » à travers l'élaboration de plans de GIZC, la mise en place de comités ad hoc, le déploiement d'activités concrètes de terrain tant dans les domaines terrestres que marins, le renforcement des capacités et le développement d'activités alternatives génératrices de revenus.

**Composante 2 - Analyses économiques** : Cette composante soutient l'utilisation d'une large variété d'analyses économiques visant d'une part à quantifier les coûts et bénéfices économiques liés aux activités de GIZC, d'autre part à appuyer diverses mesures de gestion, politiques publiques et mises en place de mécanismes économiques et financiers.

**Composante 3 - Mécanismes économiques et financiers** : Il s'agit de soutenir la mise en place de mécanismes économiques et financiers pérennes et additionnels pour la mise en œuvre de la GIZC : identification des options possibles (paiements pour services écosystémiques, redevances, taxes, fonds fiduciaires, marchés de quotas, compensation, certification...) ; études de faisabilité ; mise en place ; suivi.

**Composante 4 - Communication, capitalisation et dissémination des résultats du projet dans le Pacifique** : Cette composante permet de dépasser le cadre des sites pilotes pour avoir des impacts aux niveaux national et régional, en favorisant les échanges d'expérience entre sites du projet, les expertises transversales, la dissémination des résultats, en particulier au cours d'événements à destination des décideurs régionaux, etc.

**Composante 5 - Gestion du projet** : Cette composante fournit les moyens d'assurer la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre du projet, l'organisation des réunions des comités de pilotage, des évaluations et audits, etc.

# Préambule

*Cette note de synthèse regroupe un ensemble d'informations portant sur la caractérisation des interactions entre l'activité de perliculture et l'environnement. Elle présente également de façon plus spécifique des éléments de caractérisation des déchets et pollutions induites par l'activité perlicole, qui sont le fruit de nos récents travaux réalisés dans le cadre du projet RESCCUE. Sa construction s'est enfin appuyée sur des enseignements et des pistes de réflexion issus de différents travaux scientifiques mais aussi des nombreuses discussions menées avec les perliculteurs des Gambier et avec les autres acteurs de la filière que nous tenons à remercier ici.*

*Ce travail a été réalisé dans la continuité des démarches et expérimentations réalisées in situ dans le cadre des études menés par l'UPF, l'Ifremer et l'IRD en collaboration avec la Direction des Ressources Marines et Minières (DRMM) et les perliculteurs (thèses, fonds propres, conventions, projet ANR Polyperl). Il s'inscrit dans la démarche, initiée par l'Unité Mixte de Recherche - Ecosystèmes Insulaires Océaniques (UMR 241 - EIO), de définition **d'indicateurs de capacité de charge des systèmes perlicoles**, inscrite dans la convention QUALISANT et dans le programme scientifique de l'UMR-EIO (thème 3 – vulnérabilité des écosystèmes insulaires).*

## Résumé exécutif

La caractérisation des interactions entre la perliculture et l'environnement est abordée non seulement du point de vue des pressions exercées par l'activité, mais également les pressions subies par celle-ci. Le premier aspect est analysé selon trois axes : 1) les pressions induites par les infrastructures nécessaires pour la production, 2) les pressions liées à la physiologie de l'espèce cultivée, et 3) les pressions dépendantes des pratiques spécifiques des perliculteurs. A l'exception de celles liées à la physiologie de l'espèce cultivée, ces pressions s'exercent non seulement sur le milieu marin, mais aussi sur le milieu terrestre. L'effet de l'environnement apparaît quant à lui principalement contrôlé par les interactions biotiques, pouvant induire, sous certaines conditions, la prolifération d'espèces invasives. Même si la perliculture semble sous l'influence de processus globaux (changement climatique), il apparaît clairement une dépendance de l'activité perlicole au « bon état de santé » de l'environnement lagunaire immédiat. Ce travail, met en évidence l'importance à accorder aux pratiques de production, face à leur évolution rapide et surtout à l'intensification récente de la production. Il propose une analyse des points d'amélioration à considérer, et explore plusieurs leviers d'action. Ceux-ci relèvent de : la régulation de l'intensité de production, la gestion des déchets organiques et des macrodéchets liés à l'activité, la consommation de matériel de production, la gestion des risques sanitaires, génétiques ou de contamination chimique, et enfin de la limitation des nuisances et effets sur la biodiversité.

# Sommaire

1. CARACTERISATION DES INTERACTIONS ENTRE LA PERLICULTURE ET SON ENVIRONNEMENT.....	7
1.1 PRESSIONS INDUITES PAR LA PERLICULTURE SUR L'ENVIRONNEMENT .....	7
1.1.1 Les pressions liées aux infrastructures de production.....	7
1.1.2 Les pressions liées à la physiologie de l'espèce cultivée.....	9
1.1.3 Les principales pressions liées aux pratiques des perliculteurs .....	11
1.2 EFFETS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LA PERLICULTURE .....	14
1.3 INTEGRATION DE LA PERLICULTURE AU SEIN DU TERRITOIRE .....	15
1.3.1 Caractéristiques de l'activité de perliculture aux Gambier .....	15
1.3.2 Interactions de la perliculture avec les autres usages du territoire .....	18
2. LES PRATIQUES DE PRODUCTION : UN LEVIER D'ACTION POUR LA FILIERE .....	19
2.1 ELEMENTS PREALABLES CONCERNANT LES PRATIQUES DE PERLICULTURE AUX GAMBIE.....	19
2.2 PRATIQUES, TENDANCES ET EVOLUTIONS ACTUELLES.....	20
2.2.1 Pratiques et mesures observées permettant d'éviter ou de minimiser les pressions	20
2.2.2 Pratiques observées apparaissant comme moins vertueuses et à faire évoluer .....	21
3. DU DIAGNOSTIC AUX PROPOSITIONS : PLUSIEURS AXES D'ACTION POSSIBLES ?.....	22
RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	28

## ***Liste des acronymes***

CET	Centre d'Enfouissement Technique
DRMM	Direction des Ressources Minières et Marines
DPM	Domaine Public Maritime
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
UPF	Université de la Polynésie Française

# **1. CARACTERISATION DES INTERACTIONS ENTRE LA PERLICULTURE ET SON ENVIRONNEMENT**

La notion « d'interaction » fait ici référence à l'existence d'un système d'échanges réciproques. Ainsi, dans cette première partie, il s'agit de présenter à la fois les effets potentiels induits par la production perlicole sur l'environnement, mais aussi les effets de l'environnement sur la perliculture. Les éléments discutés sont basés sur nos travaux de recherche, sur la bibliographie existante et sur nos observations de terrain aux Gambier.

## **1.1 PRESSIONS INDUITES PAR LA PERLICULTURE SUR L'ENVIRONNEMENT**

D'une manière générale, les pressions induites par l'aquaculture de bivalves sur « l'environnement » (à considérer ici au sens large) se manifestent à plusieurs échelles et sont de plusieurs types. Pour une large part, elles ont fait l'objet de descriptions détaillées dans la littérature scientifique (Lacoste & Gaertner-Mazouni, 2014 ; O'Donncha et al, 2013 ; Klinger & Naylor, 2012 ; Fitridge et al, 2012 ; Cranford et al, 2007 and 2003). Ces éléments ont également, pour une partie d'entre eux, été présentés dans des documents de communication que nous avons réalisés à destination des acteurs professionnels (Guide pour l'exploitation de l'huître perlière en Polynésie française, 2016 ; Guide de l'exploitation conchylicole, 2008 révisé en 2015).

Aussi, dans le présent document, nous proposons une présentation synthétique des connaissances existantes, sachant que pour le cas de la perliculture aux Gambier, l'analyse et la quantification de ces effets, au-delà du travail mené dans le cadre du projet RESCCUE, fait l'objet de travaux de recherche spécifiques actuellement en cours (projet QUALISANT<sup>1</sup>, travail de doctorat UPF-Ifremer, projet ECOPE<sup>2</sup> UPF-Ifremer).

Les pressions induites sont ici regroupées en 3 catégories :

- Les pressions induites par les infrastructures nécessaires pour la production,
- Les pressions liées à la physiologie de l'espèce cultivée,
- Les pressions dépendantes des pratiques spécifiques des perliculteurs.

La première et la troisième catégorie de pressions s'exercent à la fois sur les milieux marin et terrestre, alors que la deuxième se limite au milieu marin. Les effets induits par ces pressions peuvent être de différents types : biologique, mécanique, physico-chimique, etc.

### **1.1.1 LES PRESSIONS LIEES AUX INFRASTRUCTURES DE PRODUCTION**

Comme toute activité aquacole, la perliculture nécessite la mise en place d'infrastructures d'élevage dans le milieu marin (lagon) et à terre. Les infrastructures d'élevage comme le « fare », également appelé fare-greffe (où sont généralement réalisés le travail de conditionnement des nacres et l'opération de greffe), les filières immergées, les éclosiers, les surfaces logistiques, etc. peuvent avoir un impact physique direct sur le milieu environnant lors de leur implantation puis lors de leur exploitation.

---

<sup>1</sup> Convention DRMM-Ifremer-IRCP-UPF sur la qualité des milieux de production et santé des cheptels aquatiques en élevage - 2016-2019.

<sup>2</sup> ECOPE : Empreinte écologique de la perliculture par une approche de metabarcoding - projet soutenu dans le cadre de la politique de site de l'Ifremer (PI : C Reisser- N Gaertner-Mazouni) - 2017-2018.

Dans le milieu marin, l'immersion de supports artificiels dans la colonne d'eau va modifier la structure de ce compartiment. En effet, ces substrats seront rapidement colonisés par de nombreuses espèces, dont pour la plupart, la répartition spatiale naturelle est limitée au système benthique. Par ailleurs, la présence de ces infrastructures est susceptible de modifier l'hydrodynamisme, avec pour conséquences le ralentissement des courants et parfois une augmentation de la sédimentation naturelle.

