

PROTEGE

Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin sous influence aquacole et perlicole en Polynésie française

Guénolé BOUVET (MELANOPUS)
Charlotte MORITZ (CMOANA Consulting)

2021



MELANOPUS
Pacific Community
Communauté du Pacifique
SPREP
PROE
Financé par l'Union européenne
GOUVERNEMENT DE LA NOUVELLE CALÉDONIE
POLYNÉSIE FRANÇAISE
WALLIS ET FUTUNA
ÎLES PITCAIRN

Le projet régional océanien des territoires pour la gestion durable des écosystèmes, PROTEGE, est un projet intégré qui vise à réduire la vulnérabilité des écosystèmes face aux impacts du changement climatique en accroissant les capacités d'adaptation et la résilience. Il cible des activités de gestion, de conservation et d'utilisation durables de la diversité biologique et de ses éléments en y associant la ressource en eau. Il est financé par le 11ème Fonds européen de développement (FED) au bénéfice des territoires de la Nouvelle-Calédonie, de la Polynésie française, de Pitcairn et de Wallis et Futuna.

L'objectif général du projet est de construire un développement durable et résilient des économies des pays et territoires d'Outre-mer (PTOM) face au changement climatique en s'appuyant sur la biodiversité et les ressources naturelles renouvelables.

Le premier objectif spécifique vise à renforcer la durabilité, l'adaptation au changement climatique et l'autonomie des principales filières du secteur primaire. Il est décliné en deux thèmes :

- **Thème 1 :** la transition agro-écologique est opérée pour une agriculture, notamment biologique, adaptée au changement climatique et respectueuse de la biodiversité ; les ressources forestières sont gérées de manière intégrée et durable.
- **Thème 2 :** les ressources récifo-lagonaires et l'aquaculture sont gérées de manière durable, intégrée et adaptée aux économies insulaires et au changement climatique.

Le second objectif spécifique veut renforcer la sécurité des services écosystémiques en préservant la ressource en eau et la biodiversité. Il se décline également en 2 thèmes :

- **Thème 3 :** l'eau est gérée de manière intégrée et adaptée aux effets du changement climatique
- **Thème 4 :** les espèces exotiques envahissantes sont gérées pour renforcer la protection, la résilience et la restauration des services écosystémiques et de la biodiversité terrestre.

La gestion du projet a été confiée à la Communauté du Pacifique (CPS) pour les thèmes 1, 2 et 3 et au programme régional océanien pour l'environnement (PROE) pour le thème 4, par le biais d'une convention de délégation signée le 26 octobre 2018 entre l'Union européenne, la CPS et le PROE. La mise en œuvre du projet est prévue sur 4 ans.

Ce rapport est cité comme suit :
BOUVET G. et C. MORITZ. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin sous influence aquacole et perlicole en Polynésie française. 2021. Nouméa, 176 pages.

Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité de Guénolé Bouvet et Charlotte Moritz et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.

Date de publication : 2021.

© Copyright Communauté du Pacifique (CPS)
Tous droits réservés de reproduction ou de traduction à des fins commerciales/lucratives, sous quelque forme que ce soit. La Communauté du Pacifique autorise la reproduction ou la traduction partielle de ce document à des fins scientifiques ou éducatives ou pour les besoins de la recherche, à condition qu'il soit fait mention de la CPS et de la source. L'autorisation de la reproduction et/ou de la traduction intégrale ou partielle de ce document, sous quelque forme que ce soit, à des fins commerciales/lucratives ou à titre gratuit, doit être sollicitée au préalable par écrit. Il est interdit de modifier ou de publier séparément des graphismes originaux de la CPS sans autorisation préalable.

Ce rapport est le résultat d'un travail coordonné par la CPS (projet PROTEGE).

Maquette et mise en page : Agence Eteek
Photo de couverture © Direction des Ressources Marines de Polynésie française et Communauté du Pacifique

Produit par PROTEGE, un projet de la CPS.

BP D5 Nouméa, Nouvelle-Calédonie
Sauf mention contraire, les crédits photos appartiennent à PROTEGE/CPS.

PARTENAIRES

Cette étude a été conduite en collaboration avec la Direction des Ressources Marines de Polynésie française.

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier les scientifiques qui ont ouvert grand leur porte, qui ont pris le temps de s'interroger sur les meilleures manières de procéder à des suivis opérationnels, et qui nous ont conseillé la lecture de multiples documents. Bien entendu, nous remercions les gestionnaires de la Direction des Ressources Marines de Polynésie française et tout particulièrement Vetea Liao et Georges Remoissenet qui se sont rendus très disponibles pour les multiples relectures des différents livrables, ainsi que pour toutes les discussions. Nous tenons également à remercier le personnel du programme PROTEGE et de la CPS pour la confiance qu'ils ont bien voulu nous donner. Nous adressons un immense merci à tous les exploitants qui ont accepté de nous recevoir sur leurs exploitations et qui ont pris le temps de nous décrire leurs réalités et leurs méthodes de travail. Enfin, nous souhaitons remercier nos relecteurs officiels ainsi que Benoît Beliaeff qui a donné beaucoup de son temps et qui n'a pas été avare de conseils avisés. Un grand merci à lui.

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Titre de l'étude	Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin sous influence aquacole et perlicole en Polynésie française
Auteurs	Guénolé BOUVET et Charlotte MORITZ
Collaborateurs	Thierry LAUGIER et Pierre BOISSERY, ainsi que les personnes citées en page 6
Éditeurs	CPS
Année d'édition du rapport	2021

OBJECTIF

Ce guide doit aider à mettre en place des suivis de la qualité du milieu marin dans un contexte aquacole/perlicole en Polynésie française en fournissant des outils méthodologiques. Ces outils sont principalement les suivants :

- une démarche générale pour aboutir à des suivis efficaces ;
- une série de paramètres pertinents utilisables pour évaluer l'état du milieu ou les pressions s'y exerçant ;
- des exemples de suivis qui pourraient être déployés dans différents contextes ;
- une méthode pour définir des valeurs seuils et amorcer la constitution de grilles de lecture.

CONTEXTE

L'aquaculture et notamment la perliculture sont des secteurs économiques devenus des fondamentaux dans l'économie polynésienne. L'aquaculture polynésienne est bien évidement représentée en priorité par la perliculture. Hors perliculture, plusieurs filières ont été tentées ou développées depuis les années 70. Les techniques, espèces et filières polynésiennes identifiées comme prioritaires sont désormais les suivantes : l'élevage de crevettes et la pisciculture lagonaire (site web DRM). En 2019, la production aquacole de crevettes s'élève à 140 tonnes (3 exploitations) avec un marché local estimé à 500 t/an (comm. pers. G. Remoissenet) ; celle de Paraha Peue (*Platax orbicularis*) à 13 tonnes (2 exploitations) pour un marché local de 100 t/an ; celle des bénitiers à en moyenne 10.000 individus issus de collectage et exportés (9 fermes de collectage et 2 opérateurs-exportateurs). La production perlicole s'élève quant à elle à 9,1 millions de perles et 4,9 milliards de produits perliers (avec 358 fermes perlières).

Mais les pratiques d'élevage ne sont pas sans conséquence sur l'environnement récifo-lagonaire.

Élever des poissons, des mollusques ou des crustacés marins, en mer ou à terre, implique des interactions entre les fermes et le milieu marin naturel et peut mener à une augmentation de la charge organique benthique, des changements dans la qualité de l'eau dont principalement ceux liés à l'eutrophisation, des modifications de l'habitat, la transmission de maladies, l'introduction d'espèces exotiques et invasives, l'interaction avec les espèces sauvages, et la production de déchets en mer (Weitzman et al. 2019). La plupart des publications montrent des changements dans le champ proche, essentiellement sur la qualité de l'eau et des sédiments, par l'apport de matière organique particulaire ou dissoute et de nutriments (Fisheries and Oceans Canada 2003). Malgré les difficultés d'observation dans le champ lointain, des publications montrent que, dans certaines zones, des modifications à l'échelle de l'écosystème sont attribuables à l'aquaculture, avec des effets classés en 3 types : eutrophisation, sédimentation et effets sur la chaîne alimentaire (Fisheries and Oceans Canada 2003).

Afin de rendre durable l'activité, il est essentiel de pouvoir évaluer ses impacts sur l'environnement et déclencher des actions de gestion si nécessaire. Comme expliqué dans le schéma directeur de l'aquaculture en Polynésie française (Lucien-Brun et al. 2018b), le Pays entend développer une aquaculture qui respecte, entre autres, les propriétés suivantes :

- une aquaculture durable et biosécuritaire ;
- une aquaculture environnementalement responsable.

MÉTHODOLOGIE

Ce guide procède d'une compilation bibliographique ainsi que d'entretiens avec les exploitants, les scientifiques et les gestionnaires en charge du secteur et de son environnement du Gouvernement de la Polynésie française.

ÉVOLUTIONS

Version n°001 - Date de la version : 11/04/2021

RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

Les résultats résident principalement dans la production d'une méthodologie, un rappel des pressions et menaces liées aux activités aquacole et perlicoles, l'identification de paramètres pertinents en réponse aux pressions et menaces jugées prioritaires et la fourniture de 6 exemples concrets facilitant la compréhension. Le guide fournit par ailleurs une synthèse de la réglementation actuellement en vigueur, une liste de besoin en matière de mise au point de méthodes de suivis complémentaires, et des conseils pour la gestion et la valorisation des données.

Les paramètres proposés concernent les fonds meubles, les fonds durs, la qualité de l'eau et les installations aquacoles/perlicoles. Ils concernent principalement les apports en matière organique et leurs conséquences sur le milieu.

Les exemples développés sont les suivants : exploitation aquacole en mer (en cages), exploitation aquacole à terre (en bassin), écloserie, exploitation perlicole (suivi individuel), suivi perlicole à l'échelle d'un atoll, complexe aquacole terrestre. La plupart des exemples propose un programme pour établir un état initial et un programme pour le suivi régulier.

LIMITES DE L'ÉTUDE

Les limites ont clairement été identifiées :

- le travail réalisé n'est pas un travail de recherche mais bien un travail de compilation et d'organisation d'informations existantes ; à ce titre, le guide ne fournira pas les capacités de charge des lagons car celles-ci ne sont pas connues ;
- le guide ne peut pas se substituer à la réglementation en vigueur ; il ne peut fournir que des pistes à explorer pour les actions de gestion pouvant être mises en place ;
- le guide ne remplace aucunement les nécessaires concertations à mener lors de la mise en place de suivis (*via* les comités de gestion par exemple) ; il peut servir de base de discussion ;
- les autres forçages environnementaux (dérèglement climatique, autres activités et usages impactant l'environnement marin, ou tout au moins y exerçant des pressions, comme l'agriculture ou l'urbanisation) compliquent largement la mise en place de suivis ; les interactions entre les pressions autres que strictement de natures aquacole ou perlicole s'exerçant sur les milieux d'élevages ne sont donc pas prises en compte ;
- le mot "suivi" est considéré dans ce document dans un cadre de gestion environnementale strictement ; le guide n'a donc aucune vocation à traiter des suivis scientifiques de type acquisition de connaissances destinées à la recherche fondamentale ;
- le guide n'est pas un cahier des charges ;
- le guide n'est pas un guide des bonnes pratiques en aquaculture/perliculture.
- le guide n'identifie ni les MOA[1] ni les MOE[2] des suivis de la qualité du milieu marin qui pourraient être mis en place.

1 MOA : Maître d'ouvrage = commanditaire du suivi (Collectivité, exploitants)
2 MOE : Maître d'œuvre = responsable de la mise en œuvre opérationnelle du suivi (Collectivité, bureaux d'études, associations, exploitants)

COMITÉ DE RELECTURE

Thierry LAUGIER
Pierre BOISSERY

PERSONNES RENCONTRÉES

Scientifiques consultés :
- Benoît BELIAEFF
- Mireille CHINAIN
- Luc DELLA PATRONA
- Thierry LAUGIER
- Hugues LEMONNIER
- Gilles LE MOULLAC
- Alain LO-YAT
- Jean-Charles MASSABUAU
- Serge PLANES
- Martine RODIER
- Denis SAULNIER
- Simon VAN WYNSBERGE
- Mayalen ZUBIA-ARRIETA

Exploitants :
- Henri ALBERT
- Nick ATGER
- Tinihau ATGER
- Monique CHAMPON (et Maeva)
- Wing Sang CHAN
- Noelline CHENNE
- Herald DOOM
- Sylvain DUPIEUX
- Jerry GOODING
- Makiro MAIFANO
- Benoît LEMARECHAL
- Heinui POLTAVTSEEF
- Raitahi SHAM KOUA
- Teva SIU
- Benoît URARII
- Toamiriura VIVISH
- Maeva WANE

Organismes publics :
- Matthieu JUNCKER
- Vetea LIAO
- Cédrik LO
- Cédric PONSONNET
- Georges REMOISSENET
- Kahaia ROBERT
- Etienne TARAMINI
- Aurélie THOMASSIN

Bureaux d'études :
- AEL, Jean-Michel FERNANDEZ
- Biocénose, Grégory LASNE
- Fenua Environnement, David HOMO
- NEOSEA, Julien GUILLET
- PTPU, Charles EGRETAUD
- SOPRONER, Antoine GILBERT

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT **9**
SUIVEZ LE GUIDE ! **10**
LISTE DES ACRONYMES **11**
INTRODUCTION **12**

1 RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE **13**

2 OBJECTIFS DU GUIDE, LIMITES ET CIBLE **14**
2.1 Objectifs et limites 14
2.2 Cible 15

3 VOCABULAIRE INDISPENSABLE À LA COMPRÉHENSION DU GUIDE **16**

4 RÉGLEMENTATION **18**

5 UNE STRATÉGIE POUR LES PROGRAMMES DE SUIVI POUR LA POLYNÉSIE FRANÇAISE **20**
5.1 Principes généraux de la démarche de conception d'un programme 20
5.2 Cycles de surveillance 21
5.3 Plusieurs types de programmes de suivi 22
5.4 Des programmes conditionnés par le contexte ou les résultats 23
5.4.1 État de l'art 23
5.4.2 Proposition pour la Polynésie française : catégories et niveaux 26
5.5 Un *design* dépendant de multiples éléments 27

6 ÉLÉMENTS SUPPLÉMENTAIRES DE STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE **29**
6.1 Efficacité d'un suivi (d'après Beliaeff et al. 2011) 29
6.2 Plan d'échantillonnage idéal (niveau macro) 29
6.3 Plans d'échantillonnage réellement envisageables 30
6.4 Principe de positionnement des stations 32
6.5 Quelques précautions d'usage 35
6.6 Choix des métriques, choix des valeurs de déclenchement 35
6.6.1 Dans les effluents 35
6.6.2 Dans la zone d'influence 36
6.6.3 Évolution des valeurs de déclenchement 37
6.6.4 Valeur typique : quelques séries de données utiles 37

7 RAPPEL DES MENACES ET PRESSIONS ENVIRONNEMENTALES MARINES ASSOCIÉES AUX ACTIVITÉS AQUACOLES/PERLICOLES **38**
7.1 Caractéristiques zootechniques notables 38
7.1.1 Apport en aliments : aquaculture nourrie / aquaculture extractive 38
7.1.2 Localisation : à terre ou en mer 39
7.1.2.1 Zone d'influence 39
7.1.2.2 L'usage de bassins d'élevage 40
7.1.2.3 L'usage de structures immergées ou flottantes 41
7.1.2.4 La production de macro-déchets 43
7.1.2.5 L'usage d'embarcation motorisée 45
7.1.3 Utilisation de substances dangereuses pour l'environnement 45
7.1.4 Dimension des installations, étendue spatiale 46
7.1.5 Intensité de l'activité 46
7.1.6 Pratiques diverses 46
7.2 Éléments complémentaires à l'origine de menaces et pressions sur le milieu marin 48
7.2.1 Fréquentation induite de la zone marine et terrestre 48
7.2.2 Usages de moteurs thermiques 48

7.2.3 Usages de batteries ... 49
7.3 Spécificités des différentes activités ... 50
7.3.1 Crevetticulture ... 50
7.3.1.1 Crevetticulture en bassin de terre ... 50
7.3.1.2 Crevetticulture en cage ... 55
7.3.2 Pisciculture en cage ... 58
7.3.3 Ecloserie ... 61
7.3.4 Aquaculture de bénitiers ... 64
7.3.5 Elevage perlicole ... 68

8 PARAMÈTRES UTILES POUR LES SUIVIS ET VALEURS DE RÉFÉRENCES DISPONIBLES ... 74
8.1 Revue critique générale ... 74
8.1.1 Qualité de l'eau ... 77
8.1.2 Qualité des sédiments ... 78
8.1.3 Biote ... 79
8.1.4 Informations zootechniques ... 79
8.1.5 Paramètres utiles ... 79
8.2 Fonds meubles ... 80
8.2.1 Interventions en plongée ... 80
8.2.1.1 Observations visuelles rapides ... 80
8.2.1.2 Relevés vidéo sur fonds meubles ... 82
8.2.1.3 Flore épigée sur fonds meubles par relevés MSA ... 83
8.2.2 Prélèvements de sédiments avec benne ... 84
8.2.2.1 Faune endogée ... 85
8.2.2.2 Taux en matière organique ... 87
8.2.2.3 Couleur et odeur des sédiments ... 88
8.2.2.4 Granulométrie ... 88
8.2.3 Prélèvement avec carottier ... 89
8.2.3.1 Odeur de la couche de surface et aspect des 20 premiers centimètres ... 89
8.2.3.2 Potentiels REDOX (et pH) ... 90
8.3 Fonds durs ... 91
8.3.1 Recouvrement de la macro-flore/faune benthique par vidéo ... 91
8.3.2 Recouvrement de la macro-flore/faune benthique par LIT/PIT ... 92
8.4 Qualité de l'eau ... 93
8.4.1 Prélèvement avec un filet : concentration en microplastiques ... 93
8.4.2 Prélèvements d'eau (ou d'effluent) ... 94
8.4.2.1 Matière en suspension (MES) ... 94
8.4.2.2 Phosphore total et azote total ... 95
8.4.3 Prélèvements d'eau pour la compréhension des efflorescences phytoplanctoniques ... 96
8.4.4 Profils verticaux avec sonde ... 96
8.4.4.1 Oxygène dissous ... 97
8.4.4.2 Concentration en chlorophylle *a* ... 98
8.4.4.3 Turbidité ... 100
8.4.5 Flux particulaire ... 100
8.5 Enregistrement vidéo des installations ... 102

9 BESOINS EN ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES ... 103
9.1.1 Modèles 3D et capacité de charge des milieux récepteurs ... 103
9.1.2 Préparation du coefficient AMBI ... 103
9.1.3 Liste d'espèces envahissantes ... 103
9.1.4 Définir des espèces indicatrices ... 103
9.1.5 ADN Environnemental ... 104
9.1.6 Suivi des huîtres ... 104
9.1.7 Qualité des perles comme proxy environnemental ... 105

10 EXEMPLES DE PROGRAMMES DE SUIVIS ENVIRONNEMENTAUX ... 106
10.1 Exploitation aquacole en mer (pisciculture ou crevetticulture en cages) ... 106
10.1.1 Programme minimum proposé ... 107

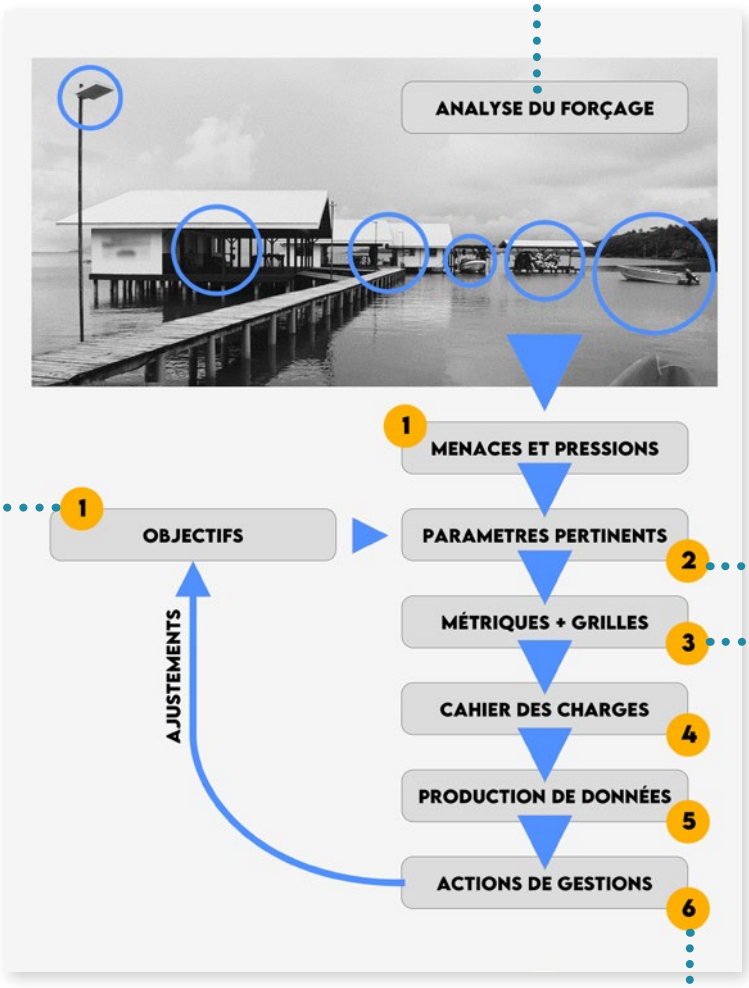
10.1.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion 113
10.1.3 Ajustements 113
10.1.4 Valeur accordée à ce programme de suivi 114
10.2 Exploitation aquacole à terre (suivi individuel) 114
10.2.1 Programme minimum proposé 114
10.2.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion 121
10.2.3 Ajustements 122
10.2.4 Valeur accordée à ce programme de suivi 122
10.3 Ecloserie 123
10.4 Exploitation perlicole – suivi individuel 123
10.4.1 Suivi minimum proposé 124
10.4.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion 129
10.4.3 Ajustements 129
10.4.4 Valeur accordée à ce programme de suivi 129
10.5 Suivi perlicole à l'échelle d'un atoll 130
10.5.1 Suivi minimum proposé 130
10.5.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion 135
10.5.3 Ajustements 135
10.5.4 Valeur accordée à ce programme de suivi 135
10.6 Complexe aquacole à terre 135
10.6.1 Suivi minimum proposé 137
10.6.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion 142
10.6.3 Ajustements 142
10.6.4 Valeur accordée à ce programme de suivi 143

11 GESTION DES DONNÉES 144
11.1 Les données valent de l'or 144
11.2 Le système d'information : composition 144
11.3 Caractéristiques idéales du système 144
11.4 Exemple d'organisation 145
11.5 Bien choisir son système d'information 146
11.6 Des pièges à éviter 146

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITÉES DANS LE GUIDE 148
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES CONSULTÉES POUR LA PRÉPARATION DE CE DOCUMENT 151
LISTE DES FIGURES 165
LISTE DES TABLEAUX 167
ANNEXES 170

Avertissement

Ce guide ne constitue aucunement un document opposable à la réglementation en vigueur en Polynésie française. Selon le contexte, les autorités compétentes en matière d'environnement et de gestion des ressources marines pourront imposer des programmes de suivi différents de ceux présentés – comme exemples – dans ce document en partie 10 (autant sur les paramètres, que sur les méthodes, le nombre de stations, le nombre d'unités d'observation, ou les fréquences).