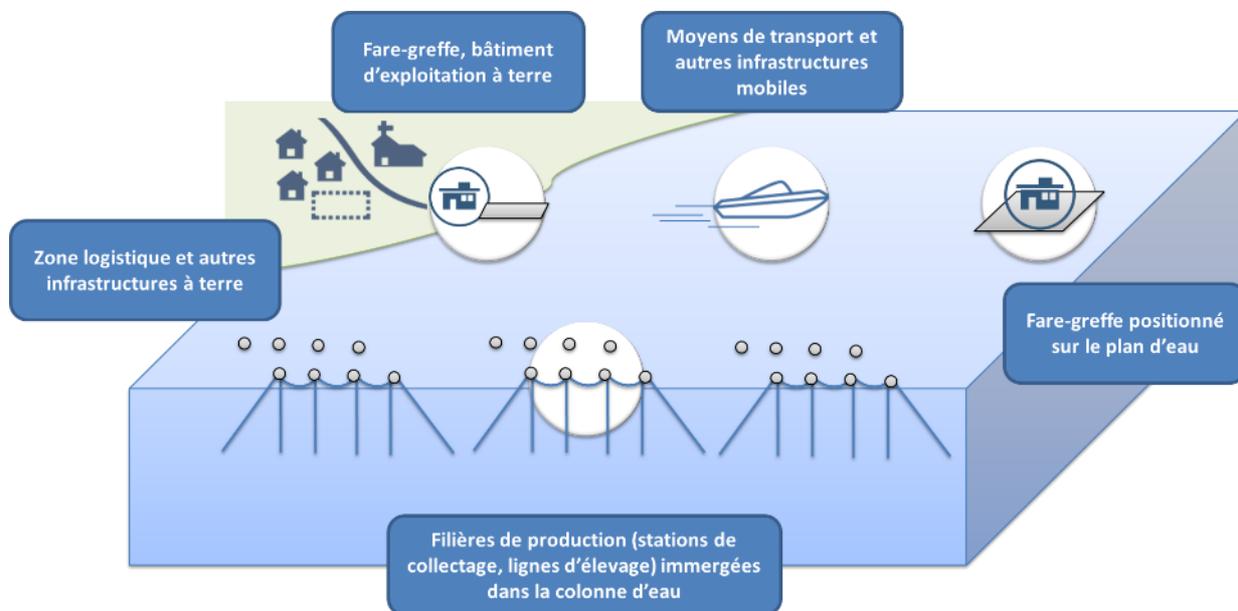


Figure 1 : Présentation schématique de la localisation et des caractéristiques des principales infrastructures pouvant être mobilisées pour la production perlicole (chaque exploitation présente une configuration particulière et ne répond pas nécessairement à cette présentation schématique ; à noter par exemple que le « fare » ou fare-greffe<sup>3</sup> d'une exploitation peut se trouver, selon les cas, sur le plan d'eau (bâtiment sur pilotis) ou à terre sur la bande littorale).

Tableau 1 : Caractérisation des pressions potentielles liées aux infrastructures nécessaires à la production.

Dans le milieu marin :	A terre :
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Occupation de l'espace</b></li> <li>- <b>Modification de l'hydrodynamisme</b></li> <li>- <b>Introduction de supports de colonisation</b></li> <li>- <b>Positionnement d'organismes benthiques au sein de la colonne d'eau</b></li> <li>- <b>Production de déchets et pollutions</b></li> <li>- <b>Consommation d'énergie et d'eau</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Occupation de l'espace</li> <li>- Production de déchets et pollutions</li> <li>- Consommation d'énergie et d'eau</li> </ul>

<sup>3</sup> Le « fare » (également appelé fare-greffe, ferme ou bâtiment d'exploitation) peut être implanté, suivant les exploitations, à terre à proximité directe du rivage ou alors directement sur le domaine public maritime (faisant alors l'objet d'une autorisation d'occupation temporaire).

*Il est important de relever ici l'importante variabilité des effets de la perliculture sur l'environnement. Celle-ci se manifeste au cours du temps, en fonction des sites, des équilibres écologiques en place, du contexte local et enfin (et surtout) de la nature et de l'intensité de l'activité. Ainsi, pour approfondir ces premiers éléments de connaissance, une analyse plus détaillée à l'échelle des Gambier et de sous-unités géographiques (chacune des baies exploitées, par exemple) nous semble nécessaire afin de caractériser dans le détail cette variabilité et son déterminisme.*

### **1.1.2 LES PRESSIONS LIEES A LA PHYSIOLOGIE DE L'ESPECE CULTIVEE**

La perliculture consiste en l'élevage dans le milieu naturel lagunaire de l'espèce d'huître perlière *Pinctada margaritifera*, élevée et greffée pour la production de perles, ainsi que d'autres produits perliers (keishi, mabe...).

Filtreur suspensivore sélectif, l'huître perlière exerce une pression de prédation différentielle sur les communautés planctoniques, notamment en fonction de la taille des organismes planctoniques. En effet, il est communément admis que les particules picoplanctoniques sont peu consommées, représentant moins de 20% des particules retenues par le filtre branchial (Fournier et al, 2012a ; Loret et al, 2000 ; Pouvreau et al, 1999). Cette pression de prédation est généralement considérée sous le terme de « top-down » control (Dame, 1993).

Dans le même temps, l'excrétion dissoute produite par *Pinctada margaritifera* constitue une source de nutriments indispensable aux producteurs primaires, en particulier l'azote, qui est l'élément limitant de la production primaire dans les lagons d'atoll (Dufour & Berland, 1999, Dufour et al, 2001, Charpy et al, 2012). Ainsi, en zone oligotrophe, dans une certaine mesure, l'existence d'une production perlicole en constituant une source directe d'azote dans la colonne d'eau (Lacoste et al, 2014 ; Gaertner-Mazouni et al, 2012) peut avoir des effets positifs sur le réseau trophique.

Par leur métabolisme, les huîtres perlières génèrent également des biodépôts, assurant ainsi, non seulement une transformation de la matière, mais aussi un transfert du pelagos vers le benthos. Dans ce cadre, la perliculture peut constituer une pression sur les habitats benthiques et modifier la nature des sédiments (enrichissement en matière organique). Toutefois, compte tenu de la hauteur d'eau dans laquelle sont positionnés les élevages (de l'ordre de 30-40m), une part importante du matériel est recyclée dans la colonne d'eau ou transportée avant d'atteindre le fond, d'où les faibles taux d'enrichissement mesurés sous les filières (Gaertner-Mazouni et al, 2012).

*Dans ces zones profondes, d'après nos observations, au-delà de la sédimentation naturelle, la principale cause d'enrichissement des sédiments est induite par la perte (ou parfois le rejet) des filières et du matériel d'élevage, qui s'accumule ensuite directement sur le fond. A l'opposé, dans les secteurs peu profonds (proximité de certaines fermes, baie semi-fermée), un enrichissement direct des sédiments via les biodépôts a été observé, mais à notre connaissance aucune étude n'a été menée. Nos observations sur le terrain font état d'une accumulation de matière organique avec parfois un début d'anoxie des sédiments associés à une importante mortalité des coraux situés à proximité directe.*

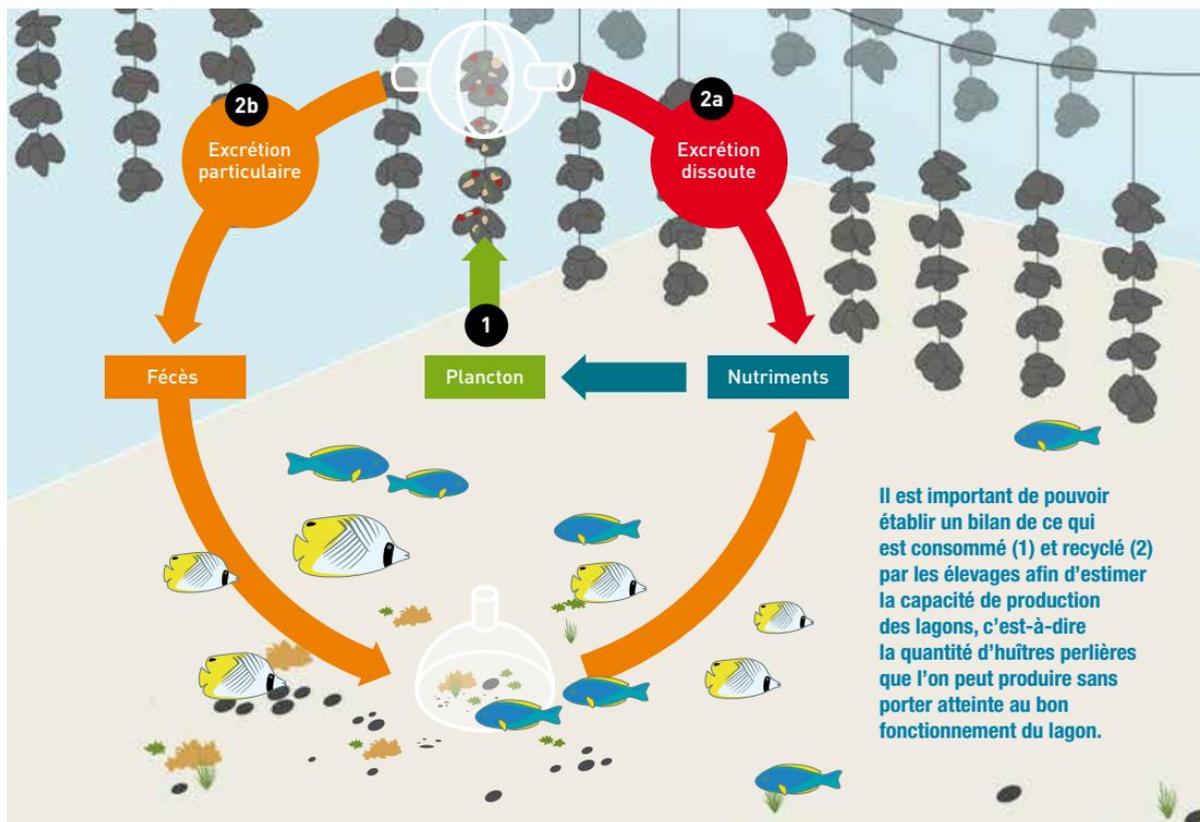


Figure 2 : Présentation des mécanismes de recyclage des nutriments issus de la production perlicole en place dans la colonne d'eau (source : Guide pour l'exploitation de l'huître perlière en Polynésie française, 2016).

Enfin, l'effet combiné de la présence en masse d'huîtres perlières dans la colonne d'eau et de structures d'élevage immergées engendre une certaine attraction de populations d'espèces sauvages (poissons, tortues par exemple) autour des concessions (Cartier & Carpenter, 2014), qui peut jouer sur leur diversité et leur abondance (rôle de récifs artificiels, lieu de protection ou d'alimentation privilégié). En effet, les huîtres perlières ou les épibiontes constituent parfois une source directe de nourriture pour ces organismes, d'où découlent ensuite des problèmes de prédation sur les cheptels, induisant des mesures de protection spécifiques (ajout de grillages plastiques notamment). De façon plus anecdotique, la présence d'infrastructures de production dans le milieu lagunaire peut accidentellement gêner certaines espèces (exemples existants avec des mammifères marins, mais très peu cas répertoriés à ce jour en Polynésie française).

Tableau 2 : Caractérisation des pressions potentielles liées à la physiologie de l'espèce cultivée

**Dans le milieu marin :**

- Transformation de matière via le métabolisme des nacrés
- Transfert de matières organiques vers les sédiments
- Influence sur les communautés planctoniques au sein de la colonne d'eau (consommation différentielle et excrétion d'éléments dissous spécifiques)
- Influence indirecte sur les habitats benthiques (via les biodépôts induits)
- Attraction d'espèces sauvages autour des filières d'élevage

### **1.1.3 LES PRINCIPALES PRESSIONS LIEES AUX PRATIQUES DES PERLICULTEURS**

Dans cette partie, on s'intéressera aux modalités d'exercice de la perliculture. En effet, les pratiques spécifiques des perliculteurs à l'échelle de leur exploitation peuvent moduler les pressions décrites précédemment (liées aux infrastructures et à l'espèce cultivée). Elles peuvent également engendrer des pressions supplémentaires à différents niveaux. Ainsi, selon les densités en élevage, la durée de certaines étapes de production, ou encore les protocoles utilisés pour le nettoyage des cheptels (fréquence, localisation, moyens mobilisés : directement sur zone à l'aide d'un surpresseur, ou par l'intermédiaire des poissons du genre *Chaetodon*), les effets induits sur l'écosystème ne seront ni de même nature, ni de même ordre.

L'activité perlicole peut également être à l'origine de la transmission ou la prolifération d'organismes pathogènes (importation de parasites, maladies, virus ou autres agents infectieux transmissibles aux huîtres perlières). Ceci peut être dû à la ré-immersion directe de produits vivants, à la réutilisation de matériel usagé pour la greffe (pratique interdite en Polynésie française), au transfert de cheptels sans précautions, etc. Par ailleurs, l'activité de nettoyage et surtout la translocation des cheptels peuvent également induire l'introduction d'espèces invasives ou amplifier artificiellement la dispersion de certaines espèces. Les conséquences possibles sont : une altération des habitats et de la chaîne alimentaire (compétition trophique et spatiale), une réduction de la survie des cheptels et parfois une dégradation des conditions de travail des perliculteurs (cas des anémones urticantes dont le nombre a été démultiplié suite à l'usage du surpresseur). Enfin, il faut considérer également le risque de pollution génétique. Ce risque, déjà induit dans le cadre de translocation de cheptels, pourrait être aujourd'hui amplifié par le développement d'écloseries. Ainsi, il est important de veiller au fait que la sélection génétique (pratiquée de manière courante en écloserie pour l'amélioration des performances des cheptels) soit réalisée dans un cadre strict et contrôlé, afin que cela n'induisse pas d'altération du patrimoine génétique naturel des cheptels. En effet, toute réduction de ce dernier diminuerait sensiblement les capacités d'adaptation de l'espèce aux modifications de l'environnement.

Enfin, et comme toute activité, l'activité perlicole engendre une production de déchets (Tableau 2). Selon les pratiques de production (choix du matériel, entretien et stockage, quantité et qualité utilisées, recyclage et réutilisation, etc.), nous avons pu montrer que les quantités de déchets produites peuvent s'avérer importantes, de l'ordre de 2 tonnes en moyenne par an (sans compter les blocs de béton et bien qu'il puisse exister une grande variabilité d'une année sur l'autre) pour une ferme de taille moyenne (disposant par exemple de 15 stations de collectage et de 15 ha de concession) (Rodriguez & Gaertner-Mazouni, 2016). Aussi, à l'échelle du lagon, selon l'intensité de l'activité (induisant des quantités de déchets générés plus ou moins élevées) et selon les modalités de gestion de ces déchets (gestion collective ou individuelle ; collecte, stockage et traitement ; immersion, enfouissement, brûlage, entreposage dans un CET, recyclage, réexpédition, etc.), des pressions d'ordre chimique peuvent apparaître au sein du milieu naturel (déchets ingérés et bioaccumulation, diffusion de résidus et effets sur la santé de l'écosystème et le cycle de vie des espèces, etc.).

*Si l'on se réfère au code de l'environnement (articles A 212-2 et A212-3), « tout producteur ou détenteur de déchets à risque est tenu d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination (...), dans des conditions propres à éviter tout effet nocif sur l'environnement et la santé ». La gestion des déchets professionnels de la perliculture engagerait donc directement la responsabilité des producteurs.*

Tableau 3 : Caractérisation des différents types de déchets professionnels issus de la production perlicole.

Type de déchets	Origine	Exemples
<b>Déchets assimilables à des ordures ménagères</b>	liés à la présence du personnel sur le « fare » ou autre bâtiment / plateforme logistique	restes de repas, emballages, papier, carton, bouteilles plastiques, etc.
<b>Déchets Industriels Banals (D.I.B.), non dangereux et non inertes</b>	issus du matériel de production utilisé sur le « fare » ou autre bâtiment / plateforme logistique	gants, bottes, équipements spécifiques du personnel, sacs, bacs, cales et matériel de greffe, pneus, etc.
	issus du matériel de production utilisé dans le plan d'eau	cordages, nylons, collecteurs, kangaroos et autres supports de production, grillages de protection, etc.
<b>Déchets pernicieux, constitués de matière organique</b>	récoltés sur le « fare » (issus du travail des nacres et du nettoyage du matériel)	déchets coquilliers, rebuts de perle, épibiontes (algues, ascidies, autres bivalves, etc...)
	issus du nettoyage des lignes et du matériel sur le plan d'eau	déchets coquilliers, épibiontes
<b>Déchets dangereux</b>	liés à l'ensemble du procédé de production	extincteurs, batteries, futs, huiles (vidange, graissage), produits d'entretien, produits phytosanitaires, peinture, solvants, etc.
<b>Déchets d'équipements électriques et électroniques</b>	liés à l'ensemble du procédé de production	moteurs, groupes électrogènes, panneaux solaires, perceuses, surpresseurs, électroménager, matériel informatique, GPS, etc.
<b>Déchets encombrants (présentant un volume ou un poids conséquent)</b>	concernant les moyens de transports	carcasses de véhicules automobiles (4x4, scooters), barge, bateau, etc.
	relatifs aux infrastructures de production	fare-greffe, locaux et plateformes logistiques, blocs de lestage des filières, etc.

Associée aux pratiques de perliculture, la problématique des macro-déchets immergés se caractérise par l'accumulation dans le lagon d'infrastructures et de matériels de production (cordages, bouées, collecteurs, blocs de béton, etc.). Cette accumulation peut être accidentelle (perte du matériel lors notamment d'évènements climatiques extrêmes) ou volontaire (rejet direct dans le milieu, abandon du matériel dans le cas d'une cessation d'activité). Longtemps ignorée, cette problématique constitue désormais un défi important pour la filière souhaitant s'inscrire dans une démarche durable. Si l'évolution réglementaire actuelle en matière d'environnement, initiée par le Ministère de l'environnement de la Polynésie française (via la Direction de l'environnement, DIREN), entend responsabiliser les producteurs (et se diriger vers un système de responsabilité élargie des producteurs, REP), aucun dispositif opérant n'existe actuellement en perliculture. De plus, aucun dispositif adapté de collecte, traitement et recyclage de ces déchets produits n'est à ce jour opérationnel.

*D'un point de vue réglementaire, il est important de noter que la réglementation actuelle prévoit qu'à la « cessation de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime (DPM), pour quelque cause que ce soit, les installations réalisées sur les emplacements concédés doivent être enlevées et les lieux remis en leur état*

*initial par le bénéficiaire» (Délibération n° 2004-34 APF du 12 février 2004 portant composition et administration du domaine public en Polynésie française).*

L'utilisation de composés chimiques (dont des antibiotiques), ou de matériels dont la composition intègre de nombreux additifs (anti-UV par exemple) peut induire des effets négatifs non seulement pour les espèces mais plus généralement pour l'écosystème. C'est par exemple le cas des matériaux plastiques servant à la production dont les effets et la persistance dans l'environnement restent encore à étudier. On sait néanmoins que la dégradation/fragmentation de ces matériels génère des microplastiques qui sont directement assimilables dans la chaîne alimentaire. On peut également évoquer le cas des enrobages des nucléus (molécules à propriété antimicrobienne, cicatrisante, anti-inflammatoire ou filmogène) dont la composition exacte n'est pas connue à ce jour, tout comme les propriétés de diffusion des composés utilisés dans la colonne d'eau et dans les tissus, ou encore leur rémanence dans le milieu naturel.