Voir page 38 :
Rappel des menaces et pressions environnementales marines associées aux activités aquacoles/perlicoles

Voir page 26 :
Une stratégie pour les programmes de suivi pour la Polynésie française

Voir page 35 :
Éléments supplémentaires de stratégie d'échantillonnage

Voir page 74 :
Paramètres utiles pour les suivis et valeurs de références disponibles

Voir page 106 :
Exemples de programmes de suivis environnementaux

Exemple 1 :
Exploitation aquacole en mer (pisciculture ou crevetticulture en cages) ; voir page 106

Exemple 2 :
Exploitation aquacole à terre (suivi individuel) ; voir page 114

Exemple 3 :
Écloserie ; voir page 123

Exemple 4 :
Exploitation perlicole – suivi individuel ; voir page 123

Exemple 5 :
Suivi perlicole à l'échelle d'un atoll ; voir page 130

Exemple 6 :
Complexe aquacole à terre ; voir page 135

LISTE DES ACRONYMES

DRM : Direction des Ressources Marines
DIREN : DIRection de l'ENvironnement
PTOM : Pays et Territoires d'Outre-Mer
DCP : Dispositif de Concentration de Poisson
CPS : Communauté du Pacifique
PTOM : Pays et Territoires d'Outre Mer
CAPF : Coopérative des Aquaculteurs de Polynésie française
MSA : *Middle Scale Approach*
MES : Matière En Suspension

Ce document est un guide destiné à faciliter la mise en place de suivis de la qualité du milieu marin sous influence aquacole et perlicole en Polynésie française. Il est destiné principalement aux gestionnaires de la Direction des Ressources Marines (DRM) mais peut être utilisé par quiconque souhaitant mettre en place ce genre de suivis de la qualité du milieu marin (bureaux d'études, exploitants aquacoles ou perlicoles, associations). Cet ouvrage n'est pas un cahier des charges. Il propose néanmoins des exemples de mise en place opérationnelle de suivis dans différents contextes et répondant à différents objectifs.

La production de ce guide a été commandée par la DRM de Polynésie française dans le cadre du programme PROTEGE avec l'assistance de la Communauté du Pacifique (CPS). PROTEGE est un projet de coopération régionale qui vise à construire un développement durable et résilient des économies des Pays et Territoires d'Outre-Mer (PTOM) face au changement climatique, en s'appuyant sur la biodiversité et les ressources naturelles renouvelables. Il est financé par le 11ème Fonds Européen de Développement au bénéfice des Pays et Territoires d'Outre-Mer du Pacifique. Ce guide a été précédé dans son processus de rédaction par un avant-projet sommaire (APS)[3] qui a permis de préciser les contours de l'expertise proposée et donc ses limites, de faire état des ressources bibliographiques utilisées pendant la phase de compilation, et de valider l'organisation du présent guide.

Après avoir rappelé le contexte (voir partie 1), on présente l'objectif poursuivi par ce guide (partie 2), ainsi que ses limites. Dans la partie « Vocabulaire indispensable » (partie 3), plusieurs termes nécessaires à la compréhension du document sont définis. Le guide rappelle ensuite l'état de la réglementation de Polynésie française (partie 4) autour de l'aquaculture/perliculture et des suivis environnementaux marins associés, et formule quelques préconisations réglementaires utiles. La partie suivante propose une démarche permettant de construire des suivis de la qualité du milieu marin (partie 5), en détaillant les différentes étapes. La partie 6 apporte quelques conseils pour construire des plans de suivis. La partie 7 propose une description des différentes menaces et pressions sur le milieu marin associées aux différentes activités aquacoles/perlicoles ; cette partie tente d'être exhaustive quant aux menaces et pressions.



Au regard des pressions et menaces prioritaires, une série de paramètres de suivi est présentée, ainsi que des informations sur les méthodes de récoltes sur le terrain, les métriques à privilégier, et quand cela est possible des valeurs seuils de déclenchement des actions de gestion. Le guide recense en partie 9 les besoins en études complémentaires ; études qui seraient destinées à améliorer la palette des possibilités en matière de suivi.

La partie 10 propose six exemples de programmes de suivis du milieu marin sous influences aquacoles ou perlicoles.

Enfin, le guide présente quelques préconisations sur les aspects de bancarisation et de valorisation des données (partie 11).

3 (Bouvet and Moritz 2020)



I - RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE

L'aquaculture et notamment la perliculture sont des secteurs économiques devenus des fondamentaux dans l'économie polynésienne. L'aquaculture polynésienne est bien évidement représentée en priorité par la perliculture. Hors perliculture, plusieurs filières ont été tentées ou développées depuis les années 70. Les techniques, espèces et filières polynésiennes identifiées comme prioritaires sont désormais les suivantes : l'élevage de crevettes, la pisciculture lagonaire, l'aquaculture de bénitiers (site web DRM et comm. pers. G. Remoissenet). Divers programmes de diversification aquacole sont en cours mais ne permettent pas de définir les priorités en termes de développement de filières tant que les référentiels techniques n'auront pas été validés à l'échelle pilote avec la définition des conditions de rentabilité. En 2019, la production aquacole de crevettes s'élève à 140 tonnes (3 exploitations) avec un marché local estimé à 500 t/an ; celle de Paraha Peue (*Platax orbicularis*) à 13 tonnes (2 exploitations) pour un marché local de 100 t/an ; celle des bénitiers à 10.000 individus (pour une valeur marchande de 51 millions CFP) exportés (9 fermes de collectage et 2 opérateurs-exportateurs). Toujours en 2019, la production perlicole s'élève quant à elle à 9,1 millions de perles et 4,9 milliards de produits perliers (avec 358 fermes perlières).

Mais les pratiques d'élevage ne sont pas sans conséquence sur l'environnement récifo-lagonaire.

Élever des poissons, des mollusques ou des crustacés marins, en mer ou à terre, implique des interactions entre les fermes et le milieu marin naturel et peut mener à une augmentation de la charge organique benthique, des changements dans la qualité de l'eau dont principalement l'eutrophisation, des modifications de l'habitat, la transmission de maladie, l'introduction d'espèces exotiques et invasives, l'interaction avec les espèces sauvages, et la production de déchets en mer (Weitzman et al. 2019). La plupart des publications montrent des changements dans le champ proche, essentiellement sur la qualité de l'eau et des sédiments, par l'apport de matière organique particulaire ou dissoute et de nutriments (Fisheries and Oceans Canada 2003). Malgré les difficultés d'observation dans le champ lointain, des publications montrent que dans certaines zones, des modifications à l'échelle de l'écosystème sont attribuables à l'aquaculture, avec des effets classés en 3 types : eutrophisation, sédimentation et effets sur la chaîne alimentaire (Fisheries and Oceans Canada 2003).

Afin de rendre durable l'activité, il est essentiel de pouvoir évaluer ses impacts sur l'environnement et déclencher des actions de gestion si nécessaire.

Comme expliqué dans le schéma directeur de l'aquaculture en Polynésie française (Lucien-Brun et al. 2018b), le Pays entend développer

une aquaculture qui respecte, entre autres, les propriétés suivantes :

- une aquaculture durable et biosécuritaire ;
- une aquaculture environnementalement responsable.

PROTEGE est un projet de coopération régionale qui vise à construire un développement durable et résilient des économies des PTOM face au changement climatique, en s'appuyant sur la biodiversité et les ressources naturelles renouvelables. Il est financé par le 11ème Fonds Européen de Développement (FED) au bénéfice des Pays et Territoires d'Outre-Mer (PTOM) du Pacifique : Polynésie française, Nouvelle-Calédonie, Wallis & Futuna et Pitcairn.

Le projet appuie les politiques publiques des PTOM dans les 4 thématiques suivantes :

- **Thème 1 :** La transition agro-écologique est opérée pour une agriculture, notamment biologique, adaptée au changement climatique et respectueuse de la biodiversité; les ressources forestières sont gérées de manière intégrée et durable ;
- **Thème 2 :** Les ressources récifo-lagonaires et l'aquaculture sont gérées de manière durable, intégrée et adaptée aux économies insulaires et au changement climatique ;
- **Thème 3 :** L'eau est gérée de manière intégrée et adaptée au changement climatique ;
- **Thème 4 :** Les espèces exotiques envahissantes sont gérées pour renforcer la protection, la résilience et la restauration des services écosystémiques et de la biodiversité terrestre.

PROTEGE dispose d'un budget global de 36 millions d'euros pour la période 2018-2022 dont 30,5 millions gérés par la Communauté du Pacifique (CPS) et 5,5 millions par le Programme Régional Océanien pour l'Environnement (PROE), co-délégataire.

Thème 2 : pêche côtière et aquaculture

La convention de financement (FED/2018/038-910) et la convention de délégation (FED/2018/399-686) définissent les activités confiées à la CPS en vue de la mise en œuvre du projet PROTEGE.
Le Thème 2 du projet a pour objectif spécifique de gérer, au niveau local et régional, les ressources récifo-lagonaires et l'aquaculture de manière plus durable, intégrée et adaptée aux économies insulaires et au changement climatique.
Les résultats attendus sont issus d'un travail régional inter-PTOM et adaptés aux spécificités territoriales. Ils auront recours à une approche sectorielle/intersectorielle mais aussi à des sites pilotes de démonstration, validation et production. Il est structuré en quatre résultats attendus (RA5 à RA8) :

- RA5 Les activités d'élevage durablement intégrées dans le milieu naturel et adaptées aux économies insulaires sont expérimentées et mises en œuvre à des échelles pilotes et transférées dans la région Pacifique.
- RA6 Les initiatives de gestion participative et de planification intégrée des ressources halieutiques sont poursuivies et renforcées.
- RA7 Les produits de la pêche et de l'aquaculture sont valorisés dans une démarche de développement durable.
- RA8 Des outils opérationnels, de coordination et d'accompagnement sont mis en place pour renforcer et pérenniser la coopération inter-PTOM et PTOM/ACP.

Pour ce Thème 2 du projet, la Direction des ressources Marines (DRM) a été identifiée et désignée par l'ordonnateur territorial comme organisation chef de file dûment mandatée pour assurer la coordination en Polynésie française. Compte tenu de ses compétences, la DRM est à même de contribuer à la mise en œuvre des activités de ce thème.

Clauses de non-responsabilité

« La présente publication a été élaborée avec l'aide de l'Union européenne. Le contenu de la publication relève de la seule responsabilité de Guénolé Bouvet (Melanopus) et Charlotte Moritz (CMOANA Consulting) et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue de l'Union européenne ».

II - OBJECTIFS DU GUIDE, LIMITES ET CIBLE

Les attentes exprimées pendant la préparation du guide ont été nombreuses. Dans cette partie, les objectifs et les limites du guide sont rappelés, ainsi que la cible privilégiée.

2-1 OBJECTIFS ET LIMITES

Ce guide doit aider à mettre en place des suivis de la qualité du milieu marin dans un contexte aquacole/perlicole en Polynésie française en fournissant des outils méthodologiques. Ces outils sont principalement les suivants :

- une démarche générale pour aboutir à des suivis efficaces ;
- une série de paramètres pertinents utilisables pour évaluer l'état du milieu et les pressions s'y exerçant ;
- des exemples de suivis qui pourraient être déployés dans différents contextes.

Les limites ont clairement été identifiées :

- le travail réalisé n'est pas un travail de recherche mais bien un travail de compilation et organisation d'informations existantes ; à ce titre, le guide ne fournit pas les capacités de charge des lagons car celles-ci ne sont pas connues ;
- le guide ne peut pas se substituer à la réglementation en vigueur ; il ne peut fournir que des pistes à explorer pour les actions de gestion pouvant être mises en place ;
- le guide ne remplace aucunement les nécessaires concertations à mener lors de la mise en place de suivis (*via* les comités de gestion par exemple) ; il peut néanmoins servir de base de discussion ;
- les autres forçages environnementaux (dérèglement climatique, autres activités et usages impactant l'environnement marin, ou tout au moins y exerçant des pressions, comme l'agriculture ou l'urbanisation) compliquent largement la mise en place de suivis ; les interactions entre les pressions autres que strictement de natures aquacole ou perlicole s'exerçant sur les milieux d'élevages ne sont donc pas prises en compte ;
- le mot "suivi" est considéré dans ce document dans un cadre de gestion environnementale strictement ; le guide n'a donc aucune vocation à traiter des suivis scientifiques de type « acquisition de connaissances » destinées à la recherche fondamentale ;
- le guide n'est pas un cahier des charges ;
- le guide n'est pas un guide des bonnes pratiques en aquaculture/perliculture ;
- le guide n'identifie ni les MOA[4] ni les MOE[5] des suivis de la qualité du milieu marin qui pourraient être mis en place.

Les activités aquacoles et perlicoles prises en considération dans ce guide sont les suivantes : élevage de crevettes, poissons, nacres, bénitiers, et écloserie de crevettes, poissons. Au sens du *Schéma Directeur de l'Aquaculture en Polynésie française*, il s'agit des activités dites « historiques » (Lucien-Brun et al. 2018a). De nouvelles filières sont porteuses. Elles concernent la production de macroalgues, de crabes de mangrove (*Scylla serrata*), d'holothuries et de poissons autres que le platax (pati, carangues, sérioles, marava). Elles ne sont pas traitées dans ce guide. Pour autant, la logique de déploiement d'un programme de suivi devrait être similaire à celle décrite dans le présent guide.

Le guide peut aider la production d'arrêtés ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement) : 1- en aidant à l'identification des paramètres à suivre, 2- en fournissant des exemples de plans d'échantillonnage, 3- en fournissant des conseils sur des mentions utiles à faire figurer dans les arrêtés (précision sur les indicateurs et métriques, sur la fourniture des données récoltées aux autorités compétentes en matière d'environnement et de gestion des ressources marines, *etc.*).

Le guide fournit des *valeurs de référence* (tirées de la bibliographie) pour différents paramètres et explique comment aboutir à des *valeurs seuils* à partir des données obtenues lors des suivis. Souvent demandée, la fourniture de *valeurs seuils* reste un processus qui s'inscrit dans la durée, souvent itératif, dépendant de l'environnement naturel, des objectifs de gestion et nécessitant de la concertation (voir partie dédiée à la discussion sur la notion de *valeur seuil*).

Les moyens techniques et financiers alloués actuellement à la DRM pour le service en charge de l'environnement semblent malheureusement très insuffisants au regard 1- du nombre d'exploitations, de leur taille, de leur éparpillement sur un territoire grand comme l'Europe, et 2- des ambitions affichées, notamment de détecter/quantifier de façon précoce les perturbations environnementales en milieu marin (dues à l'activité ou non). Mais préconiser des suivis qui – pour ces raisons économiques – ne répondraient pas aux exigences statistiques minimales n'aurait pas d'intérêt. Les programmes de suivi proposés impliquent une augmentation des moyens techniques et financiers alloués, en recherchant leur optimisation.

2-2 LES CIBLES

Le guide s'adresse principalement aux gestionnaires de la DRM mais, puisqu'il offre des principes généraux sur la conception des programmes de suivis environnementaux marins, il devrait pouvoir être utilisé par d'autres directions,

4 MOA : Maître d'ouvrage = commanditaire du suivi (Collectivité, exploitants ?).
5 MOE : Maître d'œuvre = responsable de la mise en œuvre opérationnelle du suivi (Collectivité, bureaux d'études, associations, exploitants ?).

par des bureaux d'études ou des associations, voire même par les exploitants dans certains cas. Il peut aussi aider à évaluer des suivis environnementaux existants. Le guide s'inscrit dans le point A de la stratégie globale de la DRM[6].

III - VOCABULAIRE INDISPENSABLE À LA COMPRÉHENSION DU GUIDE

Les termes définis ci-dessous sont indispensables à la bonne compréhension du présent document.

Aquaculture et perliculture
Dans la suite du document, on distinguera *l'aquaculture* et la *perliculture*. L'aquaculture regroupe l'ensemble des activités aquacoles (hors perliculture) : crevetticulture, pisciculture, et élevage de bénitiers appartiennent à l'aquaculture. Le collectage de naissains, l'élevage de nacres et la culture de la perle appartiennent à la perliculture.

Paramètre
Dans cet ouvrage, la notion de *paramètre* permet de désigner de façon assez large une caractéristique mesurable d'un milieu considéré. "Concentration en phosphates", "Diversité des coraux", "Température", "Turbidité", *etc.* sont des paramètres.

Métrique
La notion de *métrique* est indispensable pour préciser comment calculer la valeur utile d'un *paramètre* considéré à partir des valeurs mesurées à disposition. « *Moyenne des concentrations en phosphates mesurées sur les stations en zone impactée sur 1 an* » est une *métrique* pour le *paramètre* « Concentration en phosphates ». La valeur calculée selon la métrique préconisée se réfère ensuite à une grille de lecture (voir *infra*).

Référentiel
Comme son nom l'indique, un référentiel fournit des références, c'est-à-dire un certain nombre d'éléments permettant de confronter la valeur de la métrique calculée pour un paramètre avec une ou plusieurs valeurs contenues dans ce référentiel. Les référentiels peuvent revêtir plusieurs apparences et fournir par exemple des éléments de contexte géomorphologique : fond de baie, lagon fermé, lagon semi-ouvert, lagon ouvert, lagon d'île haute, lagon d'atoll ; ou encore des éléments fonctionnels comme la production nominale de l'exploitation. Un référentiel peut aussi permettre de qualifier l'état d'une zone vis-à-vis d'un paramètre : mauvais, moyen, bon.