Les pratiques de production peuvent également engendrer des nuisances sonore ou visuelle responsables d'une perturbation de certains des traits de vie d'espèces de poissons ou d'oiseaux (alimentation, reproduction, etc.), d'autant plus importante lorsque l'activité de production est soutenue. Les modalités de contrôle de prédateurs peuvent également avoir un effet sur les populations de certaines de ces espèces.

Enfin, l'entretien ponctuel des fonds lagonaires (réalisés notamment pour la récupération de matériel) peut avoir des effets potentiels au niveau de la déstructuration d'habitats mais surtout de la remise en suspension de particules avec l'ensemble des effets secondaires qui peuvent y être associés (turbidité, relargage de contaminants piégés dans le sédiment, anoxie, etc.). La sévérité des effets induits peut alors dépendre de la fréquence de ces opérations, de leur intensité, des modalités de réalisation et des précautions prises. Elle est également dépendante des conditions environnementales locales, notamment hydrologiques et topographiques.

Tableau 4 : Caractérisation des pressions potentielles liées aux pratiques d'élevage.

Dans le milieu marin :	A terre :
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Augmentation du transfert de matières organiques vers les sédiments</b></li> <li>- <b>Augmentation de l'impact sur les communautés planctoniques</b></li> <li>- <b>Transmission de pathogènes et/ou d'espèces allochtones</b></li> <li>- <b>Dispersion d'espèces invasives via les pratiques de nettoyage</b></li> <li>- <b>Réduction de la diversité génétique</b></li> <li>- <b>Pollution chimique (plastique, antibiotiques, etc.) et macro-déchets</b></li> <li>- <b>Consommation d'énergie et d'eau</b></li> <li>- <b>Nuisances sonores ou visuelles, dérangement d'espèces</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rejets et pollutions lors de l'entretien et du stockage du matériel, du travail des nacres ou d'autres activités</li> <li>- Consommation d'énergie et d'eau</li> <li>- Nuisances sonores, visuelles ou olfactives</li> </ul>

*Selon leur nature et leur intensité, les « pratiques » des perliculteurs (qu'elles soient individuelles ou collectives) peuvent potentiellement rompre les équilibres écologiques en place, et avoir un effet sur le fonctionnement de l'écosystème dans son ensemble, et donc in fine sur la production locale. Il est donc impératif de caractériser ces pressions à l'échelle des Gambier et de sous-unités géographiques définies notamment en fonction de l'activité et des caractéristiques environnementales.*

## 1.2 EFFETS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LA PERLICULTURE

En immersion continue durant de nombreux mois dans le lagon en phase d'élevage, les performances des huîtres perlières (notamment au niveau de leur croissance, mais aussi de la qualité des perles produites) sont étroitement dépendantes de la qualité du milieu environnant. En effet, les élevages sont influencés par la nourriture disponible (quantité et qualité), par les conditions physico-chimiques (oxygène, température, pH, etc.) ou encore des conditions climatiques.

*Plusieurs séries d'expériences ont permis de déterminer que les conditions de l'environnement peuvent sensiblement influencer la physiologie des huîtres perlières cultivées (Lacoste et al, 2014) et avoir un effet déterminant sur la qualité des perles obtenues. En particulier, il a pu être observé des effets du « site de culture » sur le nombre de keishi, le cerclage, la forme, la couleur et la classification des perles, et par contre pas d'effets sur l'épaisseur, le poids ou le lustre des perles (Blay et al 2016 ; Le Pabic et al 2016).*

Les interactions biotiques jouent un rôle important, que ce soit au niveau de la prédation subie par les cheptels (du fait de certains poissons : baliste, raie aigle par exemple), d'une infection par des pathogènes (bactéries, protozoaire ou virus) mais aussi de la compétition trophique avec certains épibiontes notamment. Le biofouling est provoqué par la fixation et le développement d'organismes épibiontes (animaux et végétaux) qui se servent des nacres et du matériel immergé comme supports de fixation. Cette colonisation, lorsqu'elle est importante, a des conséquences sur les étapes de production car elle augmente notamment le poids des lignes d'élevage. Cela nécessite une intervention fréquente (ajout de bouées pour maintenir la flottaison) et des opérations de nettoyage. Dans une étude portant sur la perliculture en Australie, le cout induit par le biofouling est estimé à environ 30% du cout de production (De Nys et al. 2002). Dans le cas d'invasion par certains épibiontes (éponges du genre *Cliona* ou de vers perforants du genre *Polydora*), les conséquences pour les cheptels peuvent s'avérer catastrophiques (Lacoste & Gaertner-Mazouni 2014 ; Fitridge & Keough, 2013). Dans ces situations, des interventions spécifiques et des précautions de manutention pour endiguer ces développements sont à réaliser. Or, notre expérience du terrain montre que les perliculteurs, souvent peu ou mal informés, ne réagissent pas toujours de manière adaptée face à cet enjeu. Dans de rares cas, nous avons aussi pu constater que certaines pratiques pouvaient constituer des sources importantes de propagation d'espèces indésirables (fortes densités d'élevage, mélange entre des lots saints et infestés, transferts). Enfin, d'un autre côté, les actions de nettoyage, en plus de l'impact induit sur l'écosystème (précisé précédemment), génèrent un stress des cheptels et parfois constituent une source de mortalité.

*Depuis plusieurs années, les travaux initiés par l'UPF visent à comprendre les interactions trophiques entre les huîtres perlières et certaines communautés épibiontes. Parmi les hypothèses explorées, on trouve celle considérant qu'à partir d'un certain stade, la colonisation par les épibiontes atteindrait un seuil, au-delà duquel, le fonctionnement de l'assemblage huître perlière-épibiontes serait optimal, améliorant les performances des lots non nettoyés. Dans le cadre du programme Polyperl, plusieurs séries d'expériences ont été menées afin de tester cette hypothèse. Nos premiers résultats mettent en évidence l'absence de compétition trophique entre les populations d'huîtres perlières et d'ascidies épibiontes (Lacoste et al, 2014). Nous avons*

*montré, dans nos conditions d'expérience (Baie de Gatavake aux Gambier, 22 mois d'expérience), qu'il n'y avait aucune différence de mortalité entre les lots nettoyés et non nettoyés (< 5 %), ni de différence de croissance entre les lots nettoyés à différentes fréquences et ceux jamais nettoyés (Lacoste et al, 2015).*

Plus largement, l'évolution de l'environnement peut être liée à des phénomènes globaux. A titre d'exemple, l'acidification des eaux et l'élévation de leur température sont susceptibles d'affecter la reproduction des huîtres perlières (Teaninuiraitemoana et al, 2015 ; Le Moullac et al 2016 a et b), la survie des larves (Thomas et al, 2016) ou encore la biominéralisation (Latchere et al, *in prep*). L'élévation du niveau des mers peut aussi contraindre les perliculteurs à rehausser leurs installations (fare) sur le lagon.

L'augmentation de la concentration en composés chimiques dans l'océan, comme les microplastiques (pollution concernant désormais l'environnement marin à l'échelle planétaire), pourrait également avoir des effets sur les traits de vie des nacres à l'image de ce qui a été observé pour les moules et pour l'huître creuse *Crassostrea gigas* (Sussarellu et al, 2015 ; Von Moos et al, 2012). Cette hypothèse fait l'objet d'un travail particulier d'investigations en laboratoire, mené actuellement par l'UMR-EIO (C Reisser, G Le Moullac).

*Même si la perliculture semble sous l'influence de processus globaux (changement climatique), il apparaît clairement une dépendance de l'activité perlicole au « bon état de santé » de l'environnement lagonaire immédiat. Dans ce contexte, il est fondamental de pouvoir caractériser la capacité d'acceptation du lagon des Gambier vis-à-vis de la perliculture afin de garantir une durabilité de l'activité et d'en suivre l'évolution.*

### **1.3 INTEGRATION DE LA PERLICULTURE AU SEIN DU TERRITOIRE**

#### **1.3.1 CARACTERISTIQUES DE L'ACTIVITE DE PERLICULTURE AUX GAMBIER**

Les Gambier bénéficient de conditions environnementales et climatiques favorables pour la perliculture, comme en traduit la production de perles d'une qualité reconnue. Le lagon est entouré d'une barrière de corail, immergée au sud et à l'ouest, et ouverte à de nombreux points et au travers trois passes sur le reste du pourtour. Ceci induit une courantologie particulière qui reste néanmoins à caractériser, ainsi qu'une connexion importante des eaux lagonaires et océaniques. Enfin, la position géographique des Gambier (Rikitea : 23° 7' 11.644" S ; 134° 58' 12.954" W) ou encore le positionnement de l'anticyclone de Pâques à proximité (stationnaire et pouvant assurer une certaine protection contre les événements climatiques extrêmes – station météorologique, com. pers., 2015) expliquerait un climat particulier (pluviométrie jouant sur les apports en eau douce) et la présence d'une eau plus fraîche en fonction des saisons.

Contrairement à d'autres îles ou atolls perlicoles, le captage de naissain au sein du lagon des Gambier est autorisé dans une zone uniquement dédiée à cette étape de production (dite « zone de collectage », Figure 3). Les concessions d'élevage se situent quant à elles principalement tout autour de l'île de Mangareva, notamment au sein des différentes baies. À lui seul, l'archipel des Gambier abritait, début 2016, 156 concessions (contre 102 en 2010) pour une surface totale de 1 615 hectares. Les stations de collectages occupent une superficie de 1221 hectares (DRMM, com. pers. 2016). Les structures émergées (fare-greffe) aménagées sur le domaine public maritime couvrent plus de 2 500 m<sup>2</sup>.

Entre 2010 et 2016, de très nombreuses fermes ont fait l'objet de rénovation, d'extension ou de reconstruction. L'Arrêté n°24 du Conseil des Ministres du 14 janvier 2016 a augmenté le plafond des surfaces cumulées de concessions à 2 000 hectares et le nombre de stations de collectage à 1 700

(entièrement affectés en mai 2017). La tendance est donc aujourd'hui au développement de l'activité, qui se traduit aussi par une augmentation du nombre de perliculteurs (DRMM, com. pers., avril 2017).

*La perliculture est la première activité économique des Gambier et constitue sa principale source d'emploi et de développement. L'activité perlicole constitue donc un véritable atout. Néanmoins, cette activité est fortement dépendante de la qualité de l'environnement lagunaire ou encore des fluctuations des marchés internationaux de la perle. Ainsi, bien que structurante au niveau économique et social, cette mono-activité représente aussi une source importante de vulnérabilité pour le territoire des Gambier.*

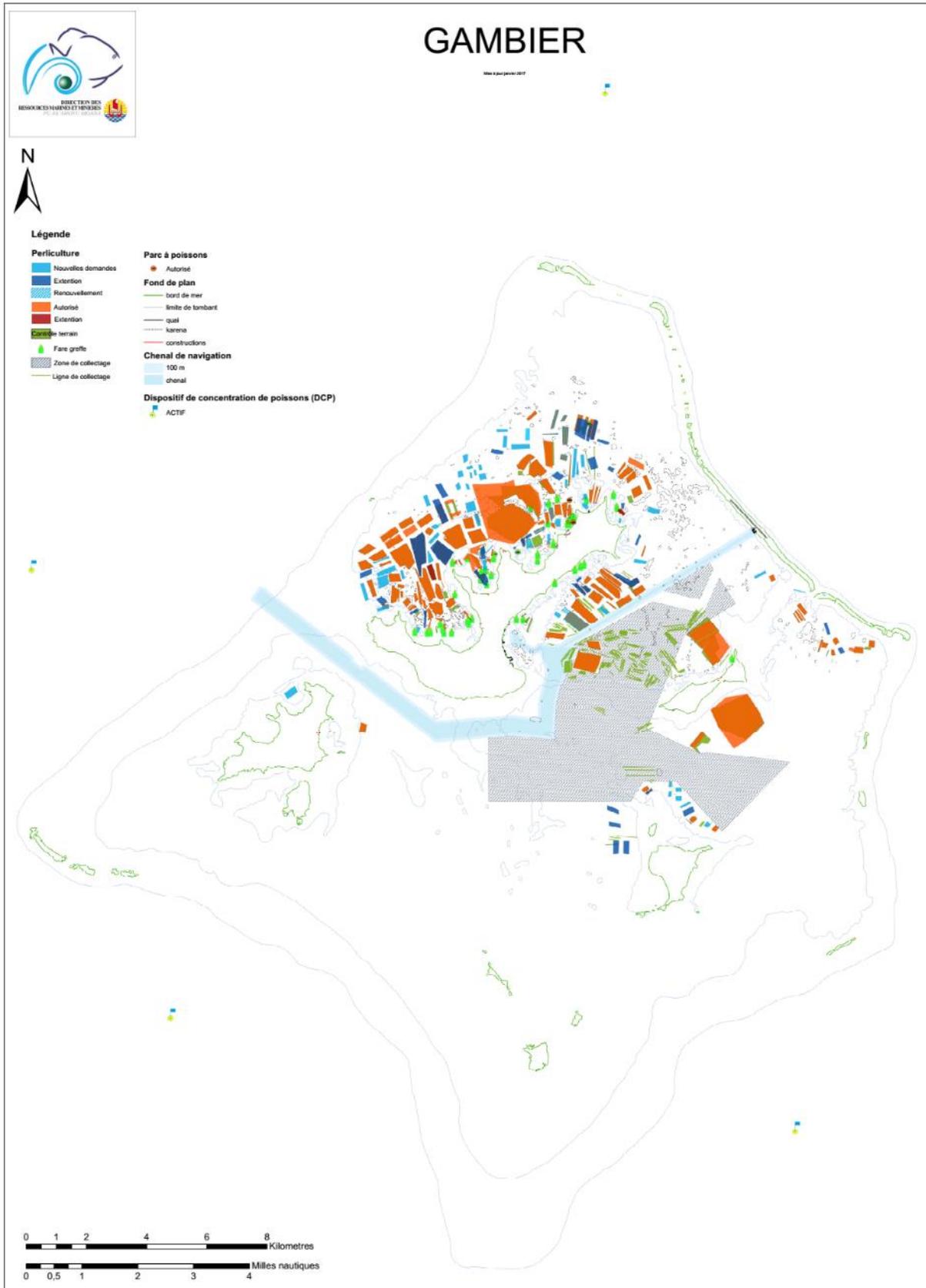


Figure 3 : Cartographie présentant les concessions attribuées pour le collectage et l'élevage, ainsi que les nouvelles demandes en cours d'instruction en janvier 2017 (source DRMM, 2017).

### **1.3.2 INTERACTIONS DE LA PERLICULTURE AVEC LES AUTRES USAGES DU TERRITOIRE**

L'image de la perliculture est un atout majeur du territoire qui en tire une certaine attractivité, que ce soit au niveau de la profession elle-même qui est en plein développement ou encore d'un point de vue touristique. Pourtant, certaines pratiques ponctuelles de stockage de matériels après usage, ou de séchage des stations de collectage, peuvent induire localement des nuisances olfactives et paysagères, et potentiellement affecter cette image de la perliculture.

Par ailleurs, les conséquences de certaines pratiques sur la santé des populations pourraient être considérées et étudiées (potentiels effets sur la santé humaine de la diffusion des antibiotiques dans le milieu et au sein d'espèces consommées, modalités de stockage des déchets, notamment dangereux, et effets des matières plastiques et autres effluents, etc.).

Avec une emprise spatiale conséquente sur le lagon (mais aussi à terre), l'activité de perliculture a une influence majeure dans l'utilisation qui est faite du territoire et en particulier du plan d'eau. En effet, l'emprise spatiale de la perliculture contraint, de fait, le développement de certaines activités (navigation de loisir, activités touristiques par exemple) et engendre de potentiels conflits d'usage. Dans certains secteurs, faute d'un balisage en surface suffisant, un risque au niveau de la navigation existe, notamment en raison de la densité des concessions.

Parallèlement, les autres activités humaines d'un territoire (activités agricoles, touristiques, aménagements et développement urbain, etc.) peuvent également avoir des conséquences plus ou moins directes sur l'activité perlicole, notamment en ayant des effets sur les ressources mobilisées par celles-ci (par exemple, compétition spatiale à terre, rejets et pollutions induites par l'agriculture pouvant dégrader l'état de santé du lagon voire engendrer des phénomènes d'eutrophisation, utilisation de certains produits chimiques pour la lutte contre certaines espèces nuisibles, etc.).

*Il est donc important d'avoir une vision prospective à long terme et d'envisager un développement durable des activités et usages d'un territoire en considérant leurs interrelations et les effets potentiels qu'ils peuvent avoir sur les ressources locales.*

## 2. LES PRATIQUES DE PRODUCTION : UN LEVIER D'ACTION POUR LA FILIERE

L'activité de perliculture s'intègre dans un équilibre écologique fragile. C'est un véritable « système d'interactions » dans lequel il convient de considérer les interrelations entre les différentes composantes (ressources naturelles, espaces, activités, social, etc.). Cette filière primaire, comme d'autres, est très vulnérable aux aléas climatiques et au phénomène global de changement du climat. Toutefois, dans notre approche, nous avons pu démontrer qu'une part importante des pressions induites, dépendent directement des **pratiques de production**, de leur intensité et du contexte dans lequel elles sont réalisées. Celles-ci peuvent représenter un levier d'action pour les autorités de gestion en charge de la filière perlicole. C'est donc sur la base de ce constat que nous avons centré notre approche sur les pratiques de perliculture.

*Nos observations de terrain et les échanges avec la profession aux Gambier nous ont permis d'identifier un ensemble de problématiques et surtout de leviers sur lesquels il serait intéressant d'agir. Cependant, cette analyse du contexte professionnel doit encore être accompagnée d'une meilleure connaissance du fonctionnement du lagon, de l'état de santé de l'écosystème lagonaire et de sa capacité de charge telle que définie par Mc Kindsey et al (2006), mais aussi des mécanismes à l'origine des choix des perliculteurs. La capacité de charge est en effet directement dépendante de l'activité des perliculteurs (intensité, modes de production), mais également des caractéristiques du milieu naturel (hydrodynamisme, profondeur, interaction biotiques ...) et enfin des composantes sociales (acceptation des mesures, conflits d'usages, etc...). Il s'agira de construire des indicateurs d'aide à la gestion, sur la base d'une analyse de la capacité de charge dans ses quatre composantes : physique, de production, écologique et sociale.*

### 2.1 ELEMENTS PREALABLES CONCERNANT LES PRATIQUES DE PERLICULTURE AUX GAMBIER

Comme dans d'autres zones de production, la perliculture aux Gambier concerne l'élevage d'une espèce « locale » native de la zone, ne nécessitant aucun intrant pour son alimentation et dont les individus sont naturellement collectés dans le lagon. La valorisation économique existante pour certains coproduits – nacre, korori – est importante à considérer car elle évite une production supplémentaire de déchets.

En complément, les Gambier présentent quelques spécificités, avec en premier lieu l'éloignement géographique, qui engendre des coûts et des contraintes particulières pour l'importation et l'exportation de marchandises, liées notamment à la fréquence peu élevée des rotations des goélettes et des avions. Certaines caractéristiques de la filière perlicole distinguent les Gambier d'autres zones de production, comme par exemple le fait que le transfert de cheptels exogènes (importation) de nacres y soit interdit, qu'une zone spécifique soit dédiée pour l'activité de collectage, ou encore que les collecteurs ne soient que très peu protégés de grillage contre la prédation.