Grille de lecture
Une grille de lecture doit permettre de déclencher des actions de gestion. A chaque gradation du référentiel correspond ainsi une action de gestion. Par exemple :

Proportion de dépassements de la valeur seuil	Actions de gestion
0	RAS.
5 %	RAS.
10 %	Alerte auprès du responsable d'exploitation de la ferme aquacole.
20 %	Alerte auprès du responsable d'exploitation de la ferme aquacole. Mise en place d'une enquête.
30 %	Alerte auprès du responsable d'exploitation de la ferme aquacole. Arrêt de l'activité.

Exemple de grille de lecture fictive pour un paramètre donné, avec comme métrique la proportion du nombre de dépassements de la valeur seuil définie à l'émissaire de rejet d'une ferme aquacole.

Indicateur
Un indicateur est l'assemblage d'un paramètre, d'une métrique et d'une grille de lecture. Le paramètre doit être pertinent : il doit y avoir un lien avéré entre le phénomène à détecter ou à évaluer et ce paramètre (par exemple la chlorophylle *a* est un paramètre pertinent pour suivre les risques d'eutrophisation). Les valeurs générées par la métrique doivent pouvoir être examinées en termes de niveaux et/ou de tendances vis-à-vis d'un référentiel. La métrique ainsi confrontée à une grille de lecture prend le statut d'indicateur. La grille de lecture étant associée à des actions de gestion, l'état d'un indicateur doit alors permettre le déclenchement des actions de gestion appropriées (d'après Beliaeff et al. 2011).

6 A-Suivi de l'état santé des lagons/A1-Définir des indicateurs de la qualité du milieu lagonaire en fonction des pressions aquacoles/Définir les paramètres les plus pertinents à suivre et leurs valeurs seuils associées au milieu/Guide de suivi de la qualité du milieu lagonaire (FED) avec un focus sur impact aquacole (perlicole et piscicoles).

Forçage
Un forçage (ou *driving force* en anglais) est dans cet ouvrage le terme générique pour désigner les différentes activités aquacoles et perlicoles, mais également les autres activités (agricultures, tourisme) et le dérèglement climatique. Les forçages sont à l'origine de *pressions* et de *menaces*.

Pression
On entend par pression environnementale les différents apports dans le milieu : apport en matière organique, apport en nutriments, apports en substances toxiques, apports en eau chaude, diffusion de bruit, *etc*. On peut quantifier ces apports par des indicateurs de pression. Ces *pressions* ont des causes : les *forçages*.

Menace
Le terme menace est ambigu car il peut désigner à la fois 1- l'éventualité d'un résultat négatif sur l'environnement ("le récif est menacé de disparaître" = menace) et 2- l'objet exerçant cette menace ; par exemple : l'utilisation de substances dangereuses ou la présence d'une cuve de stockage d'hydrocarbures constitue une menace pour le récif, sans pour autant que la *pression* ne s'exerce réellement. Dans cet ouvrage, le terme menace sera employé dans le sens n°2. Il permettra de décrire finement un forçage. Un élément structurel (une installation) ou fonctionnel (une pratique) associé à un forçage pourra constituer une menace. Par exemple : le nettoyage des grillages entourant les chapelets de nacres constitue une menace ; s'il est mal géré, il peut en effet entraîner une accumulation de matière organique dans une zone réduite et provoquer un bloom algal.

État
Un *état* désigne la condition ou la santé d'un écosystème.

Efficacité (d'un suivi)
Un suivi est d'autant plus efficace que la *puissance statistique* du protocole d'échantillonnage est forte (d'après Beliaeff et al. 2011).

Puissance statistique (d'un protocole)
La *puissance statistique* est la probabilité de détecter une variation quand elle existe réellement, qu'il s'agisse d'un changement de classes ou d'une évolution. Cette probabilité est d'autant plus élevée que l'effort d'échantillonnage est important, que la variabilité est faible, et que l'amplitude de la variation à détecter est forte (d'après Beliaeff et al. 2011).

Proxy
Dans le cas où on ne dispose pas d'indicateurs directs de l'*état* pour une *pression* donnée ou bien que le coût afférent à la mise en œuvre de ces indicateurs est prohibitif, on peut recourir à des indicateurs indirects ou *proxy* (d'après Beliaeff et al. 2011).

Suivi
On entend ici par *suivi* un ensemble de protocoles (de terrain et de laboratoire/bureau) mis en place au travers d'un plan (d'échantillonnage) en vue de répondre à un objectif (de gestion). La notion de suivi implique une inscription dans la durée (avec une étude de l'évolution des paramètres mesurés).

Valeur cible, valeur seuil, valeur de référence, valeur typique, valeur de déclenchement
Ces expressions désignent des concepts différents, ou sont parfois synonymes :
- valeur typique : désigne la valeur observée habituellement dans un contexte donné ;
- valeur de référence :
  a- désigne la valeur calculée de la métrique dans la zone de référence (*ie* la zone non impactée) ;
  b- désigne la valeur calculée de la métrique avant perturbation (dans la zone impactée) ;
  c- dans son sens le plus large, valeurs auxquelles on peut se référer comme par exemple la valeur typique observée dans un contexte similaire à celui de la zone étudiée (voir valeur typique ci-dessus) ;
- valeur cible : pour les autorités compétentes (en matière d'environnement et de gestion des ressources marines) ou un exploitant, désigne la valeur fixée comme objectif alors même que l'exploitation n'a pas encore atteint ce niveau de performance environnementale ;
- valeur de déclenchement *(trigger value)* ou valeur seuil : désigne la valeur qui, lorsqu'elle est atteinte, entraîne une action de gestion (*reporting*, procès-verbal, baisse ou arrêt de l'activité, déclenchement de suivis supplémentaires, enquête, *etc.*).

Champs proche, moyen et lointain
Ces appellations permettent de distinguer plusieurs périmètres d'influence autour d'une source de pollution (émissaire de rejet liquide, zone de décharge de déchets organiques, cage flottante, ligne d'élevage, *etc.*). Dans le cas d'une exploitation aquacole/perlicole, le champ proche constitue la zone sous influence directe de l'exploitation, le champ moyen constitue une zone plus éloignée, sous influence indirecte et soumis potentiellement à d'autres pressions. Le champ lointain est défini comme la zone dans laquelle on ne peut plus détecter d'influence de la source de pollution. Pour une exploitation perlicole ou aquacole étendue sur une grande surface en mer, le champ proche pourra potentiellement être constitué de plusieurs zones non connectées (Figure 39 en page 86).

IV - RÉGLEMENTATION

Les aspects réglementaires sont fondamentaux car ils peuvent avoir un impact à plusieurs niveaux :

- la responsabilité des exploitants en matière de suivi et de protection du milieu marin ; et donc la prise en charge financière des suivis ;
- la responsabilité des institutions ;
- les possibilités d'actions de gestion, et notamment les possibilités de sanctions : mises en demeure, amendes, fermeture d'exploitation, obligation de réparation, *etc.* ;
- les possibilités en matière de gestion participative (avec implication des parties prenantes et des citoyens, *via* les comités de gestion par exemple) ;
- la définition de grilles de lecture et actions de gestion ;
- les obligations en matières de suivi :
  - les paramètres à suivre ;
  - les valeurs de déclenchement ;
  - la définition de méthodes de collecte ou de traitement, les métriques, *etc.* ;
  - la définition des rendus attendus (rapport, fichier de données brutes) et leur fréquence ;
- et même la définition des objectifs globaux poursuivis par les programmes de suivis, selon leur cadre d'application.

Globalement, la filière aquacole/perlicole polynésienne fonctionne à partir des règlementations suivantes :

- la réglementation relative aux concessions maritimes et aux agréments aquacoles[7] ;
- la réglementation relative aux espèces exploitées ;
- la réglementation relative aux techniques de pêche (et donc de prélèvements éventuels d'individus pour de l'aquaculture) ;
- la réglementation ICPE ;
- la réglementation aquacole des bénitiers[8] ;
- la règlementation relative à la perliculture, avec notamment :
  - la loi de pays 2017-16 du 18 juillet 2017 réglementant les activités professionnelles liées à la production et la commercialisation des produits perliers et nacriers en Polynésie française ;
  - l'arrêté n° 1259 CM du 31 juillet 2017 relatif aux conditions d'exercice des activités de producteur d'huîtres perlières ou de producteur de produits perliers en Polynésie française.

La réglementation ICPE[9] s'applique à l'aquaculture mais pas à la perliculture, excepté pour les écloseries aussi bien aquacoles que perlicoles soumises aux ICPE. Elle représente pourtant un levier intéressant car, comme stipulé dans le code de l'environnement (Polynésie 2017), « *nul ne peut exploiter une installation sans disposer d'une autorisation [...], quelle que soit la classe à laquelle elle est soumise, après instruction menée par la direction de l'environnement [DIREN] suivant la procédure arrêtée par le conseil des ministres, procédure comportant la consultation du maire de chaque commune concernée* ».

Dans le cadre de la règlementation ICPE, les activités aquacoles relèvent de deux catégories :

Cultures et élevages aquatiques en mer	
1 - Avec apport de nourriture ou de nutriments :	
a) La capacité de production étant supérieure à 100 t/an.	1ère classe
b) La capacité de production étant supérieure à 5 t/an mais inférieure ou égale à 100t/an	2ème classe
2 - Sans apport de nourriture ni de nutriments (hors perliculture, pièges et parcs à poissons). La capacité de production étant supérieure à 20 t/an.	2ème classe
Cultures et élevages aquatiques à terre, en lagune ou en eau douce	
a) La capacité de production étant supérieure à 100 t/an.	1ère classe
b) La capacité de production étant supérieure à 5 t/an mais inférieure ou égale à 100 t/an.	2ème classe
c) Écloseries	2ème classe

7 Valable entre autres pour les demandes d'occupation du DPM pour des conduites d'aspiration ou rejet d'eau en mer (délibération n° 2004-34 APF du 12 février 2004, arrêté n° 241 CM du 25 février 2010 et délibération n° 2010-55 APF du 2 octobre 2010, arrêté n° 2035 CM du 8 novembre 2010).

8 Délibération n° 88-184/AT du 08/12/1988.

9 Les ICPE sont régies par livre IV « Prévention des pollutions, des risques et des nuisances » - Titre I « Les installations classées » – Chapitre 1er - « Nomenclatures des installations classées » du Code de l'environnement (Arrêté n°466 CM du 22 mars 2018 (partie « Arrêtés » du Code de l'environnement). (Fenua 2019).

Dans l'arrêté ICPE 6314 du 17/07/2018[10] concernant la ferme crevetticole d'Opunohu, deux suivis sont demandés :

- suivi annuel : ce suivi s'appuie sur 3 prélèvements (un en entrée de bassin, un en sortie de bassin et un en rivière-amont), et sur plusieurs paramètres (pH, azote total, phosphore total, MES, DCO, DBO5) ; il s'agit donc clairement d'un suivi de type suivi des pressions environnementales exercées sur le milieu marin ;
- suivi mensuel : ce suivi s'appuie sur 1 prélèvement dans un des bassins avec des paramètres non précisés (« ceux de l'aquariophilie ») ; il s'agit clairement d'un suivi zootechnique.

Il est intéressant de constater que ces deux suivis ont des objectifs radicalement différents.

Pour les exploitations perlicoles, les actions de gestions les plus concrètes ne peuvent s'appuyer actuellement que sur les possibilités de restriction éventuelles des concessions maritimes. La DRM est en charge de ces autorisations d'occupation temporaire du domaine public maritime (AOT).

L'arrêté n°1259 du 31/07/2017 précise les plafonds écologiques[11] définis en fonction de l'ouverture des lagons et définissant la superficie maximale exploitable en perliculture. Pour un lagon fermé, le plafond est fixé à 5 % de la surface totale du lagon ; pour un lagon semi-ouvert, 8 % ; pour un lagon ouvert, 10 %. Ces plafonds ont davantage de sens dans les atolls que sur les îles hautes. Dans l'archipel des Gambier par exemple, le lagon est particulièrement vaste et ouvert ; l'activité est intense et concentrée principalement dans les baies de l'île principale Mangareva ; les lignes d'élevage y sont donc particulièrement nombreuses alors même que le plafond écologique n'est pas atteint. Ce « plafond écologique », dans sa définition actuelle, n'est pas donc pas, un outil suffisant de régulation.

Ce même arrêté précise cependant que la superficie totale du domaine public maritime autorisée à des fins d'exploitation perlicole peut être limitée en deçà du plafond écologique à la demande du comité de gestion décentralisé concerné. Cette limite est appelée «plafond de gestion» et dépend, entre autres, de l'état santé général du lagon.

Ce même arrêté présente dans son annexe 5 le cahier des charges applicable à l'exercice de l'activité de producteur d'huîtres perlières ou de producteur de produits perliers. Selon l'article 39 de la loi de Pays du 18/07/2017, ce *« cahier des charges définit les conditions d'utilisation de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime ; le cahier des charges doit notamment prévoir les conditions applicables aux différentes activités de production ; ces conditions tiennent compte de critères de gestion de l'espace lagonaire, zootechniques, environnementaux et sanitaires et portent notamment sur les types de matériaux autorisés, leur nombre, leur espacement, leur nettoyage, leur recyclage et la densité d'huîtres perlières en élevage sur l'espace concédé* » (Assemblée de la Polynésie 2017). Au-delà de la liste des bonnes pratiques (sur les installations et la zootechnie), un certain nombre de conditions sont intéressantes dans le cadre de ce guide et de l'éventuelle mise en place de suivi, notamment :

- **Article 3.10 :** *Tout phénomène de mortalité anormalement élevé des huîtres perlières (plus de 15 % de mortalité des individus en 15 jours) doit être signalé au plus vite auprès du service en charge de la perliculture* ;
- **Article 3.11 :** *Le signalement de toute suspicion de morbidité ou de mortalité de maladies listées à l'arrêté n° 760 C M du 4 juin 2007 modifié relatif à la nomenclature des maladies transmissibles des animaux à déclaration obligatoire et des maladies transmissibles des animaux faisant l'objet de mesures de police sanitaire, ainsi que les modalités de leur déclaration, doit se faire auprès du service en charge de la biosécurité et du service en charge de la perliculture* ;
- **Article 3.12 :** *Il en est de même des huîtres perlières présentant des anomalies de forme ou en arrêt de croissance* ;
- **Article 8.2 :** *La densité en huîtres perlières de taille greffable à savoir des huîtres dont la coquille fait au moins 7 centimètres de largeur, ne peut pas être supérieure à 12 000 individus à l'hectare.*

Les paramètres sanitaires (mortalité, retard de croissance, malformations, *etc.*) peuvent en effet apparaître comme *proxies* de la qualité du milieu marin et les autorités compétentes (en matière

10 (Ministère de la culture et de l'environnement de Polynésie 2018).

11 Respect du plafond écologique : Le plafond écologique est la superficie totale maximale du domaine public maritime qui peut être octroyée pour les activités perlicoles (élevage, greffe, collectage) au sein d'un même lagon. Ce plafond tient compte de la taille du lagon, de sa bathymétrie, de son hydrodynamisme et notamment de l a présence de passes et de l'état de santé général de son écosystème. Si le plafond écologique est dépassé, aucune nouvelle surface ou station de collectage ne peut être accordée pour une nouvelle demande ou une extension, mais le renouvellement des autorisations existantes est autorisé. Le plafond écologique de chaque lagon ouvert aux activités perlicoles est fixé en arrêté pris en conseil des ministres. (Assemblée de la Polynésie 2017).

d'environnement et gestion des ressources marines) pourront donc éventuellement s'appuyer sur les éléments ci-dessus pour solliciter le concours des exploitants.

Les comités de gestion représentent par ailleurs un outil particulièrement intéressant pour l'identification des préoccupations locales et l'affinement des objectifs de gestion. En matière de perliculture les comités de gestion sont régis par l'arrêté 1824 du 13 septembre 2018. Les comités sont composés d'acteurs publics (maires, agents communaux) et privés (représentants des perliculteurs et des autres usagers du lagon). Ils représentent théoriquement un rouage essentiel à l'acceptabilité du programme de suivi du milieu marin, et probablement à son application.

Sur les aspects sanitaires, on peut noter que la DRM travaille en étroite collaboration avec la Direction de la biosécurité (DBS), en charge du suivi et du contrôle sanitaire des produits de pêche et d'aquaculture (qu'ils soient produits localement, importés, échangés entre les îles ou exportés) et le Centre d'Hygiène et de Santé Publique (CHSP) (en charge du suivi et du contrôle sanitaire des produits de pêche et d'aquaculture mis sur le marché du Pays). Le suivi des statistiques du secteur est assuré par la DRM en étroite collaboration avec l'Institut des statistiques de la Polynésie française (ISPF) (Lucien-Brun et al. 2018b).

Si les outils réglementaires à disposition sont plutôt opérationnels en matière d'aquaculture, il semble qu'ils mériteraient d'être développés pour le secteur perlicole. Mais comme expliqué dans le Schéma Directeur de l'Aquaculture, l'encadrement du secteur nécessite notamment une compréhension des capacités de charge des lagons, en productions aquacoles (dont les installations d'élevage et les pertes éventuelles d'espèces aquacoles dans le milieu), des plans intégrés de zonages des installations, une définition plus précise des conditions d'octroi et de suivi des ICPE [...]. Le projet de loi sur l'aquaculture envisagé pour une élaboration en 2019 et une entrée en vigueur en 2020 n'a toujours pas abouti. Cette loi a entre autres pour objectif de définir, avec des textes d'application, le cadre juridique des activités aquacoles en Polynésie française (ce qui n'est pas le cas de façon générale à l'heure actuelle) (Lucien-Brun et al. 2018b).

D'un point de vue pratique, on pourra noter qu'il est parfois utile, notamment pour des gros projets, de pouvoir produire des documents réglementaires de type « convention » entre le pétitionnaire et l'institution. Ce genre de document permet de définir et rassembler de façon efficace de très nombreuses informations destinées à définir les engagements entre le pétitionnaire et l'institution, comme les obligations en matière de suivi de la qualité du milieu marin, évitant ainsi la production de nombreux arrêtés d'autorisation. En Nouvelle-Calédonie, des conventions ont été utilisées pour les projets miniers (Convention province Sud-Vale NC « Convention pour la conservation de la Biodiversité »).



Pour éviter toute dérive de la part du pétitionnaire, il est conseillé d'inscrire, autant que possible, dans les arrêtés (ou la convention) un ensemble d'éléments essentiels : plan d'échantillonnage (localisation, profondeur, paramètres, fréquence, méthode, normes associées, etc.), fréquence de reporting, grille de lecture (avec métrique, valeurs seuils et actions de gestion), fourniture des données brutes (format, fréquence de fourniture), procédures d'analyse et contrôle de la qualité (des relevés de terrain notamment).

V - UNE STRATÉGIE POUR LES PROGRAMMES DE SUIVI POUR LA POLYNÉSIE FRANÇAISE

Remarque fondamentale : la constitution du dossier ICPE au travers 1) de la sélection du site et 2) de la présentation des bonnes pratiques (notamment en matière de nourrissage et d'assurance qualité des pratiques) est le premier et principal élément de préservation de l'environnement lié au projet d'exploitation aquacole/perlicole. En second vient le programme de suivi environnemental et les éventuelles sanctions associées.

5.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA DÉMARCHE DE CONCEPTION D'UN PROGRAMME

L'élaboration d'un programme de suivi du milieu marin, sa mise en œuvre et son optimisation s'inscrivent dans une démarche logique générale (Figure 1).

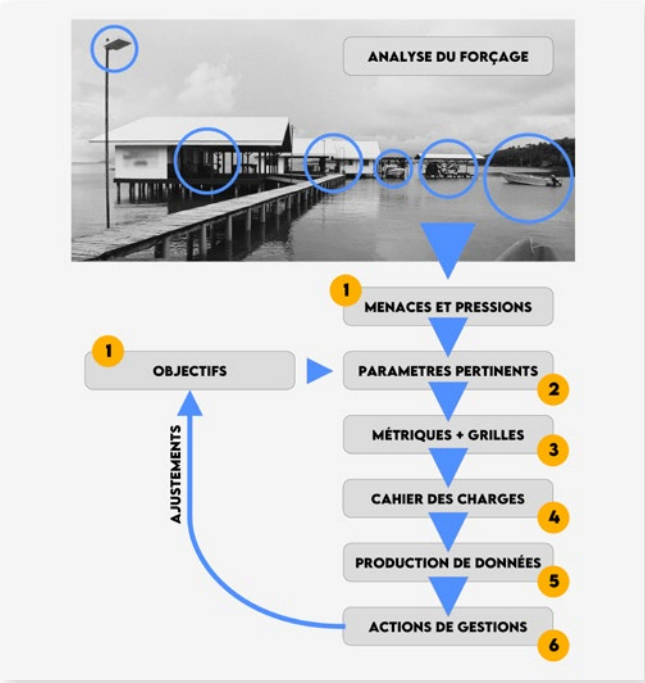


Figure 1 : Démarche générale logique pour la mise en place d'un suivi.