Enfin, à l'image des pratiques de perliculture en Polynésie française, il est important de noter la grande diversité de pratiques aux Gambier et notamment la nature variée :

- Des dynamiques et perspectives d'accroissement de la production : avec certaines exploitations en plein développement et d'autres en situation de maintien (dans le premier cas, on observe souvent une intensification du collectage pour assurer le développement de l'exploitation et la constitution des stocks en élevage),
- Des pratiques de nettoyage : lavage au surpresseur sur barge, à proximité des filières ou sur un point fixe (facilitant la dispersion de la matière au sein du milieu mais augmentant le risque

de dissémination d'espèces invasives) ; lavage avec machine sur le fare-greffe (concentrant les déchets à proximité directe) ; lavage par des poissons du lagon (permettant un recyclage direct de la matière et sa transformation en biomasse),

- Des approches en termes d'utilisation du matériel de production : certains perliculteurs favorisant le recyclage et la réutilisation (voire l'achat de matériel d'occasion), alors que d'autres procèdent à un renouvellement très fréquent,
- Des supports de production utilisés (kangaroo, chapelet, grillage, etc.), présentant des atouts différents (protection, durabilité, adaptation au stade de production, etc.), et modifiant sensiblement les densités cultivées,
- Des corps morts utilisés (sac de sable, bloc de béton) et de leur composition (poids et taux de ciment) pouvant engendrer des durées de vie variables,
- Des cordages (qualité, diamètre, etc.) utilisés pour les lignes d'élevage et pour les stations de collectage jouant également sur la durabilité de ces dernières,
- Enfin, des stratégies d'exploitation (productivité versus qualité)...

## **2.2 PRATIQUES, TENDANCES ET EVOLUTIONS ACTUELLES**

En complément, certaines tendances et évolutions observées aux Gambier méritent d'être soulignées :

- L'intensification très récente de l'activité et la densification de la production sur le plan d'eau suite à l'augmentation d'environ 40% des surfaces de concession autorisées (de nombreuses demandes d'extension ou d'installation ont ainsi pu être honorées),
- Une consommation de matériels en forte hausse depuis 10 ans du fait de l'augmentation globale de la production mais aussi pour répondre à certaines problématiques (protection face à la prédation sur les lignes d'élevage, effort important sur le collectage pour satisfaire les besoins accrus de production...),
- Le développement récent d'une éclosérie d'huîtres perlières construite et mise en place par une ferme perlière des Gambier (projet privé),
- Une évolution rapide et constante des pratiques (suppression des supports en galvanisé, arrêt de l'immersion des futs ayant servis de moule, utilisation récente de grillages de protection, généralisation des nucléus « bio » contenant des antibiotiques...), rendant difficile l'évaluation et le suivi de leurs effets.

### **2.2.1 PRATIQUES ET MESURES OBSERVEES PERMETTANT D'EVITER OU DE MINIMISER LES PRESSIONS**

Certaines pratiques ou mesures observées aux Gambier, mises en œuvre à l'échelle individuelle pour éviter ou minimiser les pressions sur l'environnement, méritent d'être relevées et étudiées avec les services et organismes compétents. Pour exemple, certains perliculteurs s'emploient à réparer et réutiliser le matériel de production, à procéder au nettoyage des nacres par « lavage-poisson », à s'éloigner des zones de production lorsqu'un surpresseur est utilisé, à collecter et à rapatrier les déchets de production à terre, à apporter leurs déchets dits dangereux au niveau du point de collecte collectif proposé par la commune (permettant ainsi leur exportation vers Tahiti), etc.

Parallèlement, il est également à noter l'existence de nombreuses initiatives des perliculteurs pour expérimenter de nouvelles pratiques (par exemple, pour le lavage des nacres : utilisation de bains sur-salés ou en eau douce ; ou encore pour le nettoyage de matériel : immersion dans la vase, exposition au soleil, entretien particulier du matériel électronique, etc.). Cependant, les expérimentations restent souvent peu conclusives ou ne sont pas menées à leur terme, et l'échange d'expériences reste très peu développé à l'échelle locale.

### **2.2.2 PRATIQUES OBSERVEES APPARAISSANT COMME MOINS VERTUEUSES ET A FAIRE EVOLUER**

Parallèlement, d'autres pratiques, plus ou moins fréquentes, peuvent engendrer des pressions sur l'écosystème lagunaire ou l'environnement en général, avec des conséquences qui ne sont parfois pas encore mesurées aujourd'hui :

- Maintien des collecteurs improductifs ou surchargés dans la colonne jusqu'à ce qu'ils soient finalement coulés (donc non extraits du milieu lagunaire),
- « Traitement » individuel des déchets par brûlage, immersion (procédé connu sous la dénomination « d'océanisation »), enfouissement à terre avec parfois une utilisation comme remblais sur le littoral... L'ensemble de ces procédés peuvent avoir des répercussions sur l'environnement, la santé humaine voire même la production conchylicole (contamination des sols, émissions de composés toxiques, transfert de pollution par les effluents, etc.),
- Dédoublage des lignes d'élevage ou stations de collectage au niveau d'une même ligne mère,
- Nettoyage des nacres avec un surpresseur sur un point fixe directement dans le lagon à proximité des concessions d'élevage ou de la zone de collectage),
- Relargage des fils de nylon dans le milieu lagunaire à l'occasion du travail des nacres,
- Stockage et « traitement » individuel des déchets dangereux souvent non adaptés, réutilisation de certains d'entre eux pour d'autres usages (plombs de batterie, huiles, futs)...

### 3. DU DIAGNOSTIC AUX PROPOSITIONS : PLUSIEURS AXES D'ACTION POSSIBLES ?

Sur la base des éléments présentés sur les interactions potentielles entre perliculture et environnement, des pratiques observées aux Gambier, du contexte et des attentes identifiées localement, la réflexion qui suit entend apporter un certain nombre de propositions sur des enjeux clés de durabilité de l'activité. Ces propositions d'action peuvent être envisagées à l'échelle individuelle ou collective. Elles portent sur **l'encadrement** de l'activité et la mise en place de **pratiques responsables** permettant d'éviter ou de réduire certains effets. Elles sont principalement issues d'échanges avec les perliculteurs mais aussi des discussions menées avec d'autres acteurs concernés par l'activité (organismes scientifiques, organisation de producteurs (Groupements de producteurs), acteurs institutionnels du Pays et de l'Etat).

Nous avons pu constater l'existence d'un fort intérêt de la part des professionnels de la perliculture pour cette réflexion et pour des propositions qui viseraient plus de durabilité dans les pratiques mises en œuvre. Néanmoins, il reste important, pour nombre d'entre elles, 1) de réaliser une analyse de faisabilité traitant notamment des volets technique, réglementaire, économique et d'acceptabilité sociale locale, et 2) d'identifier en fonction des résultats obtenus, les modalités d'une mise en œuvre opérationnelle.

Toutefois, il s'agira de bien analyser au préalable en quoi de tels changements de pratiques seraient envisageables dans le contexte local. En effet, certains exemples ont déjà permis d'identifier des limites importantes dans leur mise en œuvre, voire même dans leur efficacité par rapport aux objectifs attendus.

#### Premiers exemples étudiés quant à leur faisabilité et opportunité :

*La proposition d'une mise en place d'ancrages « écologiques » pour la perliculture, a été confrontée à la mise en évidence de limites techniques par rapport à la profondeur et la nature des fonds, mais aussi des limites liées à l'importance des coûts induits. Enfin, l'analyse a également montré que cette option risquait de ne pas répondre au final à la problématique première de « perte du point d'ancrage par rupture des cordages usagés » et au besoin plus ou moins régulier des perliculteurs de changer le positionnement de leurs lignes.*

*Un autre exemple concerne la récupération des corps morts, pour lequel des difficultés liées à la faisabilité technique (masses immergées importantes et profondeur dépassant parfois les 70 m), sont apparues. D'autre part, la nécessité d'une analyse coût-bénéfice mettant en regard les hypothétiques gains environnementaux ou de production, les effets observés au vu d'un matériau dit « inerte » et les impacts potentiels de leur collecte reste un préalable nécessaire.*

Dans ce travail, nous avons pu identifier 5 axes de propositions d'action qui portent sur :

- La régulation de l'intensité de production,
- La gestion des déchets organiques et des macrodéchets liés à l'activité,
- La consommation de matériel de production,
- La gestion des risques sanitaires, génétiques ou de contamination chimique,
- La limitation des nuisances et effets sur la biodiversité.

Ces propositions, qui restent à discuter et à prioriser, peuvent néanmoins servir de base à une réflexion sur l'amélioration de la durabilité de l'activité, à la fois sur le plan environnemental, mais aussi social et économique.

### 3.1. LA REGULATION DE L'INTENSITE DE PRODUCTION.

Comme souligné dans les travaux récents d'analyse économique de la filière de perliculture, la situation actuelle de forte production de perles est en partie responsable de la crise traversée par le secteur. En effet, sur la période allant de 1999 à 2013, la production de perles a augmenté de 60 % quand le prix de vente a diminué de 70 %, s'accompagnant de plus, d'une réduction du nombre d'emploi pour la production (résultats obtenus dans le cadre du programme ANR Polyperl). La question de **l'intensité de production** (Tableau 5) est donc une question centrale. L'extension très récente et rapide de l'activité au niveau des Gambier, pour être durable, doit impérativement s'inscrire dans une perspective d'amélioration de la qualité des productions. Ce développement pose également de manière forte la question de la soutenabilité de cette production, tant au niveau de l'étape de collectage des naissains (source unique de nacres pour les producteurs, qui devra donc être suffisante), du grossissement des cheptels (malgré l'augmentation importante des densités), de la disponibilité d'une main d'œuvre qualifiée pour réaliser ces étapes (qui ne pourra sans doute pas être trouvée localement dans son intégralité), ou enfin de la gestion des déchets induits par l'activité (dont les volumes vont augmenter de manière concomitante à la production). Dans un tel contexte, il nous semblerait important de s'interroger sur un « gel des concessions » pour une durée minimale de 5 ans. Ce temps paraît en effet nécessaire pour permettre la réalisation d'une première analyse des conséquences / modifications induites sur les volets environnementaux, économiques et sociaux, et aussi d'analyser la viabilité d'une telle intensification.