La mise en place d'un programme de suivi du milieu marin se déroule en plusieurs étapes.

En lien avec les autorités compétentes en matière d'environnement et de gestion des ressources marines, la conception du programme commence par la définition des objectifs de gestion (et les besoins en *reporting*). Ces objectifs auront un impact véritable sur la stratégie d'échantillonnage. La définition des objectifs doit tout simplement répondre à la question : « pourquoi réaliser un suivi ? » (Geode 2012).

En parallèle, il s'agit d'analyser le forçage environnemental sous l'angle des pressions et des menaces qui lui sont associées.

Il est ensuite possible d'identifier une liste de paramètres pertinents qui permettront par exemple de suivre les pressions environnementales recensées (indicateurs de pression), l'état du milieu naturel (indicateur d'état), et répondant aux objectifs identifiés.

À l'étape 3, il s'agit de définir les métriques associées à chaque paramètre suivi et d'établir des « niveaux » impliquant des actions de gestion.

L'étape 4 est la production d'un document écrit stipulant les besoins en matière de collecte et traitement de données. Ce document est le véritable cahier des charges qui devra être appliqué (ce qui n'est pas le cas du présent guide). Il sera éventuellement utilisé pour réaliser un appel d'offre afin de sélectionner l'opérateur du programme de suivi.

Commence alors l'échantillonnage et la production des données (étape 5), permettant d'aboutir aux premiers résultats et à l'application des actions de gestion (étape 6).

Des ajustements peuvent être opérés en fonction des performances du programme, de l'évolution des objectifs, de l'évolution de l'état du milieu, et de l'impact des mesures de gestion mises en place.

5.2 CYCLES DE SURVEILLANCE

Même s'il est judicieux de cadrer au maximum les opérations réalisées au cours de la vie d'un programme de suivi, de multiples ajustements sont possibles (et souhaitables) au fil du temps :

- amélioration des techniques de collecte de données sur le terrain ;
- amélioration des techniques de laboratoire ;
- élaboration de nouvelles normes ;
- changement des valeurs seuils (discussion en comité de gestion par exemple) ;
- adaptation de l'effort d'échantillonnage (autant spatial que temporel) en fonction de la variabilité constatée dans les données[12] ;
- ajout de paramètres en fonction de nouveaux enjeux environnementaux ou sociaux ;
- *etc.*

On peut noter par ailleurs que l'intensité d'un suivi sur une zone donnée peut varier avec les différentes phases d'un projet affectant potentiellement cette zone :

- Pour l'état initial (la perturbation étudiée est absente) ; l'état initial permet d'appréhender la variabilité naturelle (spatiale et temporelle) pour les différents paramètres. Cette phase précédent les opérations (travaux ou activité elle-même) est souvent courte et il ne s'agit donc pas de s'apercevoir en fin de période que l'effort d'échantillonnage était trop faible pour appréhender correctement la variabilité naturelle, car il est probable que les travaux devront alors commencer.

12 Voire même de la disponibilité du matériel et des compétences.

- Pour une phase de travaux de grande ampleur (en mer ou à terre), on peut envisager un suivi spécial, adapté aux pressions (et menaces) générées par les travaux. Des paramètres peuvent être ajoutés au programme de suivi. La fréquence peut, elle aussi, être intensifiée.
- Pour le suivi sur le long terme, on bénéficie de toutes les informations récoltées pendant l'état initial et l'éventuelle phase de travaux intenses ; il est alors beaucoup plus facile d'aboutir à une liste de paramètres pertinents et un plan d'échantillonnage optimisé : nombre de stations et fréquences d'échantillonnage.

Bien entendu, ce phasage et ces ajustements représentent la version idéale d'une gestion environnementale et, bien souvent, les activités aquacoles/perlicoles sont déjà en place alors que le suivi n'a pas commencé.

Une durée de 2 ans pour l'état initial paraît logiquement être la durée minimum pour appréhender la variabilité naturelle (deux cycles saisonniers).

L'intérêt d'un état initial est encore plus grand pour des zones marines déjà impactées par d'autres activités que l'activité aquacole/perlicole, car :

- des indicateurs spécifiques de l'activité aquacole n'existent pas réellement[13] ; les paramètres à suivre sont en général les mêmes que ceux d'un suivi de rejet d'eaux usées urbaines ou agricoles ;
- une comparaison spatiale (avec une zone similaire soumise aux mêmes pressions en nature et en intensité) représente parfois un défi de taille (voir partie 6.4).

5.3 PLUSIEURS TYPES DE PROGRAMMES DE SUIVI

Un programme de suivi de la qualité du milieu marin « sous influence aquacole et perlicole » peut prendre plusieurs formes :

1- **Suivi patrimonial :** un suivi de la qualité du milieu marin destiné à connaître l'état de ce milieu (type DCE) ainsi que son évolution, sans pour autant établir un lien de cause à effet entre les pressions exercées par l'activité aquacole/perlicole et l'évolution de la qualité du milieu marin ;

2- **Suivi d'accompagnement de filière :** un suivi de la qualité du milieu marin destiné à fournir des informations aux exploitants aquacoles/perlicoles afin d'optimiser leur production ou les alerter ;

3- **Suivi d'acquisition de connaissance (recherche) :** un suivi de la qualité du milieu marin destiné à comprendre certains phénomènes, comme les proliférations phytoplanctoniques responsables des *crashes* (mortalités massives d'organismes marins du milieu naturel et d'élevage) de certains atolls ;

4- **Suivi des pressions :** un suivi de l'activité aquacole/perlicole au regard des pressions qu'elle exerce sur le milieu marin (les apports dans le milieu) ;

5- **Suivi des impacts environnementaux :** un suivi de la qualité du milieu marin destiné à détecter et évaluer l'impact de l'activité aquacole/perlicole sur ce milieu (les changements dans les biocénoses par exemple) à l'aide d'indicateurs interprétables dans leur lien avec les pressions.

Dans le cas de la Polynésie française, de nombreuses connaissances manquent encore pour pouvoir déployer des programmes de suivis parfaitement ajustés au besoin des autorités compétentes en matière d'environnement et de gestion des ressources marines. Il est donc conseillé de raisonner en cycles de surveillance et de façon pragmatique :

- un premier cycle avec un programme assez dense, en nombre de stations, paramètres et fréquences, et qui peut s'étaler sur une période de 2 à 5 ans par exemple ;
- puis un deuxième cycle avec un programme plus léger, sur le long terme ; programme qui pourra lui-même être ajusté en fonction des résultats obtenus.

13 Bien que des paramètres soient conseillés dans le cadre de certifcations internationales de bonnes pratiques *(Global Aquaculture Alliance Best Aquaculture Practices Standards and Guidelines, Aquaculture Stewardship Council Farm Certification and Accreditation Requirements).*

Le présent guide s'intéresse prioritairement aux suivis de types 4 et 5. Dans leur déploiement opérationnel, ils diffèrent largement des autres types de suivis. Un suivi devant permettre de prendre des décisions en matière de gestion n'est pas construit comme un suivi devant répondre à des questions de recherche, puisque leurs objectifs sont différents. Des mutualisations sont parfois possibles mais elles ne doivent pas grever l'efficacité de l'un ou l'autre des suivis. Un même programme de suivi peut parfaitement contenir des aspects de surveillance opérationnelle et de recherche. Il faut simplement le formaliser clairement pour ne pas créer de confusion dans le déploiement du suivi, son financement, et son évolution.

En général, le suivi des pressions et le suivi des impacts se confondent au sein d'un même programme.

On peut distinguer deux approches différentes :

- une approche par exploitation avec le déploiement d'un suivi individuel ;
- une approche zonale avec le déploiement d'un suivi collectif de plusieurs exploitations au sein d'une même zone (baie, île, atoll, groupe d'atolls).

On peut facilement imaginer que les programmes de suivis individuels pourraient être portés financièrement par les exploitants. Au contraire, les programmes en approche zonale seraient des suivis financés par la collectivité (et s'appuieraient éventuellement sur des données récoltées dans le cadre de programmes individuels).

DIREN et DRM pourraient collaborer pour la mise en œuvre des programmes de suivis en approche zonale. L'existence d'un réseau de référence pérenne (dans un ou plusieurs atolls non perlicoles par exemple) pourrait permettre d'appréhender les changements globaux (type dérèglement climatique) sur la durée et de les discriminer plus facilement dans le cadre des suivis sur des zones impactées par la perliculture. On trouve cette notion de « réseau de référence » dans la DCE avec le Réseau de Référence Pérenne (RRP)[14].

5.4 DES PROGRAMMES CONDITIONNÉS PAR LE CONTEXTE OU LES RÉSULTATS

5.4.1 État de l'art

Plusieurs pays et organisations professionnelles internationales préconisent un programme variable selon le contexte ; par exemple :

- **la phase** du projet (voir la notion de cycle en partie 5.2) : avant installation, phase de travaux, phase opérationnelle ;
- **la configuration géomorphologique** : c'est le cas au Chili, avec notamment une distinction en fonction de la profondeur (supérieure ou inférieure à 60 m) ;
- **l'activité aquacole considérée** : en Australie (par exemple), le suivi du rapport C/N[15] dans les sédiments est préconisé pour l'aquaculture seulement lorsqu'elle est nourrie (Fisheries Victoria et DPI 2006) ;
- **la taille des exploitations** : dans les *Guidelines for Environmental Baseline Surveys and Ongoing Monitoring of Aquaculture Fisheries Reserves in Port Phillip and Western Port* (Fisheries Victoria et DPI 2006), le nombre de transects varie avec la taille de la concession ;
- **les résultats obtenus** sur certains paramètres : si les résultats sont jugés mauvais, ou bien si la zone est considérée « à risque », alors l'effort d'échantillonnage ou même la liste des paramètres à collecter peuvent être augmentés.

Les stratégies en niveaux (ou paliers) ont l'avantage de permettre une bonne gestion des coûts. Elles permettent de réaliser des suivis moins onéreux à fréquence resserrée et de déclencher des suivis plus complets (et plus coûteux) dès qu'une alerte est activée.

Le Gouvernement canadien utilise ce genre de stratégie en fonction des conditions observées sur les sédiments (voir Tableau 1). Dans cet exemple, la concentration en sulfures dans les sédiments permet de distinguer plusieurs classes. Plus les sédiments sont concentrés, plus l'effort d'échantillonnage augmente.

14 Son objectif est double : d'une part la nécessité de caractériser des conditions de référence dans des milieux peu ou pas impactés par des dégradations ; cela permet de déterminer les niveaux attendus pour les éléments de qualité biologique, hydromorphologique et physico-chimique dans ces conditions ; d'autre part, la volonté d'évaluer les changements à long terme des conditions naturelles ; le RRP permet un suivi pérenne, sur plusieurs décennies de sites non dégradés.

15 C/N : carbone / azote.

Classification des sites	Condition des sédiments sur le paramètre sulfures	Gestion des Impacts sur l'environnement, par paliers
Oxique A	Sulfure < 750 µm	Suivis du niveau 1
Oxique B	Sulfure = 750 à 1 499 µm	
Hypoxique A	Sulfure = 1 500 à 2 999 µm	Suivis du niveau 1
Hypoxique B	Sulfure = 3 000 à 4 499 µm	Suivis du niveau 1 + suivis du niveau 2
Hypoxique C	Sulfure = 4 500 à 5 999 µm	Suivis du niveau 1 + suivis du niveau 2 + suivis du niveau 3
Anoxique	Sulfure ≥ 6 000 µm	Suivis du niveau 1 + suivis du niveau 2 + suivis du niveau 3

Tableau 1 : Exemple de gestion environnementale par niveaux ; la classification des sites aquacoles sur le paramètre Concentration en sulfures détermine le « palier », c'est-à-dire l'intensité du suivi (Environnement et Gouvernements 2012).

Les suivis du niveau 1 constituent le programme de base. Les suivis du niveau 2 permettent de compléter le programme avec des suivis additionnels dont l'objectif est de déterminer les délimitations de la zone impactée et de la zone d'influence. Dans une exploitation constituée de cages en mer, il s'agira par exemple d'ajouter des stations de suivi des cages entourant une station de suivi (du programme de niveau 1) qui aurait atteint le niveau *Hypoxique B* (ou plus). Les suivis du niveau 3 permettent d'appréhender les variations temporelles en augmentant les fréquences d'échantillonnage sur des zones qui auraient atteint le niveau *Hypoxique C* (ou plus) (Scotia 2020).

Au Canada encore, sur les grandes exploitations aquacoles avec cages en mer, le nombre de stations (pour le programme du niveau 1) est déterminé en fonction du nombre de poissons dans les cages (Tableau 2). Les cages sont de très grandes dimensions (plusieurs dizaines de mètres de diamètre).

On trouve aussi ce type de stratégie par paliers dans les *Standards ASC Bivalves* (Asc 2019) ; sur la base d'une investigation visuelle des sédiments (avec enregistrement vidéo) et de leur concentration en sulfures, le programme de suivi est adapté, avec une fréquence pouvant être augmentée (de tous les 5 ans à une fois par an) (Tableau 3).

Nombre de poissons dans la cage considérée	Nombre de stations par cage
1 - 200 000	2
200 001 – 300 000	3
300 001 – 400 000	4
400 001 – 500 000	5
500 001 – 600 000	6
600 001 – 700 000	7
700 001 – 800 000	8
800 001 – 900 000	9
900 000 – 1 000 000	10

Tableau 2 : Ajustement du nombre de stations d'échantillonnage du sédiment selon l'occupation de la cage.

Classification du site	Décision des autorités	Conséquences sur le suivi
Observation visuelle : pas de dépôt, sédiments grossiers (sable ou galet)		
[Sulfures] ≤1500 µM)	Acceptable	Suivi tous les 5 ans
Observation visuelle : dépôts, sédiments fins et…		
1500 < [Sulfures] ≤ 3000 µM	Acceptable	Suivi tous les ans et mesures de gestion pour maintenir le site dans la gamme de concentrations mesurées sur le site de référence
[Sulfures] > 3000µM	Pas acceptable	Mesure de gestion (mise en jachère du site)

Tableau 3 : Conditions du programme de suivi en fonction des caractéristiques observées sur les sédiments d'après les Standards ASC Bivalves (Asc 2019).

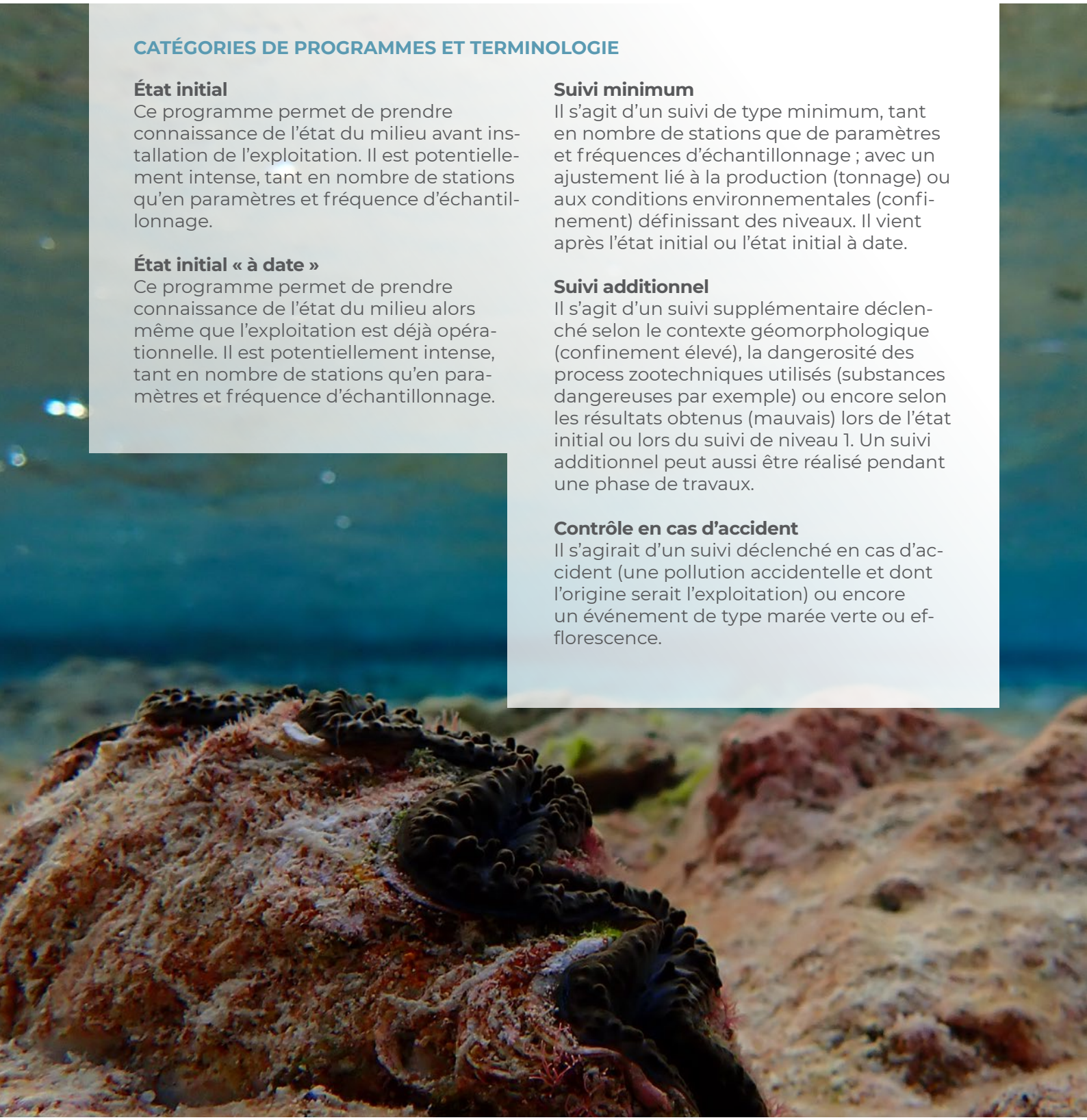
Enfin, au Royaume Uni, on distingue 6 niveaux de programme de suivi (Tableau 4).

Étude	Niveau de suivi
Suivi visuel	Sur un transect de 50 m le long des courants dominants, avec une station tous les 5 m. Vidéo enregistrée en ROV. Photos prises sur chaque station.
État initial de base	Échantillonnage sur 2 stations (écartées de 100 m) dans la zone qui sera occupée par les cages. Deux stations de références sont échantillonnées à une distance située entre 500 m et 1 km.
État initial additionnel	Échantillonnage sur 2 transects, l'un en aval du courant dominant, l'autre en amont, avec des stations situées à la limite des cages, puis à 50 m et 100 m dans les deux directions. Deux stations de références sont échantillonnées à une distance située entre 500 m et 1 km.
Suivi de base	Échantillonnage sur 2 stations le long du courant, l'une à moins de 5 m des cages, l'autre à la limite de concession. Deux stations de références sont échantillonnées à une distance située entre 500 m et 1 km.
Suivi additionnel	Échantillonnage sur 2 transects, l'un en aval du courant dominant, l'autre en amont, avec des stations situées à la limite des cages, puis à 50 m et 100 m dans les deux directions. Deux stations de références sont échantillonnées à une distance située entre 500 m et 1 km.
Suivi spécifique	Échantillonnage sur 4 stations le long d'un transect (orientation en fonction du site), avec une station au niveau de la cage, une à 10 m à l'intérieur de la concession, une sur la limite de concession, la dernière à 10 m à l'extérieur. Deux stations de références sont échantillonnées à une distance située entre 500 m et 1 km.

Tableau 4 : Différents niveaux de suivi pour l'aquaculture (Royaume-Uni) (Fao 2009).

5.4.2 Proposition pour la Polynésie française : catégories et niveaux

Pour les suivis de la qualité du milieu marin sous influence aquacole et perlicole en Polynésie française, les distinctions suivantes pourraient par exemple être utilisées afin qualifier les différents programmes :



CATÉGORIES DE PROGRAMMES ET TERMINOLOGIE

État initial
Ce programme permet de prendre connaissance de l'état du milieu avant installation de l'exploitation. Il est potentiellement intense, tant en nombre de stations qu'en paramètres et fréquence d'échantillonnage.