Tableau 5 : Propositions concernant la question de l'intensité de production

Prévention / évitement des effets :	Perspectives d'actions complémentaires :
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Respecter les densités d'élevage et viser une production de qualité à l'échelle de l'exploitation</b></li> <li>- <b>Sensibiliser les perliculteurs et les employés des fermes perlières aux enjeux environnementaux</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractériser la capacité de charge du milieu lagonaire vis-à-vis de la perliculture (capacité de charge)</li> <li>- Réaliser une étude de courantologie et de bathymétrie sur le lagon des Gambier afin de caractériser les différents sites de production</li> <li>- Définir des modalités particulières de gestion pour la zone de collectage (obligation du retrait des stations de collectage en fin de cycle, modalités particulières de gestion des positionnements, etc.) pour éviter une surcharge de la zone</li> <li>- Envisager l'élaboration puis la mise en place d'un outil de veille et de prévision du collectage</li> <li>- S'inscrire dans une démarche de progrès pouvant aboutir à un signe de reconnaissance particulier (démarche qualité)</li> </ul>
Encadrement / organisation de l'activité :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Renforcer le contrôle de l'activité afin de veiller au respect des réglementations</b></li> <li>- <b>Proposer un schéma des structures, avec par exemple une limitation de la surface allouée à la production perlicole à 2 000 ha et un nombre de stations de collectage maximal de 1 700 stations, tant qu'une étude sur la capacité de charge du lagon n'est pas disponible</b></li> <li>- <b>Avancer sur la mise en place d'une gestion décentralisée de l'activité ainsi que d'un comité local de gestion</b></li> </ul>	

La caractérisation de la **capacité de charge du milieu** constitue un axe de travail important. Sur cette question, des études scientifiques sur les flux de matière organique et les communautés à l'interface eau-sédiment (Gaertner-Mazouni et al 2012 ; Lacoste & Gaertner-Mazouni 2016) sont à réaliser ainsi

que des analyses de courantologie. Les travaux sur la caractérisation des habitats et du système pélagique sont également à renforcer, car les connaissances disponibles restent encore trop partielles. Enfin, il est important de considérer les effets de certaines pratiques de lavage des lignes d'élevage pouvant entraîner des **concentrations importantes de matières organiques** sur certaines zones. Dans cette perspective, des actions de recherche sur l'impact de ces rejets sur le milieu environnant seraient à mener.

### **3.2. LA GESTION DES DECHETS ORGANIQUES ET DES MACRODECHETS LIES A L'ACTIVITE.**

Concernant les autres **déchets liés à la production perlicole** (Tableau 6), la recherche de pratiques alternatives et de nouveaux matériels à utiliser (biomatériaux, matériels recyclables) doit venir compléter le travail sur l'identification de solutions pour la gestion des déchets et rejets. En complément, les modalités de financement nécessaires à une gestion collective des déchets (redevance particulière, réaffectation de fonds issus de différentes taxes concernant l'activité...) restent à explorer comme c'est le cas, notamment dans l'étude réalisée dans le cadre du projet RESCCUE à ce sujet<sup>4</sup>. Enfin, ces réflexions devront également s'inscrire dans une vision prospective sur le risque de production de déchets en cas de crise de la filière (abandon des infrastructures et du matériel), à l'image de ce qui a été observé dans de nombreux lagons autrefois en activité. En ce qui concerne la réalisation d'une potentielle collecte des macro-déchets immergés dans le lagon, il sera important de prévoir en préalable une étude d'incidence solide (risques de pollution) et se questionner alors sur la destination finale de ces déchets si une collecte et un rapatriement à terre sont envisagés.

---

<sup>4</sup> Diazabakana A., Binet T., Prunera K., Charles M (2017) Etude de faisabilité des mécanismes de financement envisagés pour accompagner les changements de pratiques perlicoles et agricoles en Polynésie française, 2017. Projet RESCCUE. Vertigo Lab et Agence Française pour la Biodiversité, 120p.

Tableau 6 : Propositions concernant la gestion des macrodéchets de production.

Encadrement / organisation de l'activité :	Information / Sensibilisation :
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Envisager à l'échelle collective la mise en place d'une gestion des déchets professionnels et l'articuler avec celle sur les déchets ménagers de façon à ce que les infrastructures locales de traitement puissent être adaptées</li> <li>- Fournir à chaque exploitation des bacs adaptés pour la collecte des déchets de production et pour favoriser leur rapatriement à terre (s'inspirer des solutions existantes en conchyliculture et des modalités mises en place)</li> <li>- Concevoir des mesures complémentaires comme la mise en place de points de collecte, de points d'apport volontaire, etc.</li> <li>- Valoriser les mesures prises sur la question des déchets dans le cadre d'une démarche qualité portant, au-delà de la qualité des produits, sur le matériel utilisé, les pratiques de production, les effets environnementaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informer, sensibiliser les acteurs aux risques sanitaires et à la réglementation liée au brûlage, l'enfouissement, l'immersion, l'usage de certains composés dangereux à de nouvelles fins (huile pour l'entretien du matériel de production ou du bois, par exemple)</li> <li>- Valoriser les systèmes de gestion de déchets déjà en place (système de consigne des futs d'essence) et étudier de nouvelles possibilités comme la réexpédition de certains déchets vers Tahiti ou la mise en place d'une traçabilité des matériels entrant/sortant du territoire, etc.</li> </ul> <p><b>Perspectives d'actions complémentaires :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Explorer les modalités de financement nécessaires à une gestion collective des déchets</li> <li>- Avoir une vision prospective sur le risque de production de déchets pouvant être lié à l'augmentation de l'activité ou encore aux conséquences d'une nouvelle crise de la filière</li> <li>- Estimer les stocks de déchets au sein du lagon, caractériser les risques liés à leur présence, les effets potentiels d'un nettoyage, sa faisabilité technique et financière, et le devenir de ces déchets si extraits du lagon</li> </ul>

### **3.3. LA CONSOMMATION DE MATERIEL DE PRODUCTION.**

Une charte définissant les **caractéristiques des matériels** (Tableau 7) autorisés pour l'activité, pourrait également constituer une piste de travail, visant à réduire les risques induits. Il s'agirait par exemple de définir des normes de qualité pour les matériaux utilisés (par exemple : certification d'innocuité, transparence sur la composition chimique des matériaux), d'explorer l'utilisation de matériaux plus respectueux de l'environnement et notamment des biomatériaux (afin de proposer des solutions alternatives à l'utilisation du plastique), ou encore d'explorer diverses solutions techniques permettant la réutilisation des blocs immergés (remplacement des cordages par des chaînes mises en flottaison jusqu'à une profondeur accessible par exemple). Tout ceci contribuerait à réduire « à la source » la problématique liée aux déchets de production. Parallèlement, il serait intéressant d'améliorer la traçabilité du matériel entrant et sortant des Gambier en proposant une gestion comptable à l'échelle de chaque exploitation.

Tableau 7 : Propositions concernant la consommation de matériels de production.

Propositions d'actions :
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir des normes de qualité pour les matériaux utilisés</li> <li>- Explorer l'utilisation de matériaux plus respectueux de l'environnement et notamment les biomatériaux</li> <li>- Explorer diverses solutions techniques permettant la réutilisation du matériel</li> <li>- Mettre en place une gestion comptable du matériel (volume importé et utilisé), au regard des volumes de perles produites et de déchets générés</li> <li>- Organiser des sessions de formations et une communication sur les pratiques d'entretien et de stockage du matériel permettant d'améliorer leur longévité</li> </ul>

### **3.4. LA GESTION DES RISQUES SANITAIRES, GENETIQUES OU DE CONTAMINATION CHIMIQUE,**

La mise en œuvre d'une **démarche qualité** dont la faisabilité sera étudiée dans le cadre du projet RESCCUE, visant à conforter les pratiques vertueuses et à les valoriser d'un point de vue économique, constitue un point important pour la filière perlicole aux Gambier en particulier, et pour la Polynésie française et la filière en général. Une telle démarche devrait tout d'abord mettre l'accent sur le respect de la réglementation existante (notamment en termes de transfert et de gestion des déchets), comme préalable indispensable, mais aussi s'inscrire dans une démarche de progrès autour de différents critères de qualité de production, mais aussi de **prévention des risques** (Tableau 8), de **préservation de la biodiversité** et de **soutenabilité socio-économique**.

Tableau 8 : Propositions concernant les risques sanitaires, génétiques ou de contamination chimique

Réduction des effets :	Encadrement / organisation de l'activité :
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibiliser les perliculteurs et les employés des fermes perlières au fonctionnement des écosystèmes lagunaires, aux enjeux écologiques et aux pratiques permettant de minimiser les pressions</li> <li>- Sensibiliser sur les effets des rejets des déchets et notamment ceux considérés comme dangereux</li> <li>- Communiquer sur le dispositif en présence de collecte des déchets dangereux au point d'apport volontaire mis en place par la commune</li> <li>- Promouvoir l'utilisation de nucleus dont la composition des recouvrements serait connue, sans antibiotique et potentiellement produits en Polynésie française</li> <li>- Eviter l'utilisation de peinture antisalissure (sortie régulière de l'eau des embarcations, utilisation de revêtements "anti-adhérent" ou des produits écologiques...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Veiller au respect de précautions sanitaires telles que définies par les autorités de gestion du Pays, pour tout-transfert de matériel usagé entre lagons de Polynésie française,</li> <li>- Sécuriser l'interdiction locale portant sur le transfert de nacres ou l'introduction de cheptels allochtones</li> <li>- Prévoir un encadrement de la production de naissain en écloserie permettant d'éviter toute perte de diversité génétique par sélection</li> </ul> <p><b>Perspectives d'actions complémentaires :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etudier la problématique des plastiques et micro-plastiques, la persistance de ces composés chimiques dans le milieu (variabilité suivant le milieu, l'exposition au soleil, à l'oxygène, etc.), leurs effets sur l'huître perlière (sur la reproduction et la croissance par exemple)</li> </ul>

### **3.5. LA LIMITATION DES NUISANCES ET EFFETS SUR LA BIODIVERSITE.**

Le **renforcement de la surveillance**, et l'exemplarité des sanctions en cas d'infraction constituent également des leviers importants d'action (ou d'incitation) qu'il conviendra de discuter et d'envisager de façon complémentaire à des actions de sensibilisation. La définition de modalités de **gestion spécifiques pour les différentes étapes de production**, et notamment pour le collectage (étape qui génère des quantités importantes de déchets plastiques), constitue un autre levier pouvant encore être pris en compte dans la réflexion. Dans cette perspective, la définition d'un **schéma des structures** pourrait s'intéresser par exemple au nombre de stations, leur localisation, les temps d'immersion des collecteurs, ou encore la mise en place de « consignes » permettant d'importer uniquement du matériel en remplacement des matériels usagés réexpédiés.