État initial « à date »
Ce programme permet de prendre connaissance de l'état du milieu alors même que l'exploitation est déjà opérationnelle. Il est potentiellement intense, tant en nombre de stations qu'en paramètres et fréquence d'échantillonnage.

Suivi minimum
Il s'agit d'un suivi de type minimum, tant en nombre de stations que de paramètres et fréquences d'échantillonnage ; avec un ajustement lié à la production (tonnage) ou aux conditions environnementales (confinement) définissant des niveaux. Il vient après l'état initial ou l'état initial à date.

Suivi additionnel
Il s'agit d'un suivi supplémentaire déclenché selon le contexte géomorphologique (confinement élevé), la dangerosité des process zootechniques utilisés (substances dangereuses par exemple) ou encore selon les résultats obtenus (mauvais) lors de l'état initial ou lors du suivi de niveau 1. Un suivi additionnel peut aussi être réalisé pendant une phase de travaux.

Contrôle en cas d'accident
Il s'agirait d'un suivi déclenché en cas d'accident (une pollution accidentelle et dont l'origine serait l'exploitation) ou encore un événement de type marée verte ou efflorescence.

Il paraît essentiel de pouvoir ajuster les programmes de suivis en fonction de la taille des exploitations et du confinement de la zone sur laquelle l'exploitation est installée (Tableau 5).

Pour l'aquaculture (de crevettes ou de *platax*), on pourra utiliser la production nominale pour définir des niveaux de suivi minimum (ou d'état initial) (Tableau 6) (voir exemple 1 en partie 10.1). Pour les complexes aquacoles, on pourra utiliser la quantité cumulée d'aliment distribué pour définir les 5 niveaux (voir Tableau 51).

Le passage d'un niveau à l'autre pourrait par ailleurs être déclenché à dire d'expert par certains résultats obtenus lors de l'état initial ou le suivi régulier. **Ce changement d'intensité doit pouvoir être prévu par la réglementation.**

Le nombre de stations d'un programme est défini à dire d'expert en fonction de l'étendue de la zone d'influence. Le nombre de stations de suivi positionnées sur les installations pourra être proportionnel au nombre de cages ; compte-tenu de la taille des cages actuellement utilisées en Polynésie française (moins de 10 m de diamètre), 1 station pour 5 cages représenterait un effort adapté.

5.5 UN *DESIGN* DÉPENDANT DE MULTIPLES ÉLÉMENTS

Les qualifications présentées dans les paragraphes précédents ne suffisent pas entièrement pour aboutir à un programme d'échantillonnage pertinent (avec ses paramètres, ses stations, ses fréquences de collecte, *etc.*). En effet, la stratégie générale, le cadre global, les besoins en matière de *reporting* (fréquence de publication des résultats, type de résultats attendus), les outils réglementaires disponibles, les moyens disponibles (financiers, techniques, humains), et même la sensibilité particulière d'un comité de gestion à la préservation d'une ressource (par exemple) doivent entrer en ligne de compte.

Le présent guide n'a pas pour vocation de définir précisément les objectifs des programmes de suivis à mettre en place, mais d'apporter des éléments de cadrage. Nous attirons l'attention du lecteur sur la nécessité de définir clairement les objectifs avant de dessiner un programme de suivi du milieu marin sous influence aquacole et/ou perlicole. Il est par ailleurs important de rappeler que les objectifs d'un suivi peuvent évoluer au cours du temps (voir partie 5.1).

Degré de confinement	Atoll ouvert ou zone marine avec fort taux de renouvellement des eaux	Atoll semi-ouvert ou zone marine avec taux de renouvellement des eaux moyen	Atoll fermé ou zone marine avec taux de renouvellement des eaux faible
Niveau de suivi	1	2	3
Signification	Programme léger	Programme intermédiaire	Programme intense

Tableau 5 : Niveaux de suivi en fonction du degré de confinement pour une aquaculture avec nourrissage ou pour une aquaculture sans nourrissage mais développée (cheptels importants, forte biomasse).

Production nominale	Moins de 5 t	De 5 à 20 t	De 20 à 50 t	De 50 à 100 t	Plus de 100 t
Niveau de suivi	1	2	3	4	5
Signification	Programme très léger	Programme léger	Programme intermédiaire	Programme intense	Programme très intense

Tableau 6 : Niveaux de suivi selon la production nominale.

Les éléments listés ci-après peuvent servir de pense-bête pour formuler les objectifs d'un programme de suivi :

Objectif du programme, avec entre autres :
- Evaluation des pressions / évaluation des impacts ;
- Suivi individuel / suivi zonal (collectif).

Catégorie du programme :
- État initial ;
- État initial à date ;
- Suivi de niveau minimum ;
- Suivi additionnel ;
- Contrôle en cas d'accident.

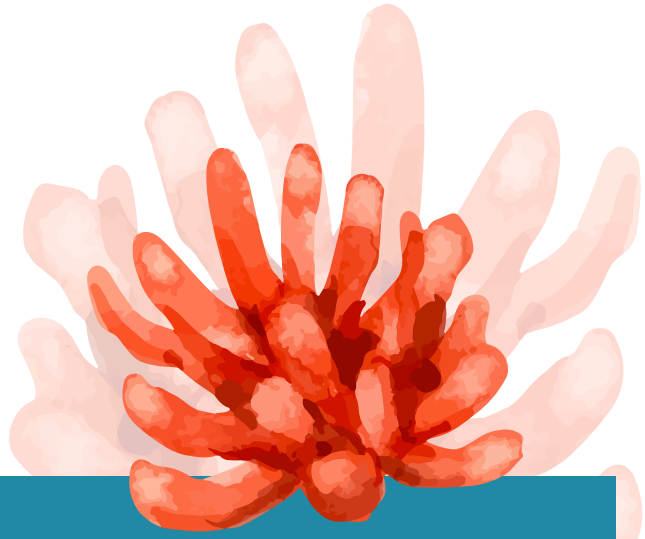
Préoccupations particulières ; exemples :
- Dans la zone d'influence de la ferme, il y a un écosystème d'intérêt patrimonial très fort (un récif particulièrement bien préservé, par exemple) ;
- Les populations pêchent dans la zone d'influence du projet et craignent pour la ressource en poissons (appauvrissement ou changement) ;
- Les populations craignent la dégradation de la qualité des sédiments sous les cages ;
- Déterminer l'efficacité de la mise en place d'un nouveau bassin de rétention sur la qualité de l'eau en sortie d'émissaire de rejet.

Objectifs en matière de valorisation des données ; exemples :
- Les autorités compétentes (en matière d'environnement et de gestion des ressources marines) souhaitent publier annuellement les résultats dans un magazine spécialisé ;
- Le comité de gestion veut disposer tous les 2 ans d'une mosaïque de la section de récif à fort intérêt patrimonial ;
- *Etc.*

Objectifs en matière de fourniture des données brutes ; exemples :
- Les autorités compétentes souhaitent ajouter les données du programme de suivi à la base de données globales des suivis, tous les 6 mois ;
- Un délai de 3 mois maximum après chaque campagne de suivi doit être respecté pour restituer les données au format informatique compatible avec la base de données.

Objectifs en matière de gestion participative ; exemples :
- Le comité de gestion souhaite impliquer les jeunes du collège dans le suivi de la qualité du milieu marin ;
- *Etc.*

La formulation des objectifs (et actions de gestion associées) est fondamentale pour aboutir à la mise en place d'un programme de suivi pertinent. Formuler ces objectifs, les reformuler, les décliner sous forme de questions, les interroger en termes de *reporting* (fréquence de *reporting* attendue, type de graphique attendu, *etc.*) sont des actions utiles à mener pour la réussite du programme de suivi.



Acceptabilité sociale

On peut assez facilement concevoir que si un comité de gestion exprime une crainte particulière concernant les populations de poissons dans une zone de pêche sous influence aquacole ou perlicole, alors, il sera judicieux de prévoir, dans le programme de suivi, des comptages de poissons centrés sur les espèces pêchées (ou des enquêtes de pêche).

Si les préoccupations du comité de gestion concernent plus une préservation de la biodiversité benthique et pélagique, alors, il sera judicieux de prévoir un suivi des communautés benthiques et des poissons, avec des comptages totaux (c'est-à-dire de toutes les espèces ; pas seulement des espèces consommées).

Certains suivis n'auront pas forcément d'intérêt quant à la détection et la quantification des pressions et impacts. Mais ils peuvent avoir une utilité en termes d'« acceptatbilité sociale ».

VI - ÉLÉMENTS SUPPLÉMENTAIRES DE STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

6.1 EFFICACITÉ D'UN SUIVI (D'APRÈS BELIAEFF ET AL. 2011)

Rendre un suivi efficace revient à minimiser le risque de ne pas conclure à un impact alors qu'il existe réellement. Ce risque est communément noté β, encore appelé risque de deuxième espèce. La puissance statistique est égale à la probabilité complémentaire de β, c'est-à-dire 1-β. Minimiser β revient à maximiser la puissance statistique du suivi. À l'inverse, il arrive parfois de conclure à un impact alors qu'il n'y en a pas en réalité ; c'est le risque d'erreur communément noté α, appelé également risque de première espèce. En pratique, on fixe α (souvent à 5 %), c'est à dire le risque de conclure à tort à un impact. On montre que β sera d'autant plus faible, et donc la capacité à détecter un impact plus forte, pour α fixé, que :

- la variabilité du paramètre est faible ;
- l'amplitude de l'impact à détecter est forte ;
- l'effort d'échantillonnage est important.

Ces trois conditions peuvent être combinées en un seul critère : obtenir le rapport signal sur bruit le plus fort possible.
Dans notre cas le risque β est le risque « environnemental » (pas d'impact détecté sur l'environnement alors qu'il existe), et le risque α est le risque « producteur » (le producteur est pénalisé puisqu'un impact de l'activité perlicole ou aquacole est détecté à tord).

6.2 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE IDÉAL (NIVEAU MACRO)

Les suivis les plus efficaces sont ceux qui s'appuient sur un état des lieux initial (*baseline*) bien documenté. Dans la mesure où les programmes de suivi sont en général des opérations très chères, réaliser une étude pilote aussi soignée que possible afin d'optimiser le programme de suivi et donc d'en diminuer les coûts est largement conseillé (Anzecc and Armcanz 2000).

Les suivis doivent permettre de comparer deux états : l'un considéré comme non impacté par une activité et, l'autre, présumé impacté par cette activité. Des problèmes d'interprétation peuvent survenir du fait d'un protocole inadéquat :

- comparer un site impacté avec un site de contrôle (témoin) alors que les données du site de contrôle ont été obtenues avant l'impact présumé de l'activité : dans ce cas on ne peut pas distinguer la variation naturelle de l'effet de l'activité puisque l'état du site impacté avant le début de l'activité est inconnu ; on parle d'un protocole Contrôle-Impact (*Control-Impact Design*) ;
- comparer un même site avant et après le début de l'activité, sans confronter les résultats à ceux observés dans une zone de contrôle : dans ce cas la différence pourrait être liée à une variation temporelle de causes non liées à l'activité, par exemple un effet saisonnier fort sur le paramètre étudié ; on parle d'un protocole Avant-Après (*Before-After Design*).

Une solution à ces problèmes consiste à combiner les deux protocoles en prenant donc en compte les sources de variabilité spatiale et temporelle. Il s'agit du protocole BACI (*Before-After-Control-Impact*) qui consiste à sélectionner des sites dans la zone de contrôle et dans la zone présumée devant être impactée avec réplication avant et après l'impact.

Comment prendre en compte la puissance statistique dans la mise en place d'un suivi environnemental ?

Le principe est le même que l'on s'intéresse au dépassement d'une valeur cible, ou bien à la détection d'une évolution temporelle jugée importante (donc cible également) :

On fixe la valeur cible (celle témoignant d'un impact avéré ou d'une évolution témoignant de la dégradation du milieu).

On estime la variabilité de la métrique à partir de données historiques ou d'une étude pilote.

On détermine la probabilité de dépasser la valeur cible compte tenu de cette variabilité, soit analytiquement, en utilisant les formules *ad hoc*, soit par simulation informatique. On peut alors évaluer si cette probabilité est suffisante ou non, et modifier la stratégie d'échantillonnage en conséquence.

Mais la solution optimale est fournie par le BACIPS (*Before-After-Control-Impact Paired Series*), qui consiste à suivre les sites de contrôle ou d'impact dans le temps à la même période. Il est préconisé de disposer de plusieurs sites d'étude dans la zone de contrôle sans forcément que cela soit nécessaire dans la zone supposée impactée (Figure 2) ; on fait l'hypothèse ici que le forçage de l'impact sera dominant en regard d'autres sources de variation sur la zone d'impact. En pratique, cette conformation est difficile à tenir en raison du besoin d'établir des gradients côte-large en zone impactée et donc de disposer de nombreuses stations.

Utiliser un protocole de type BACI doit permettre d'affecter une différence observée entre deux stations à une pression particulière.

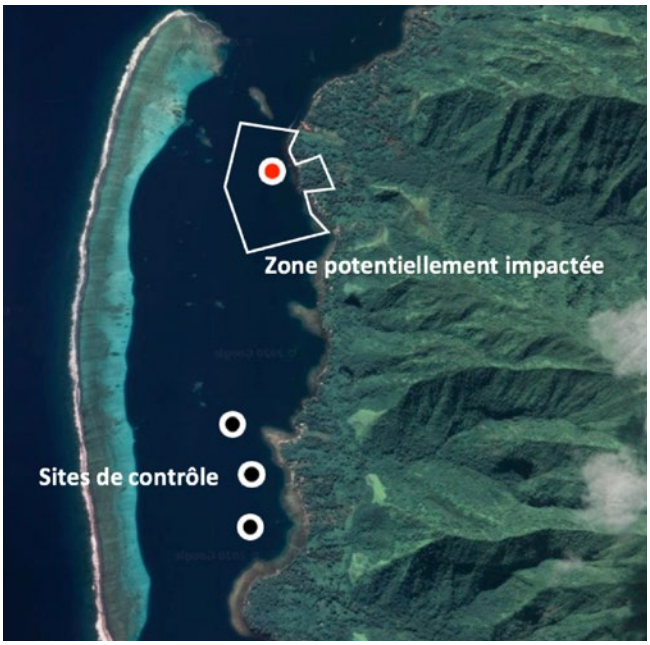


Figure 2 : Positionnement des points d'échantillonnage d'un BACIPS avec un point dans la zone subissant la pression, et trois points de contrôle dans la zone ne risquant pas d'être impactée (zone aux caractéristiques géomorphologiques et courantologiques proches de la zone d'impact, pour éviter les facteurs de confusion).

6.3 PLANS D'ÉCHANTILLONNAGE RÉELLEMENT ENVISAGEABLES

Le programme de suivi qui peut être mis en place dépend du contexte. Selon que la perturbation à étudier a eu lieu ou pas et selon l'existence de sites de contrôle, on peut donc distinguer plusieurs plans d'échantillonnage (Figure 3).

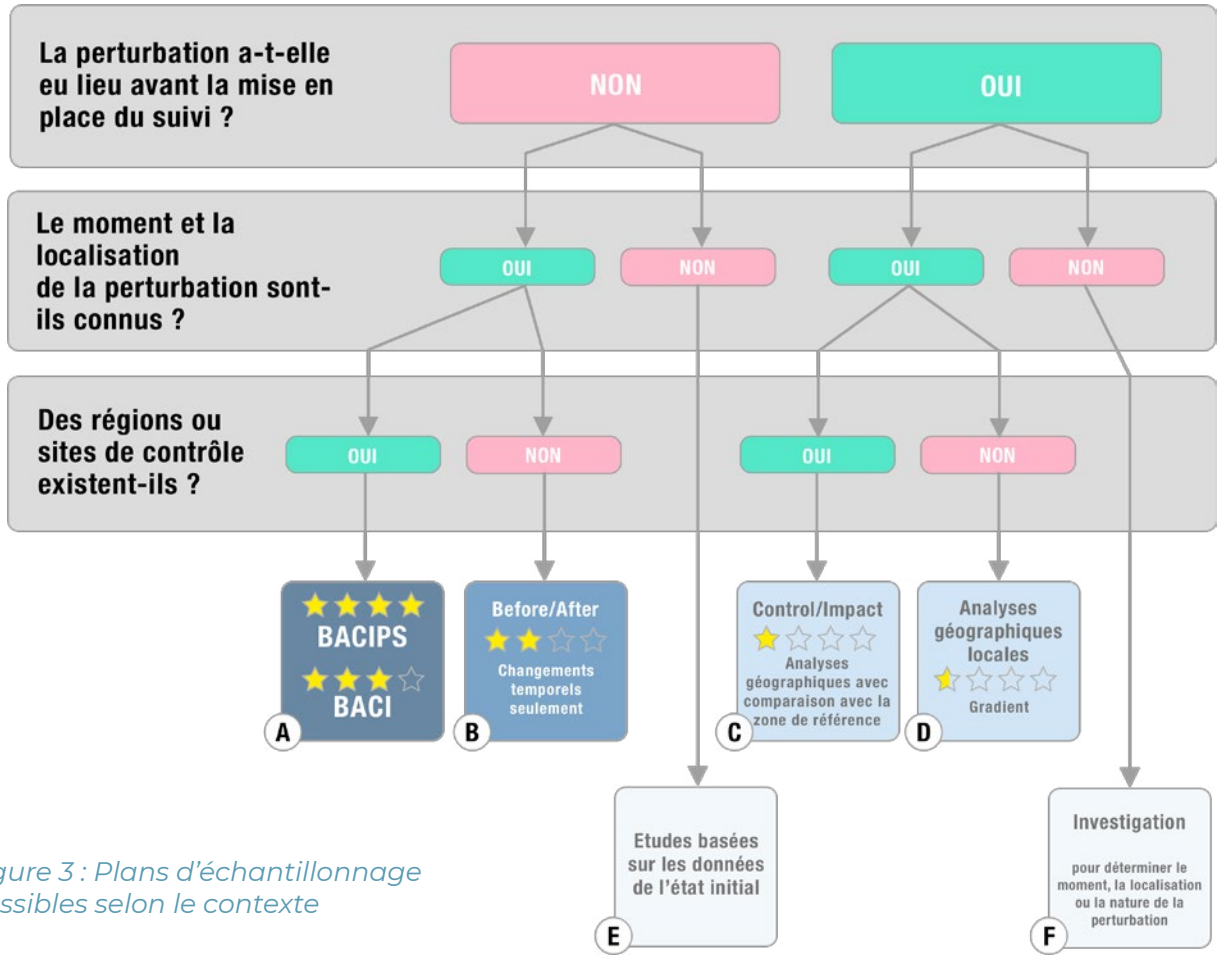


Figure 3 : Plans d'échantillonnage possibles selon le contexte

Lorsque la perturbation n'a pas encore eu lieu, il est possible de collecter des données initiales (état zéro ou état initial). Si en outre, on peut disposer de sites de contrôle, alors on peut mettre en place le modèle le plus puissant : le modèle *Before- After-Control-Impact* (BACI) (Figure 3 - cas A).

Lorsqu'il n'y a pas de site de contrôle identifié, les statistiques ne peuvent se baser que sur des changements au cours du temps avec des modèles de type analyse de tendance en s'appuyant sur des séries de données assez longues (Figure 3 - cas B). Lorsque le programme de suivi n'était pas en place au moment de la perturbation, seule une analyse géographique est possible : il s'agit alors de comparer le site impacté avec des sites de référence (s'ils existent) (Figure 3 - cas C). Enfin, lorsque l'on ne dispose pas de site de référence, les seules analyses possibles sont des analyses géographiques locales.

Lorsque le moment ou la localisation d'une perturbation sont inconnus, les études envisageables sont basées sur le suivi de l'état initial (*baseline*), ou relèvent plutôt d'une enquête pour déterminer le moment ou la nature d'une perturbation supposée (Figure 3 - cas E et F).

Pour la mise en place d'un programme zonal (voir partie 5.3), les plans d'échantillonnage de type BACIPS, BACI (Figure 3 - cas A) sont largement à privilégier. Ils peuvent être appliqués dans le cadre de l'ouverture d'un atoll à la perliculture. Mais cette situation n'est pas la plus courante. Le besoin le plus prégnant est de construire un programme de suivi alors même que les atolls à suivre sont déjà exploités, que les états initiaux sont absents et qu'il n'y a aucune zone de référence officiellement identifiée et suivie. La solution, même si loin d'être idéale, réside dans la construction *a posteriori* d'un suivi avec une configuration la plus proche possible de ce qu'aurait pu être le plan d'échantillonnage d'un BACIPS, déployé en bonne et due forme : identifier une zone de référence, planifier des campagnes de collectes homogènes (en paramètres) et synchronisées dans le temps entre la zone impactée et la zone de référence.

Pour la mise en place d'un programme de suivi individuel, les plans d'échantillonnage de type BACIPS, BACI (Figure 3 - cas A) sont également à privilégier. Dans le cas où les fermes existent déjà, on pourra aussi procéder à la construction *a posteriori* d'un suivi avec une configuration la plus proche possible de ce qu'aurait pu être le plan d'échantillonnage d'un BACIPS (voir partie 6.4).
Pour la mise en place d'un programme uniquement basé sur la nature de l'effluent, l'utilisation d'un BACIPS n'a aucune signification. Il s'agira en effet de simplement comparer les résultats avec les seuils fournis dans les arrêtés d'autorisation (lorsqu'ils existent).

Aux analyses comparatives avec zone de référence, type BACI, il est conseillé d'ajouter des analyses de gradients (ASC 2019a) afin de détecter des changements dus à des perturbations par l'activité aquacole. Selon la conformation des installations, à terre avec exutoire, ou en mer (cage), et en fonction des caractéristiques hydrodynamiques supposées connues, on placera les stations sur des transects. Des analyses de régression sont alors utilisées pour tester d'éventuelles tendances spatiales le long des transects.

Plus d'informations sur l'optimisation des protocoles d'échantillonnage ?



- Nicholson M.D., R.J. Fryer, et C.A. Ross, « *Designing monitoring programs for detecting temporal trends in contaminants in fish and shellfish* », *Marine Pollution Bulletin* 34 : 821-826.
- Underwood A, Chapman M. Power, précaution, erreur de type II et conception d'échantillonnage dans l'évaluation des impacts environnementaux. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2003; 296:49-70. doi: 10.1016/S0022-0981(03)00304-6.
- Underwood AJ. Au-delà du BACI : des conceptions d'échantillonnage qui pourraient détecter de manière fiable les perturbations environnementales. *Applications écologiques*. 1994; 4:3-15. doi: 10.2307/1942110.
- Bence, J. R., A. Stewart-Oaten, et S.C. Schroeter. 1996. Estimation de la taille d'un effet à partir d'une conception de série jumelée avant l'après-contrôle. *à* R. J. Schmitt et C. W. Osenberg, éditeurs. Détection des impacts écologiques : concepts et applications dans les habitats côtiers. Academic Press, San Diego, Californie.
- Benedetti-Cecchi L. Beyond BACI : optimisation des conceptions d'échantillonnage environnemental par la surveillance et la simulation. *Applications écologiques*. 2001; 11:783-799. doi: 10.1890/1051-0761(2001)011[0783:BBOOES]2.0.CO;2.

6.4 PRINCIPE DE POSITIONNEMENT DES STATIONS

Cette partie ne concerne pas le positionnement des stations destinées aux analyses de gradients. Elle traite des principes de positionnement des stations envisagées dans des protocoles de type BACI ou BACIPS.

Un échantillon est obtenu par prélèvement ou par observation sur la base de spécifications techniques. Un échantillon est ainsi une partie d'une population statistique, prélevé pour en extraire les caractéristiques. Pour éviter des biais d'échantillonnage, il est donc souhaitable que l'échantillon soit le plus représentatif possible de la population de laquelle il est extrait. Ainsi se pose la question des échelles spatiales et temporelles à investiguer et de l'effort d'échantillonnage à fournir pour garantir l'efficacité du suivi vis-à-vis des objectifs de gestion.

La façon la plus classique de limiter ce biais est de réaliser un échantillonnage aléatoire simple (EAS) (Figure 4-A). En réalité ce n'est pas aussi « simple » qu'il n'y paraît, dans la mesure où on doit dans ce cas identifier l'ensemble des unités d'échantillonnage présentes (possibles) dans la population et les tirer au sort. Seul ce type de plan permet d'estimer sans biais les caractéristiques de la population échantillonnée.

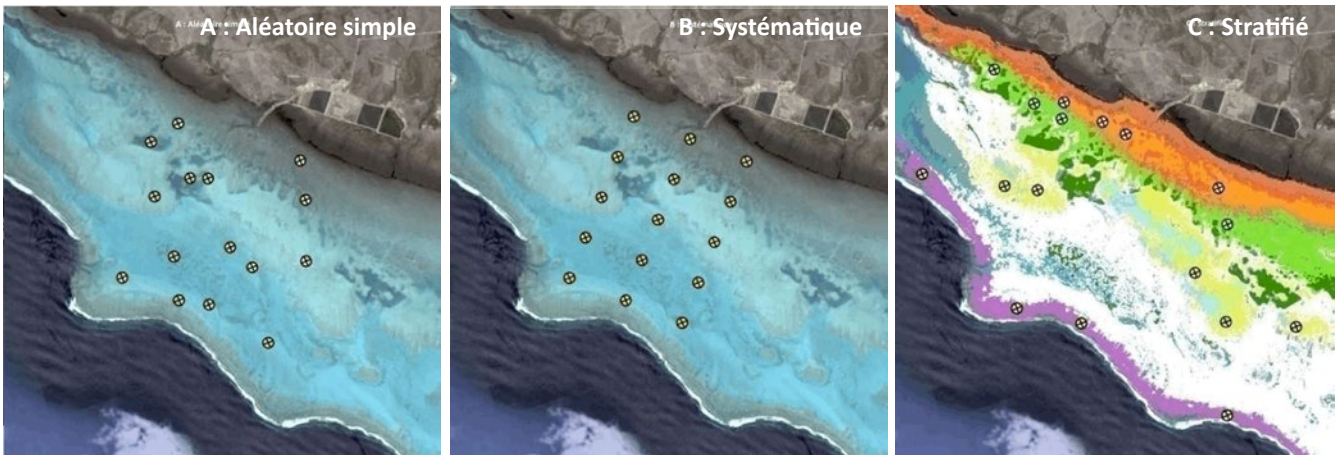


Figure 4 : Plans d'échantillonnage classiquement utilisés (Beliaeff et al. 2011).

La grille systématique (Figure 4-B) de positionnement des points d'échantillonnage est entièrement déterminée par la sélection aléatoire d'un premier point et par la géométrie prédéfinie de la grille (écart entre deux points, orientation). La grille elle-même n'est donc pas véritablement aléatoire mais souvent considérée comme telle.

Le problème essentiel posé par l'échantillonnage stratifié (Figure 4-C) consiste à bien délimiter les strates de façon à se ramener à un problème d'échantillonnage aléatoire simple dans chacune des strates. Dans ces conditions, l'échantillonnage stratifié permet d'améliorer la précision de l'estimation réalisée sur l'ensemble d'une zone (ou d'une période).

Tous les concepts précédents sont valables aussi bien pour l'échantillonnage dans l'espace que dans le temps. Ainsi un échantillonnage systématique temporel correspondra à un échantillonnage à fréquence régulière dans le temps (quotidienne, mensuelle, annuelle). On pourra noter qu'un échantillonnage aléatoire dans le temps n'est pas forcément recommandé en raison des variations saisonnières. Un échantillonnage à date fixe[16] dans l'année est préférable (Asc 2019).

Quel que soit l'échantillonnage choisi, et lorsque l'objectif est effectivement de détecter et d'évaluer l'impact de l'activité aquacole/perlicole, l'existence d'une zone de référence est fondamentale. C'est elle qui permettra de conclure sur les tendances observées.

Dans les *Standard Operating Procedures for the environmental monitoring of marine aquaculture in Nova Scotia (Canada)* (Nova Scotia 2020), il est préconisé que les stations de

16 Ou plus ou moins fixe, afin de tenir compte du cycle lunaire auquel de nombreux organismes marins sont sensibles.

références soient positionnées à une distance d'au moins 100 m des limites de concessions aquacoles et au maximum à 300 m, dans la direction des courants dominants (sens opposé). Les stations de références doivent être situées dans une zone avec des caractéristiques similaires (profondeur, type de sédiments) à celles de la zone impactée. Mais la géomorphologie classique observée en Nouvelle-Ecosse est celle de baies ou de traits de côte rectilignes, ouverts sur l'océan, configurations assez différentes de ce qu'on peut observer en Polynésie française.

Pour un programme zonal dans un atoll (par exemple), il est évident que la géomorphologie pose un certain nombre de problèmes. On peut imaginer deux cas de figure[17] :

A- choisir comme zone de référence un autre atoll - non perlicole - et le moins anthropisé possible ;
B- choisir une zone de référence à l'intérieur même de l'atoll impacté, mais à distance de la zone d'élevage de nacres, si toutefois cela est possible.

Ce choix est loin d'être anodin pour plusieurs raisons :

- tous les atolls sont très différents les uns des autres ; leurs hydromorphologies diffèrent, avec des lagons ouverts, semi-ouverts ou même fermés (un peu comme des lacs) ; et avec des caractéristiques variées : fonds homogènes sans pinacle, fonds avec pinacle, récifs réticulés, profonds ou peu profonds, *etc.* ;
- les atolls se situent dans une vaste zone étalée en longitude et en latitude de telle sorte que de vraies différences climatiques ou météorologiques peuvent exister entre l'atoll impacté et l'atoll de référence ;
- certains atolls sont occupés à plus de 70 % par des installations perlicoles, rendant très périlleux le positionnement éventuel d'une zone de référence à l'intérieur même de l'atoll impacté.

Ainsi le contexte oriente les choix dans la détermination de la zone de référence.

Mais on sent bien par ailleurs que le choix de la zone de référence peut dépendre du paramètre suivi. Dans le cadre d'un programme de suivi zonal perlicole :

- pour un paramètre du type « Concentration en plastique dans la colonne d'eau », une zone de référence extérieure située dans un atoll non perlicole sera particulièrement pertinente ;
- en revanche, pour un paramètre du type « Diversité des poissons », la question est plus délicate et doit tenir compte du contexte : de l'intensité de l'activité (du recouvrement spatial des concessions équipées d'installations), de l'hydro-géomorphologie de l'atoll et des éventuelles connaissances acquises sur les populations de poissons ; on pourra placer la zone de référence à l'intérieur de l'atoll si elle est suffisamment éloignée pour être considérée comme indépendante de la zone en activité perlicole ; au contraire, si l'activité perlicole s'étale sur 80 % de l'atoll, on pourra de façon légitime douter de la pertinence d'une zone de référence à l'intérieur même de l'atoll impacté.

Pour un suivi zonal aquacole, les mêmes questions peuvent se poser. Mais les exploitations aquacoles actuellement en activité en Polynésie française ne se situent pas dans les atolls (excepté le collectage des bénitiers) et sont de petites dimensions. Dans ces conditions, il paraît plutôt opérationnel de déterminer une zone de référence non loin de la concession ou de l'émissaire de rejet et qu'on pourra considérer comme « hors impact ». La connaissance de la courantologie et de la bathymétrie pourra largement aider à cette détermination. L'idéal est de déterminer comme zone de référence la zone la plus proche possible du site impacté (pour bénéficier des mêmes conditions) mais qui pourra être considérée comme non impactée[18]. Il est possible de déterminer une zone de référence de plusieurs façons :

- lorsque l'activité existe, en réalisant des échantillonnages le long de transects dont la longueur et la direction dépendent des conditions de vitesse et direction des courants ; et en déterminant la distance à partir de laquelle le signal devient indétectable (cette distance peut varier selon le paramètre ; pour des raisons pratiques, on privilégiera la plus petite distance commune) ;
- que l'activité existe ou non, en utilisant la modélisation (voir encadré ci-après) ;
- ou enfin, et c'est souvent suffisant, à dire d'expert.

17 Les deux cas de figure peuvent coexister.
18 Cette organisation est utilisée pour le suivi d'une ferme piscicole sur la côte Est de la Nouvelle-Calédonie (Soproner 2018).

La modélisation des rejets

Quantifier les rejets d'une ferme aquacole (cages en mer) et suivre leur trajectoire permet de caractériser l'impact de la ferme dans son environnement et d'aider à positionner la zone de référence essentielle à la réalisation du suivi individuel des impacts aquacoles. Il est en effet possible de modéliser la dispersion de ces rejets afin d'estimer l'emprise géographique de l'exploitation sur les fonds marins.

Cette modélisation peut être effectuée grâce à un logiciel de modélisation tel que DEPOMOD (Cromey, Nickell, and Black 2002). Les particules rejetées par l'exploitation (nourriture et fèces, (1) sur la Figure 5) se déplacent de façon verticale dans la colonne d'eau en fonction de leur vitesse de chute (2) et de façon horizontale en fonction des courants des masses d'eau dans la zone (3). La trajectoire exacte des particules est calculée par le modèle grâce à des équations physiques connues. Les particules finissent leur course une fois qu'elles sont posées au fond, sur le sédiment (4). À la fin de la simulation, le modèle est donc en mesure de fournir l'endroit exact où chaque particule s'est déposée. Ces résultats sont présentés sur des cartes qui permettent de visualiser l'empreinte géographique de la ferme (5). L'échelle de couleurs donne la quantité de particules déposées à chaque endroit (6).
Une modélisation de ce genre nécessite de bien étudier la ferme en amont, notamment connaître précisément la quantité et qualité de nourriture apportée dans l'exploitation, le gaspillage alimentaire (nourriture non ingérée) et la façon dont les animaux digèrent cette nourriture afin de connaître la quantité de fèces produits. Il est également nécessaire d'avoir des données fiables et précises concernant la bathymétrie et la courantologie de la zone autour de l'exploitation.

Ce genre d'étude doit permettre aux exploitants d'estimer l'impact de leur élevage et améliorer la gestion de leur ferme. En effet, des simulations fictives dans lesquelles la biomasse d'animaux exploités, la quantité de nourriture apportée, ou encore la configuration de l'exploitation (par exemple position des cages les unes par rapport aux autres) sont modifiées peuvent être effectuées afin de déterminer les valeurs des paramètres qui permettront à la ferme d'avoir un rendement optimal tout en minimisant l'impact sur l'environnement.

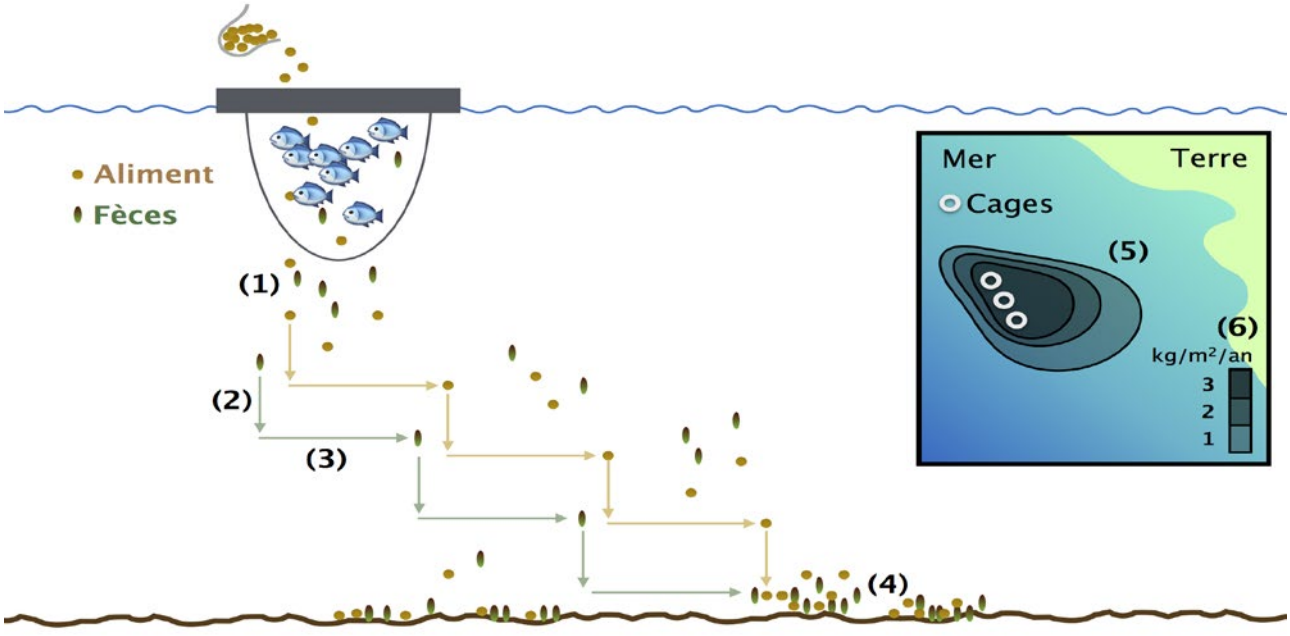


Figure 5 : Rejets solides de fermes aquacoles (en cage) et modélisation

6.5 QUELQUES PRÉCAUTIONS D'USAGE

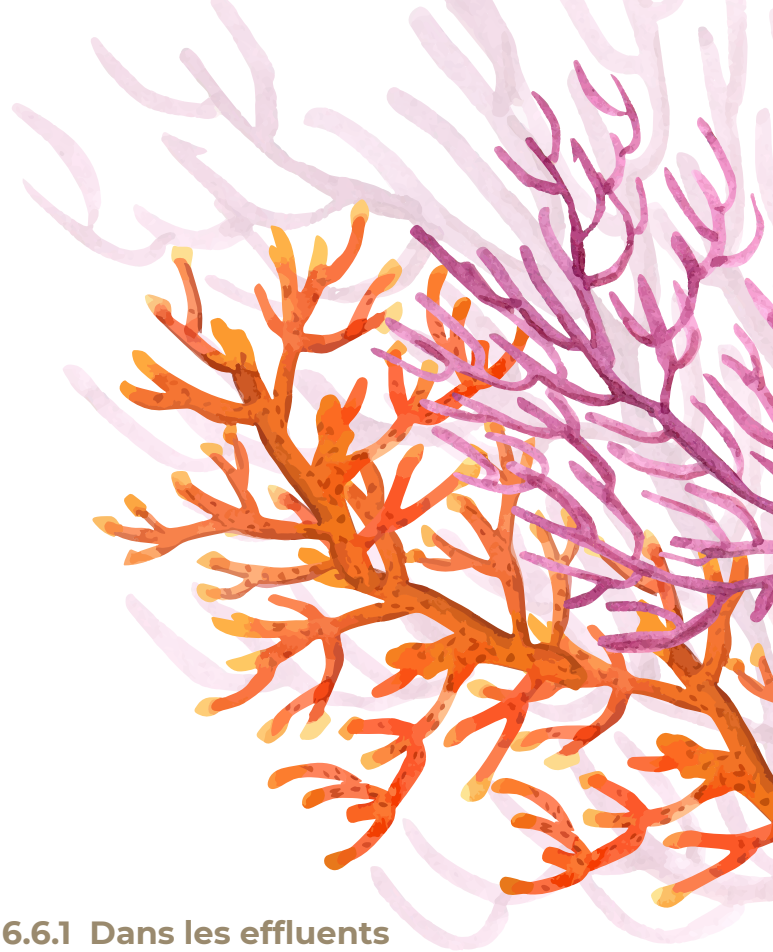
Afin de détecter au mieux les perturbations que subit le milieu, la taille des zones échantillonnées, les relations entre les différentes zones, la répartition spatiale des zones échantillonnées et la fréquence des observations sont des éléments capitaux. Pour les suivis de type BACI par exemple, les sites échantillonnés doivent être considérés comme indépendants. Lorsque les sites de contrôle sont trop proches des sites potentiellement impactés, il peut y avoir des influences croisées entre les sites. Lorsqu'il n'est pas certain que les sites soient indépendants, il conviendra d'appliquer des méthodes statistiques prenant en compte les intercorrélations, ce qui complique singulièrement l'analyse des résultats. Dans le cadre d'un suivi zonal perlicole, ce sera typiquement le cas si la zone de référence la plus pertinente trouvée est choisie à l'intérieur même de l'atoll étudié.

Les informations sur la circulation des masses d'eau sont essentielles pour établir un plan d'échantillonnage efficace. Le recours à la modélisation hydrodynamique, quand l'outil est disponible, est vivement conseillé. Disposer de cet outil permet d'optimiser le plan d'échantillonnage et donc de réduire les coûts du suivi pérenne.