Au niveau de la **structuration de la profession perlicole**, la constitution d'un comité local de gestion permettrait d'améliorer la représentation de la profession à l'échelle des Gambier et de la Polynésie française, de faciliter la participation des perliculteurs aux réflexions portant sur le développement durable local et de mettre en œuvre des actions innovantes répondant aux enjeux qui les concernent.

Lors des rencontres et réunions organisées avec les acteurs de la perliculture, différents besoins en termes d'**amélioration et d'accès aux connaissances** ont été exprimés. Ceci serait utile à la sensibilisation et la mobilisation des professionnels et plus globalement à la mise en place d'une gestion de l'activité adaptée aux spécificités locales. Des **sessions de formation** sur les différents enjeux de durabilité identifiés pourraient être organisées aux Gambier.

Enfin, le besoin de développer le **partage d'expériences** entre perliculteurs des Gambier mais aussi avec ceux d'autres lagons est apparu. Ces échanges permettraient de faire évoluer la situation actuelle, sur la base d'exemples pris dans d'autres bassins de production conchylicole (nouveaux matériels, collecteurs pour l'huître creuse, matériaux recyclables voire biodégradables, biomatériaux à tester, utilisation des coproduits, etc.). Au-delà, ce type d'action permettrait aussi de favoriser les échanges avec les services du Pays et les organismes scientifiques.

## 4. RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anon (2016) Résultats du programme POLYPERL (ANR Agrobiosphère 2012-2015 -ANR-11-AGRO-006), 28 pp.
- Blay C, Parrad S, Cabral P, Aihod V, Ky C-L (2016) Correlations between cultured pearl size parameters and PIF-177 biomarker expression in *Pinctada margaritifera* families reared in two contrasting environments. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 182.
- Cartier L E, Carpenter K E (2014) The influence of pearl oyster farming on reef fish abundance and diversity in Ahe, French Polynesia. *Marine Pollution Bulletin*, 78(20), 43-50.
- Charpy L, Rodier M, Fournier J, Langlade M-J, Gaertner-Mazouni N (2012) Physical and chemical control of the phytoplankton of Ahe lagoon, French Polynesia. *Mar Pollut Bull* 65:471-477.
- Cranford P, Dowd M, Grant J, Hargrave B, McGladdery S (2003) Ecosystem level effects of marine bivalve aquaculture. *A Sci Rev potential Environ Eff Aquac Aquat Ecosyst* 1:51-95.
- Cranford P, Strain P, Dowd M, Hargrave B, Grant J, Archambault M-C (2007) Influence of mussel aquaculture on nitrogen dynamics in a nutrient enriched coastal embayment. *Mar Ecol Prog Ser* 347:61-78.
- Dame R, Libes S (1993) Oyster reefs and nutrient retention in tidal creeks. *J Exp Mar Bio Ecol* 171(2):251-258.
- Dufour P, Andrefouet S, Charpy L, Garcia N (2001) Atoll morphometry controls lagoon nutrient regime. *Limnol Oceanogr* 46(2):456-461.
- Dufour P, Berland B (1999) Nutrient control of phytoplanktonic biomass in atoll lagoons and Pacific ocean waters: Studies with factorial enrichment bioassays. *J Exp Mar Bio Ecol* 234:147-166.
- E Lacoste E, Gaertner-Mazouni N (2015) Biofouling impact on production and ecosystem functioning: a review for bivalve aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 7 (3), 187-196
- Lacoste E, Raimbault P, Harmelin-Vivien M, Gaertner-Mazouni N (2015) Trophic relationships between the farmed pearl oyster *Pinctada margaritifera* and its epibionts revealed by stable isotopes and feeding experiments. *Aquaculture Environment Interactions*.
- Fitridge I, Dempster T, Guenther J, de Nys R (2012) The impact and control of biofouling in marine aquaculture: A review. *Biofouling* 28, 649-669.
- Fitridge I, Keough MJ (2013) Ruinous resident: the hydroid *Ectopleura crocea* negatively affects suspended culture of the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Biofouling* 29: 119-131.
- Fournier J, Dupuy C, Bouvy M, Couraudon-Reale M, Charpy L, Pouvreau S, Moullac G Le, Pennec M Le, Cochard J-C, Couraudon-Réale M (2012a) Pearl oysters *Pinctada margaritifera* grazing on natural plankton in Ahe atoll lagoon (Tuamotu archipelago, French Polynesia). *Mar Pollut Bull* 65:490-499.
- Gaertner-Mazouni N & Lacoste E (2016) Guide pour l'exploitation de l'huître perlière en Polynésie française. Université de la Polynésie française, 60 p.
- Gaertner-Mazouni N, Lacoste E, Bodoy A, Peacock L, Rodier M, Langlade M-J, Orempuller J, Charpy L (2012) Nutrient fluxes between water column and sediments: Potential influence of the pearl oyster culture. *Mar Pollut Bull* 65:500-505
- Klinger D & Naylor R (2012) Searching for Solutions in Aquaculture: Charting a Sustainable Course. *Annual Review of Environment and Resources*, 37: 247-276.
- Lacoste E (2014) Interactions entre les huîtres perlières en élevage (*Pinctada margaritifera*) et les communautés d'épibiontes, et influence de l'association sur les flux de matière dans les lagons de Polynésie française. Thèse de Doctorat, Université de la Polynésie française, 120p.
- Lacoste E, Gaertner-Mazouni N (2016) Nutrient regeneration in the water column and at the sediment-water interface in pearl oyster culture (*Pinctada margaritifera*) in a deep atoll lagoon (Ahe, French Polynesia). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 182 B, 304-309.
- Le Moullac G, Soyez C, Latchere O, Vidal-Dupiol J, Fremery J, Saulnier D, Lo-Yat A, Belliard C, Mazouni-Gaertner N, Gueguen Y (2016 a). *Pinctada margaritifera* responses to temperature and pH: Acclimation capabilities and physiological limits. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 182B, 261-269.

- Le Pabic L, Parrad S, Sham Koua M, Seiji N, Saulnier D, Devaux D, Ky CL (2016) Culture site dependence on pearl size realization in *Pinctada margaritifera* in relation to recipient oyster growth and mantle graft biomineralization gene expression using the same donor phenotype. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 182B, 294-303.
- Loret P, Pastoureaud A, Bacher C, Delesalle B (2000) Phytoplankton composition and selective feeding of the pearl oyster *Pinctada margaritifera* in the Takapoto lagoon (Tuamotu Archipelago, French Polynesia): in situ study using optical microscopy and HPLC pigment analysis. *Mar Ecol Prog Ser* 799:55-67.
- Marty C & Gaertner-Mazouni N (2008). Guide de l'exploitation conchylicole en Languedoc-Roussillon. Cépralmar, 108 p.
- McKindsey C W, Thetmeyer H, Landry T, Silvert W (2006) Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management, *Aquaculture*, 451-462.
- O'Donncha F Hartnett M, Nash S (2013) Physical and numerical investigation of the hydrodynamic implications of aquaculture farms, *Aquacultural Engineering*, 52: 14-26.
- Plew D R (2011). Shellfish farm-induced changes to tidal circulation in an embayment, and implications for seston depletion, *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 201-214.
- Pouvreau S, Jonquière G, Buestel D (1999) Filtration by the pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, under conditions of low seston load and small particle size in a tropical lagoon habitat. *Aquaculture* 176:295-314.
- Ragot P & Abellard O (2009) Référentiel pour la gestion dans les sites Natura 2000 en mer, Tome 1 - Cultures marines. Agence des aires marines protégées, 232 p.
- Rodriguez T & Gaertner-Mazouni N (2016) Point d'étape sur l'étude des interactions de la perliculture avec son environnement, site-pilote de Mangareva-Gambier - projet RESCCUE. Université de la Polynésie française, 41 p.
- Sussarellu R, Suquet M, Thomas Y, Lambert C, Fabioux C, Pernet M E J, Le Goïc N, Quillien V, Mingant C, Epelboin Y, Corporeau C, Guyomarch J, Robbens J, Paul-Pont I, Soudant P and Huvet A (2015) Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *PNAS* 113, 2430-2435.
- Teaniniuraitemoana V, Huvet A, Levy P, Gaertner-Mazouni N, Gueguen Y and Le Moullac G (2015) Molecular signatures of the female sexual pathway in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*, *PlosOne*, PONE-D-14-45039R1.
- Thomas Y, Dumas F, Andrefouet S (2016) Larval connectivity of pearl oyster through biophysical modelling; evidence of food limitation and broodstock effect, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 182B, 283-293.
- Von Moos N, Burkhardt-Holm P, Köhler A (2012) Uptake and Effects of Microplastics on Cells and Tissue of the Blue Mussel *Mytilus edulis* L. after an Experimental Exposure. *Environ Sci Technol* 46, 11327-11335.