Il convient également de bien définir l'échelle d'observation spatiale (large ou précise) afin de détecter correctement les effets d'une perturbation et d'optimiser les coûts. L'ajustement des aspects temporels (date et heure des échantillonnages) est tout aussi important pour ne pas faire de confusion entre des variations naturelles (dues à la saison ou au cycle lunaire par exemple) et des changements dus à une perturbation anthropique.

6.6 CHOIX DES MÉTRIQUES, CHOIX DES VALEURS DE DÉCLENCHEMENT

La connaissance *a priori* de valeurs de déclenchement représente pour les autorités compétentes (en matière d'environnement et de gestion des ressources marines) un avantage évident car elles peuvent les faire figurer dans un arrêté d'autorisation et y associer des mesures de gestion. Pour autant, la définition de ces valeurs de déclenchement n'est pas toujours triviale puisqu'elle peut dépendre du site d'implantation du projet et des évolutions observées en zone de référence.



6.6.1 Dans les effluents

Pour les valeurs de déclenchement associées aux effluents, on pourra utiliser (par défaut) les standards internationaux, en veillant à ce que les valeurs proposées soient compatibles avec des milieux oligotrophes. Bien entendu, en fonction du niveau d'énergie[19] dans la zone d'influence (force et direction des courants, profondeur, nature des fonds), les valeurs pourront être adaptées à la hausse ou à la baisse.

Il est important de noter que l'impact négatif des eaux de rejet sur le milieu récepteur dépend aussi de la qualité du milieu récepteur. C'est ainsi que Ziemann *et al.* (1992) souligne qu'à Hawaï, où l'eau est de qualité océanique et donc très pauvre en nutriments (oligotrophie), un effluent même avec des concentrations très modérées en nutriments provoquera un enrichissement significatif du milieu (H. Lemonnier et al. 2006). La Polynésie française, elle-aussi, est concernée par cette oligotrophie.

Une valeur de déclenchement est en théorie associée à une métrique, elle-même conditionnant les caractéristiques de l'échantillonnage réalisé. Selon les débits (de l'effluent) et les paramètres, des fréquences d'échantillonnage plus ou moins resserrées dans le temps peuvent être demandées. À titre d'exemple, pour le gigantesque projet minier du sud calédonien (Vale

19 Donc du renouvellement des masses d'eau.

Nouvelle-Calédonie), les analyses de l'effluent rejeté en mer sont réalisées plusieurs fois par jour. Il est évident que cette fréquence est incompatible avec des petits projets aquacoles en Polynésie française et pas du tout pertinente compte tenu de la nature de l'effluent. Les *Best Aquaculture Practices* éditées par la *Global Aquaculture Alliance* préconisent pour le suivi de l'effluent des écloseries et nurseries situées à terre (poissons, crustacés et mollusques) un échantillonnage mensuel ou trimestriel selon les paramètres (Global Aquaculture 2014).

Il est par ailleurs utile de s'interroger sur la métrique utilisée. Certaines métriques favorisent la protection de l'environnement, d'autres moins ; par exemple :

- si une ferme possède deux émissaires de rejet, on pourra considérer chaque émissaire indépendamment plutôt que de réaliser une moyenne des résultats aux deux émissaires ;
- pour un paramètre collecté 4 fois par an, on pourra considérer chaque mesure indépendamment des 3 autres plutôt que faire la moyenne des 4 mesures ; on pourra aussi faire le choix de ne considérer que la plus mauvaise des mesures, puisque celle-ci sera véritablement symptomatique de l'intensité de l'impact environnemental ;
- de la même façon, pour un paramètre collecté 12 fois par an, pour générer une valeur annuelle du paramètre on pourra considérer la valeur maximum[20] plutôt que la moyenne.

Des valeurs de déclenchement préconisées sont données dans la partie 8.

6.6.2 Dans la zone d'influence

Concernant les résultats obtenus dans la zone d'influence, les *Water Quality Guidelines* (Anzecc and Armcanz 2000) proposent la méthode suivante pour la définition de valeurs seuils : pour les indicateurs physiques et chimiques par exemple, le suivi peut se faire en comparant le site testé avec le site de référence (ou bien avec les valeurs seuils par défaut issues de la littérature). La métrique peut par exemple être la médiane des valeurs pour le site testé.

Dans le cas A (voir figure ci-contre), la médiane est comparée avec le percentile 80 calculé mensuellement à partir des données historiques (récoltées sur le site de référence) et sur une durée la plus longue possible[21].

Dans le cas B, la comparaison de la médiane se fait avec une valeur fixe.

On peut constater dans les exemples A et B que les campagnes des mois n°2 et n°3 entrainant une action de gestion (flèches rouges) ou n'en entrainant pas (flèches vertes) ne sont pas les mêmes et donc que le choix de la référence n'est pas anodin (percentile 80 mensuel ou valeur fixe). Dans d'autres cas (pour les substances toxiques par exemple), c'est le percentile 95 (calculé à partir des valeurs mesurées sur le site testé à un moment donné) qui est comparé au percentile 80 calculé sur le site de référence à partir des données d'archives (sur 2 ans) ou bien directement à une valeur seuil par défaut.

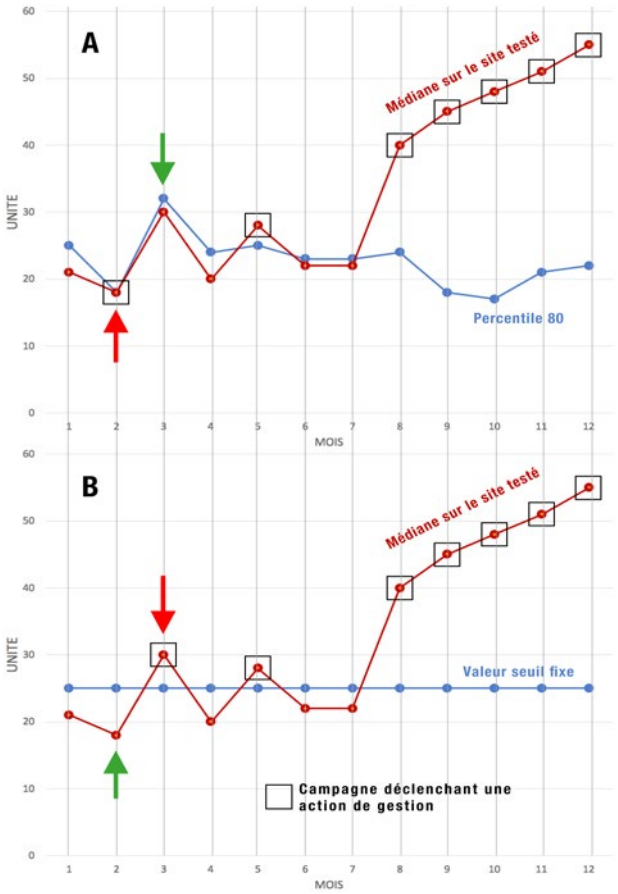


Figure 6 : Évolution de la médiane et comparaison avec les percentiles 80 (cas A) ou avec une valeur fixe (cas B) ; les campagnes déclenchant une action de gestion diffèrent.

20 Si elle n'est pas aberrante ; utiliser le 3ème quartile est également une option.
21 Un minimum de 24 mois de données historiques sur le site de référence est préconisé de façon à pouvoir estimer les différentes composantes de la variabilité temporelle, donc saisonnière.

6.6.3 Évolution des valeurs de déclenchement

On peut considérer qu'ajuster les *valeurs de déclenchement* associées à un projet tout au long de sa vie est nécessaire pour plusieurs raisons :

- un projet peut évoluer au cours de son existence : en taille, en activité, en technicité ;
- dans une optique vertueuse, on peut également envisager de constamment tenter d'améliorer la qualité des rejets ;
- les connaissances scientifiques peuvent progresser et nécessiter un ajustement ;
- la réglementation globale peut évoluer.

On peut noter enfin que fixer des *valeurs de déclenchement* (dans les effluents) valables globalement sur tout un territoire n'encourage pas toujours les pratiques vertueuses : par exemple, lorsqu'un exploitant parvient facilement, pour un paramètre donné, à maintenir la qualité de son effluent en-dessous de la *valeur seuil* considérée alors même que la qualité pourrait être encore améliorée (par des bonnes pratiques dans cette exploitation par exemple).

6.6.4 Valeur typique : quelques séries de données utiles

Les réseaux de suivi listés ci-dessous représentent des sources intéressantes pour identifier des valeurs typiques qui pourront aider à situer les résultats obtenus sur tel ou tel suivi :

- Réseau Polynesia Mana
- Réseau de surveillance des pentes externes
- Reef Check
- Surveillance de la radiale de Tiahura (Moorea)
- Le LTER (*Long Term Ecological Research*)
- Le suivi des AMP du PGEM de Moorea
- Le suivi de la baie de Port Phaëton
- Le Port Autonome (1986 – 1999)
- Le RST (ex RTO : Réseau Territorial d'Observation)
- Le réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie française
- Le suivi des émissaires

Ainsi que :

- Les données issues des relevés récents effectués par la DRM : RESOLAG
- Les données du programme TYPATOLL (1995)

En Australie et en Nouvelle-Zélande, il n'existe pas de suivi générique pour les fermes aquacoles. Ils sont conçus sur mesure, au cas par cas.

Faire figurer dans les arrêtés d'autorisation la possibilité d'évolution des valeurs de déclenchement est donc conseillé.



VII - RAPPEL DES MENACES ET PRESSIONS ENVIRONNEMENTALES MARINES ASSOCIÉES AUX ACTIVITÉS AQUACOLES/PERLICOLES

Le lecteur trouvera dans cette partie une description des activités concernées par ce guide, sous l'angle des pressions et menaces sur le milieu marin, et telles qu'elles existent actuellement en Polynésie française.
Les activités décrites sont les suivantes :

- la pisciculture (élevages de poissons en cages) ;
- la crevetticulture (en bassin de terre ou en cages) ;
- la production de post-larves et d'alevins (écloseries) ;
- la perliculture (collectage de naissains, élevage de nacres sur filière, greffe, élevage des huîtres perlières) ;
- l'aquaculture de bénitier (collectage de naissains et élevage).

7.1 CARACTÉRISTIQUES ZOOTECHNIQUES NOTABLES

Au-delà des caractéristiques liées à la géomorphologie de la zone d'influence de l'exploitation (profondeur, courantologie, localisation en île haute ou atoll, proximité avec des formations biologiques fragiles), les activités aquacoles/perlicoles ont des caractéristiques notables : aquaculture nourrie *versus* aquaculture extractive ; localisation (à terre ou en mer) ; utilisation de substances dangereuses ; niveau de l'activité ; intensité de l'activité ; nature, dimensions et nombre des installations ; ainsi que quelques autres pratiques zootechniques potentiellement impactantes sur l'environnement marin.

7.1.1 Apport en aliments : aquaculture nourrie / aquaculture extractive

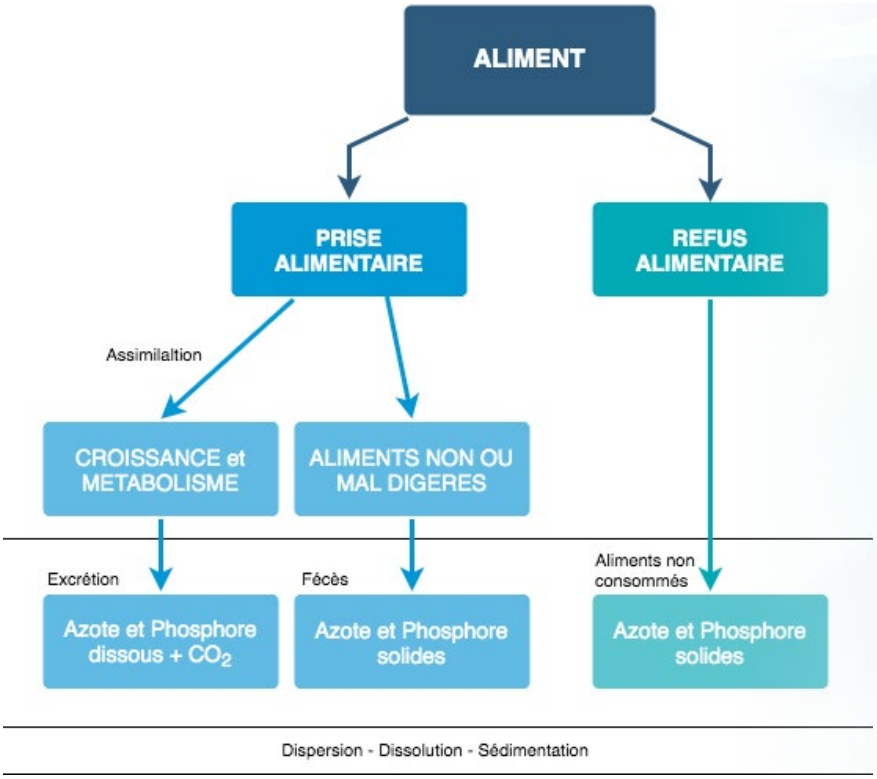
Les différentes activités aquacoles/perlicoles se distinguent clairement par l'apport d'aliments. Selon l'espèce élevée, la technique employée et le stade de développement, l'apport d'aliments varie (Tableau 7).

Activités	Apport d'aliments	Nature de l'aliment apporté	Utilisation d'aliment du milieu naturel
Perliculture, conchyliculture	non	-	plancton
Elevage de bénitiers	non	-	plancton (peu ou pas)
Pisciculture en cage	oui	aliments en granulés	-
Crevetticulture en cage	partiel	aliments en granulés	plancton et benthos
Crevetticulture en bassin	oui	aliments en granulés	plancton et benthos
Ecloserie, nurserie (poissons, crevettes)	oui	micro-algues, artemias	-

Tableau 7 : Apport d'aliments selon l'élevage aquacole.

En perliculture/conchyliculture, les animaux élevés prélèvent leur nourriture (phytoplancton) directement dans la colonne d'eau, par filtration. Il n'y a aucun apport d'aliment par l'exploitant. L'activité est dite « extractive ».
En revanche, pour la plupart des autres activités aquacoles listées, des apports d'aliments sont nécessaires. Elles sont dites « nourries ».
Le devenir des aliments distribués est résumé sur la Figure 7.
Pour les activités nourries, un des enjeux environnementaux majeurs est évidemment la distribution la plus efficiente possible d'aliments afin de limiter les perturbations du milieu naturel par l'enrichissement en azote, en phosphore et en matière organique provenant de la dispersion/dissolution/sédimentation des granulés (et des fèces).

On peut noter par ailleurs que l'aliment, selon sa provenance, reste potentiellement une source de contamination en substances dangereuses (pesticides, antibiotiques) et en métaux (zinc par exemple).



L'obligation de fourniture (par l'exploitant) des informations sur la provenance des aliments (nom du fournisseur, gamme, etc.) et des quantités utilisées permet aux autorités compétentes de s'assurer de la conformité des aliments distribués avec les exigences réglementaires ou les bonnes pratiques.

Figure 7 : Devenir des aliments en aquaculture, avec un focus sur l'azote et le phosphore (d'après Laguerre 2013).

7.1.2 Localisation : à terre ou en mer

Les différentes activités aquacoles/perlicoles pratiquées se distinguent par leur occupation de l'espace marin ou terrestre. Cette organisation est extrêmement structurante sur les pressions et menaces exercées sur le milieu marin.

7.1.2.1 Zone d'influence

Pour les installations situées en mer, les interactions avec le milieu marin sont théoriquement assez diffuses, notamment en raison de la profondeur des sites choisis (souvent plus de 15 m de profondeur) qui laisse la possibilité aux différents rejets (dissous ou particulaires) de se disperser sur des distances plus grandes (Figure 5). La Figure 8 montre un exemple fictif de dispersion des rejets selon le positionnement des installations, avec en mer et en zone profonde, des cages (élevage de crevettes, poissons) ; et le long de la côte, un rejet d'une ferme crevetticole en bassin de terre ou une écloserie. Quelques nuances sont apportées dans la partie 7.3. La dispersion des rejets dépend bien entendu de nombreux facteurs : courantologie, marée, nature des rejets, météo, *etc*[22]. La taille de la zone d'influence est fortement site-dépendante (Canada 2003).

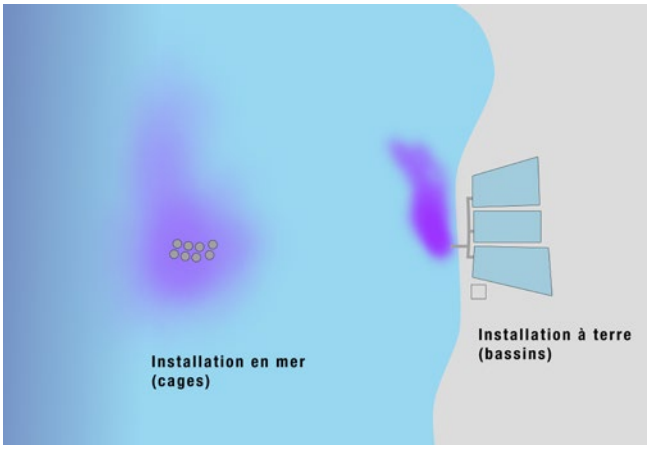


Figure 8 : Exemples (fictifs) de zones d'influence selon la localisation et le type des installations (croquis : G. Bouvet).

22 Holmer (1991) a collecté de la matière, directement attribuable à une source aquacole (poisson), à une distance de 1,2 km de la ferme (Danemark).

Les rejets d'installations situées à terre se font en des points très localisés (émissaires de rejets). Les rejets se font habituellement dans la mangrove (ferme crevetticole d'Opunohu - Moorea), en rivière[23] (ferme crevetticole d'Aquapac), ou en mer sans prolongement de l'émissaire par un tuyau immergé (écloserie de VAIA) (Figure 9).

Avec – à terre – des bassins de décantation, filtres, et autre système de bio-remédiation, la qualité des rejets est potentiellement assez contrôlable et améliorable et les zones d'influence largement réduites.

7.1.2.2 L'usage de bassins d'élevage

Utilisés pour les élevages de crevette ou en écloserie, les bassins d'élevage sont constitués de larges étendues de terre, ceinturées par des digues en terre elles-aussi. Le ruissellement de l'eau de pluie sur les digues et de l'eau de mer sur les fonds de bassins lors des vidanges, et les vagues créées par le vent et frappant les digues de bassins entraînent des apports particulaires organiques et inorganiques dans le milieu marin. Les bassins étant par ailleurs des zones à faible renouvellement d'eau, ils ont la capacité de retenir une grande quantité des rejets particulaires produits. Mais ils doivent être régulièrement vidés puis nettoyés des boues accumulées, hersés avant d'être asséchés pour en assainir le fond. Boyd (2000) a mis en évidence que 35 % des effluents rejetés par un bassin (sur la base des deux variables : DBO5[24] et TSS[25], communément utilisées pour la surveillance de la pollution) le sont au cours de la vidange finale de ce dernier (H. Lemonnier et al. 2006).

Pratiquer un « *flush* » des bassins (c'est-à-dire une évacuation rapide de l'eau, emmenant avec elle une partie des dépôts) est assez tentant pour nettoyer rapidement les bassins ou en renouveler l'eau lorsque l'élevage se développe mal. Mais c'est évidemment une pratique dangereuse pour l'environnement, puisqu'elle implique un risque d'apports dissous et particulaires – rapides et intenses dans le milieu naturel. Cette pratique est à éviter (Della Patrona, Brun, and Herbland 2007).



Figure 9 : Rejets de l'écloserie de VAIA (photo : G. Bouvet).



Figure 10 : Installations crevetticoles ; sur la gauche, bassin vidangé ; sur la droite bassin en eau ; ferme crevetticole d'Opunohu (Moorea) (photo : G. Bouvet).

23 Même si cela est réglementairement interdit.
24 Demande Biologique en Oxygène à 5 jours.
25 Total Suspended Sediment.



Figure 11 : Marina sur l'atoll d'Ahe (photo : G. Bouvet).

Lors de la procédure de mise en assec des bassins (c'est-à-dire vidés en attendant le prochain cycle d'élevage), les boues en sont retirées (les boues sont stockées pour séchage, et en général exportées). Les bassins sont hersés pour améliorer l'oxygénation du sol réduit suite à l'accumulation de dépôts organiques et de la chaux (CaO) peut être épandue sur leur fond afin de faire remonter le pH et rétablir l'activité microbienne. Telle qu'utilisée, cette substance améliore donc la qualité des eaux de rejets.

7.1.2.3 L'usage de structures immergées ou flottantes

Toutes les activités aquacoles/perlicoles impliquent la mise en place de structures immergées ou flottantes :

- en perliculture : les lignes (de collectage, d'élevage de nacres et d'huîtres perlières), les corps-morts, les « piliers » (c'est-à-dire les cordages verticaux), les lignes de tension, les bouées ; mais aussi : les constructions de type fare greffe (Figure 12), pontons, remblais, marinas (Figure 11) ;
- en aquaculture en mer : les cages, les cordages de fixation, les corps-morts, , les radeaux, les bouées, les tables, les pontons (Figure 14) ;
- en aquaculture terrestre : les tuyaux de prise d'eau de mer ou de rejet d'effluent, et leur système de fixation sur le substrat, les pontons (Figure 15).

Toutes ces structures ont un effet perturbateur sur la courantologie et peuvent entrainer des modifications des paysages sédimentaires.



Figure 12 : Fare greffe et de stockage de matériel sur pilotis (Ahe) (photo : G. Bouvet).



Figure 13 : Collecteurs avec nacres (photo : V. Liao).



Figure 14 : Cage flottante de l'élevage de Platax de la ferme TFA (photo : G. Bouvet).



Figure 15 : Tuyaux de prise d'eau de mer de l'écloserie de VAIA (photo : G. Bouvet) et ponton à bateau.

La présence de supports nus disponibles pour les algues benthiques formant un duvet algal (*turf*) entraîne un risque d'apparition de la *ciguatera* (ce risque n'est pas traité dans le présent guide).

Les structures et la présence d'animaux élevés, peuvent par ailleurs avoir un effet concentrateur sur les poissons sauvages en devenant des supports artificiels pour tout un écosystème (effet DCP[26]), provoquant potentiellement une modification des populations de poissons. Souvent décrit comme positif (pour la pêche), cet effet concentrateur n'en est pas moins une modification du milieu marin naturel et peut aussi faciliter les contaminations entre les animaux d'élevage et les populations de poissons sauvages (qui participent par ailleurs à la consommation des éventuels aliments non consommés par les animaux d'élevage).

7.1.2.4 La production de macro-déchets

L'activité aquacole/perlicole est par ailleurs potentiellement génératrice de macro-déchets :

- en plastique : bouées, cordages, tuyaux, colliers de serrage, collecteurs, grillages, filets, *liners*, fils de nylon, paniers, kangaroos[27], sacs d'aliments, sacs de conditionnement, *etc.*
- métalliques : fûts des corps-morts, poteaux en acier galvanisé[28] (Figure 18), *etc.*
- autres : bloc de ciment, *etc.*

Les activités impliquant des installations en mer génèrent logiquement plus de déchets (plastiques) en raison des casses ou pertes d'éléments constituant les installations (Figure 16 et Figure 17). La pollution par les plastiques représente un problème majeur, notamment par l'accumulation de micro et nanoplastique dans la chaîne alimentaire et par la libération de phtalates dans le milieu.

26 Dispositif de Concentration de Poissons.
27 Filet utiliser pour réceptionner les nacres venant d'être greffées.
28 L'utilisation d'acier galvanisé en aquaculture/perliculture est désormais interdite mais certaines structures sont toujours immergées.



Figure 16 : Poteau en PVC et corps-morts constitué d'un fût métallique rempli de ciment (Ahe) (photo : G. Bouvet).



Figure 17 : Paysage sous-marin dans un lagon perlicole (photo : V. Liao).



Figure 18 : Structure en acier galvanisé (aujourd'hui interdit) dans un lagon perlicole (photo : V. Liao).

7.1.2.5 L'usage d'embarcation motorisée

Pour l'aquaculture en mer, l'utilisation d'embarcation motorisée implique : un risque de collision avec la faune marine (tortues, mammifères) ; la production d'une pollution sonore dont on sait aujourd'hui qu'elle a un impact négatif sur les animaux marins : poissons, invertébrés[29] et même zooplancton (Bruitparif 2020) ; un risque de pollution aux hydrocarbures (voir partie 7.1.3) ; la construction d'aménagement destinés aux embarcations (marinas, pontons) (Figure 11) (voir partie 7.1.2.3).

7.1.3 Utilisation de substances dangereuses pour l'environnement

Au-delà des effets classiques des rejets par eutrophisation, les rejets de substances toxiques constituent une menace pour le milieu marin. En aquaculture/perliculture en Polynésie française, les substances toxiques sont assez peu utilisées. Dans les opérations de lavage/désinfection des installations et dans les protocoles zootechniques, on notera malgré tout l'utilisation des substances suivantes :

- l'eau de javel[30] : régulièrement utilisée dans les écloseries et pour l'élevage des crevettes en bassin ; elle sert à nettoyer les installations et équipements ; comme le rappelle l'étiquette (Figure 19), ce produit n'est pas anodin ;
- l'oxytetracycline[31], la trifluraline[32], le formol, les antibiotiques, le chlore, en écloserie (voir partie 7.3.3) ;
- les antibiotiques à la surface des nucléus ;
- les plastiques (responsables entre autres d'une pollution chimique aux phtalates ; comm. pers. Gilles Le Moullac).



Figure 19 : étiquette d'un bidon d'eau de javel.

Les substances prioritaires selon la DCE sont rappelées en Annexe 1. L'Annexe 2 rappelle la liste des substances toxiques traditionnellement utilisée en aquaculture.

Connaître les substances dangereuses utilisées dans les process zootechniques permet une économie substantielle pour le déploiement des suivis, notamment le Contrôle des Rejets lorsque les autorités compétentes ont choisi d'y faire figurer la détection de ces substances. Obliger l'exploitant à une déclaration officielle (et maintenue à jour) des substances dangereuses utilisées sur l'exploitation revêt donc un aspect pratique (et économique) non négligeable.

La DRM s'intéresse au sujet de la pollution par le plastique depuis 2017. La situation est en effet préoccupante puisque le plastique est couramment et abondamment utilisé depuis plusieurs dizaines d'années notamment en perliculture. On trouve du plastique entre autres dans le matériel suivant (AFD 2018) :

- cordes de gros diamètre : copolymère de polypropylène et polyéthylène ;
- filets/lignes de collectage : mélange de polypropylène et polyamide ;
- bouées : Acrylonitrile Butadiène Styrène ;
- filets rigides : Polypropylène.

Les plastiques sont présents dans le milieu sous forme solide :

- macro-déchets ;
- microplastiques (5 mm à 335 µm) ;
- nanoplastiques (< à 335 µm).

Mais on trouve également, à l'état dissous, des produits provenant des plastiques, notamment des phtalates. Certains d'entre eux sont des perturbateurs endocriniens et sont toxiques pour l'appareil reproducteur mâle chez le rongeur. Plusieurs phtalates ont été classés dans la catégorie des substances présumées toxiques pour la reproduction humaine (CMR catégorie 1B) par

29 À noter qu'il a été démontré que le bruit a un impact négatif sur la croissance de l'Huître du Pacifique Magallana gigas (Charifi et al. 2018).
30 Solution aqueuse d'hypochlorite et de chlorure de sodium ; elle pourrait être neutralisée par bullage ou avec du Thiosulfate de sodium (comm. pers. Georges Remoissenet).
31 À l'écloserie de VAIA, le gérant aimerait remplacer l'oxytetracycline par des probiotiques (comm. pers. B. Le Maréchal) ; ce projet est en phase de recherche et développement au niveau de la DRM et de l'Ifremer.
32 Il est utilisé en très petite quantité : Benoit Lemaréchal (Ecloserie de VAIA) en a utilisé 1 L en 10 ans (comm. pers. B. Le Maréchal) ; son utilisation a été stoppée en janvier 2021.

l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA). Des mesures ont été prises au niveau français et européen qui limitent, voire interdisent, l'utilisation de certains phtalates préoccupants dans les cosmétiques, les jouets et articles pouvant être portés à la bouche par des enfants, les dispositifs médicaux et les matériaux de contact alimentaire (Saillenfait 2015). Même si le matériel utilisé sur les fermes perlicoles n'est pas concerné par cette réglementation, il n'en est pas moins vrai que des phtalates sont présents dans les eaux de Polynésie française (comm. pers. Gilles Le Moullac).

7.1.4 Dimension des installations, étendue spatiale

Lorsque l'on raisonne en termes d'impact sur une zone, l'étendue spatiale des installations (et leur densité) doit être un critère de vigilance pour les autorités compétentes. La plupart des pressions environnementales exercées par l'activité aquacole/perlicole sont en effet proportionnelles à la taille des exploitations ou à leur nombre.

Il est assez trivial d'imaginer qu'une exploitation piscicole constituée de 60 cages exerce une pression bien plus intense sur le milieu marin qu'une exploitation constituée de 6 cages. Pour autant, l'accumulation spatiale de petites exploitations (qui chacune pourrait être considérée comme « insignifiante » en termes de conséquences sur l'environnement marin) doit alerter les autorités compétentes car les effets cumulés peuvent être tout aussi puissants que ceux d'une grande et unique ferme (Fao 2009).

L'Annexe 2 de l'arrêté n°1259 du 31 juillet 2017 fait d'ailleurs état de plafonds écologiques pour la perliculture (voir partie 4). Vouées à se développer, les autres activités aquacoles pourraient également être concernées par ces limitations, par exemple dans le cadre de zonages tels qu'envisagés par la DRM et initiés dans le cadre du programme INTEGRE (Xe FED).

7.1.5 Intensité de l'activité

La densité des animaux élevés, en bassin de terre, en cuve ou en mer, représente également un point de vigilance pour les autorités compétentes. Quand la densité des animaux augmente, certains risques environnementaux augmentent eux-aussi : eutrophisation, modification des populations phyto- et zoo-planctoniques par exemple, sans oublier les risques sanitaires afférents.

7.1.6 Pratiques diverses

Les pratiques, notamment zootechniques, sont extrêmement structurantes sur les pressions et menaces associées à une activité aquacole/perlicole et dépendent en partie de l'exploitant.



Les autorités compétentes devront donc être vigilantes dans l'analyse du forçage en identifiant d'éventuelles pratiques qui pourraient être à l'origine de perturbations du milieu marin.

En voici quelques exemples :

- en perliculture, le nettoyage des *kangaroos*, grillages, collecteurs, bouées et cordages, toujours au même endroit (en bord de *karena* par exemple) ; provoquant une accumulation de matière organique (Figure 20) ;
- les transferts de nacres entre atolls, ou transferts de post-larves de crevettes ou alevins de *Platax* depuis l'écloserie jusqu'au lieu d'élevage, avec les risques sanitaires associés : transport potentiel de pathogènes (virus, bactéries, parasites) et d'épibiontes ;
- l'achat de matériel plastique de mauvaise qualité, sujet à une dégradation prématurée, générant macro, micro et nano-plastiques ;
- le lagonage, c'est-à-dire l'abandon volontaire de macro-déchets en mer (Gaertner-Mazouni, Rodriguez, and Gaertner 2018) ;
- en crevetticulture ou pisciculture, , l'utilisation d'aliment frais ou le nourrissage sur-abondant, provoquant un apport de matière organique dans le milieu ;
- en aquaculture en bassin de terre, la pratique du *flush (voir partie 7.1.2.2)* provoquant une arrivée brève mais intense de matériel organique et minéral dans l'effluent.



Figure 20 : Nettoyage des grillages au surpresseur ; l'accumulation des déchets organiques oblige l'exploitant de cette ferme perlicole de Tahaa à retirer une fois tous les 10 jours les déchets tombés sur le fond (photo : G. Bouvet).

7.2 ÉLÉMENTS COMPLÉMENTAIRES À L'ORIGINE DE MENACES ET PRESSIONS SUR LE MILIEU MARIN

Au-delà des aspects purement techniques liés de façon directe à l'activité aquacole/perlicole, un certain nombre d'éléments ne doivent pas être éludés. Ils sont induits par l'existence même de l'activité et peuvent constituer des pressions ou des menaces sur l'environnement marin.



Figure 21 : Cabinet de toilette dans un fare greffe avec évacuation directe sur la karena (Gambier) (photo : G. Bouvet).

7.2.1 Fréquentation induite de la zone marine et terrestre

L'existence d'une ferme implique la présence de personnels (employés de la ferme) et parfois l'accueil du public. Pour les projets de grande ampleur, cet aspect est assez évident. Un projet comme celui de la zone Biomarine de Faratea, par exemple, ne laisse aucun doute sur le sujet avec les 75 à 100 emplois directs prévus[33].

Sur un tout autre niveau, la création d'une ferme perlicole dans un atoll provoquera elle aussi une augmentation de la présence humaine en mer et sur les installations à terre. Cette augmentation de la population implique un changement dans les usages de la zone avec potentiellement (et selon la configuration de la zone) :

- l'augmentation des rejets d'eaux usées (eaux grises[34], eaux noires[35]) ; ces eaux ne seront pas forcément traitées correctement[36] ; elles impliquent des apports de matière organique, de nutriments, des apports microbiens, apport en contaminants organiques (détergents, perturbateurs endocriniens, *etc.*) ;
- l'augmentation des risques de rejet de macro-déchets plastiques (non liés directement à l'activité) dans le milieu marin (Figure 22) ;
- l'augmentation de la pression de pêche récréative ou de subsistance ; la pêche est en effet une pratique très courante en Polynésie française ; la création d'une activité aquacole/perlicole dans une zone donnée génère une augmentation de la présence humaine et peut suffire à faire augmenter la pression de pêche ;
- la destruction mécanique de biocénoses ; par l'usage des ancres de bateau par exemple, ou le piétinement.

7.2.2 Usages de moteurs thermiques

La plupart des activités aquacoles/perlicoles impliquent l'utilisation d'hydrocarbures pour l'alimentation des moteurs thermiques et leur lubrification (propulseurs, groupes électrogènes, véhicules). Quelques produits dégrippants[37] sont aussi potentiellement utilisés pour l'entretien de

33 http://www.ressources-marines.gov.pf/aquaculteurs/zone-biomarine-de-faratea/ ; un cahier des charges, un règlement intérieur de la zone Biomarine, un bail de location avec son propre cahier des charges à chaque lot (qui aura son propre arrêté ICPE) permet de limiter les impacts à ce niveau, notamment par rapport à des fermes privées implantées sur du foncier privé qui ne sont actuellement encadrées que par les concessions maritimes et les ICPE (comm. pers. G. Remoissenet).

34 Eaux grises : eaux peu chargées en matières toxiques ou à haut-risque du point de vue sanitaire, par exemple des eaux d'origine domestique, résultant du lavage de la vaisselle, des lessives, du lavage des mains, des bains ou des douches.

35 Eaux noires : elles contiennent des matières polluantes ou plus difficiles à éliminer tels que des matières fécales, des produits cosmétiques, ou tout type de sous-produit industriel mélangé à l'eau.

36 Les dispositifs d'assainissement individuel sont parfois absents ; et ils peuvent évidemment être défectueux.

37 Type WD40 par exemple.





Figure 22 : Déchets plastiques non liés directement à l'activité perlicole (Ahe) (photo : G. Bouvet).

l'outillage. La menace associée est tout simplement l'apport d'hydrocarbures dans le milieu marin[38].

7.2.3 Usages de batteries

L'usage de batteries (pour l'alimentation électrique des moteurs de bateau, l'outillage électrique, les systèmes de distribution automatique d'aliment, les panneaux photovoltaïques, etc.) représente également une menace si ces batteries sont perdues accidentellement dans le milieu marin, détériorées ou abandonnées après usage. Le risque est un apport en substances dangereuses, le plomb notamment.



Figure 23 : Batterie utilisée pour l'outillage électrique dans un fare greffe (Ahe) (photo : G. Bouvet).

38 L'utilisation d'un groupe électrogène (à partir de 300 KVA) nécessite l'obtention d'un arrêté ICPE 2e classe.

7.3 SPÉCIFICITÉS DES DIFFÉRENTES ACTIVITÉS

Il s'agit ici de décrire les activités sous l'angle des forçages/pressions/menaces (sur le milieu marin) en s'appuyant sur les caractéristiques listées dans les parties précédentes (7.1 et 7.2) et en insistant sur les spécificités liées à l'activité.

7.3.1 Crevetticulture

La crevetticulture concerne l'espèce *Litopenaeus stylirostris*, élevée en Polynésie française depuis environ 40 ans, maîtrisée et domestiquée depuis plus de 20 ans. Il s'agit de la même espèce que celle élevée en Nouvelle-Calédonie, mais la souche polynésienne est exempte de toute maladie (à déclaration obligatoire à l'OIE[39]) (Fenua Environnement 2019) et de toute maladie émergente.

Les fermes crevetticoles polynésiennes n'ont pas d'écloserie sur place. Les post-larves sont fournies par l'écloserie de VAIA (Tahiti)[40]. La description d'une écloserie sous l'angle des pressions et menaces sur l'environnement marin est donnée dans la partie 7.3.2.1.1. On peut noter que le déplacement d'animaux (les post-larves) représente un risque sanitaire (déplacement de parasites, de virus et de bactéries)[41]. Pour autant, dans le cas des crevettes, il paraît assez complexe d'imaginer un suivi pertinent des rejets ou des impacts d'une ferme crevetticole sur ces aspects parasitaires et/ou microbiens. La stratégie résidera donc essentiellement sur la prévention des maladies en écloserie.

7.3.1.1 Crevetticulture en bassin de terre

Avec l'espèce *Litopenaeus stylirostris*, l'activité peut être pratiquée en semi-intensif (production comprise entre 5 et 8 t/ha/an), en intensif[42] (production comprise entre 15 et 22 t/ha/an) (Fenua Environnement 2019) ou en hyper intensif (rendement en cages compris entre 160 et 240 t/ha/an). En Polynésie française, le mode de production va du semi intensif poussé à l'hyper intensif.

Les densités communément observées en Polynésie française sont donc selon le mode d'élevage de l'ordre de 30-40, 100-150 ou 1000-1400 crevettes/m^2. A titre de comparaison, elles sont aujourd'hui d'environ 10 crevettes/m^2 en Nouvelle-Calédonie pour des rendements de l'ordre de 2 à 4 t/ha/an.

Les fermes occupent un total de 9 hectares en bassins, et quelques centaines de mètres carré en cages.



Figure 24 : Fermes crevetticoles appartenant (à gauche) à Aquapac (Tahiti) et (à droite) à la Société d'Aquaculture d'Opunohu (Moorea) (Photos : Google Earth).

39 Organisation Mondiale de la Santé Animale.
40 Confiée en prestation à la CAPF.
41 La Polynésie française bénéficie d'une situation sanitaire avantageuse qui lui permet de réaliser des élevages en bassins en circuit ouvert sans barrière sanitaire, ainsi que des élevages en cages en milieu lagonaire (comm. pers. G. Remoissenet).
42 Un élevage avec environ 100 crevettes/m2 est considéré comme hyper-intensif (Della Patrona, Brun, et Herbland 2007).

Elles sont installées (actuellement) exclusivement sur des îles hautes en raison de la nécessité de disposer d'une terre aux propriétés adéquates (argile étanche et de pH basique) pour la construction des digues et pour l'élevage des crevettes. La nature du sol est déterminante pour la méiofaune dont se nourrissent les crevettes (Della Patrona, Brun, and Herbland 2007). Situées en bord de mer, les fermes sont organisées autour des installations principale suivantes :

- plusieurs bassins de terre (bien visibles sur la Figure 24) destinés à l'élevage (voir partie 7.1.2.2) ;
- un pompage d'eau de mer (tuyau immergé) permettant d'alimenter les bassins (voir partie 7.1.2.3) ;
- un ou plusieurs émissaires de rejet[43] (voir partie 7.1.2.1) ;
- des bâtiments pour :
  - la station de pompage ;
  - le stockage des aliments ;
  - le conditionnement des crevettes et leur conservation ;
  - le personnel (voir partie 7.2.1) ;
- des lieux de stockage/traitement des boues ;
- des voies d'accès.

Les crevettes sont nourries aux granulés[44].

Comme expliqué en partie 7.1.1, les aliments non consommés génèrent un apport d'azote et phosphore solides. Les crevettes excrètent de l'azote et du phosphore (dissous) et elles sont à l'origine de fèces contenant aussi de l'azote et du phosphore (solides).

Ainsi, selon Thomas et al. (2006)[45], dans l'eau des bassins, différentes formes chimiques dissoutes d'azote et de phosphore sont identifiées ; pour l'azote : l'azote ammoniacal total (TAN), l'azote organique dissous (NOD), les nitrites et nitrates (NO_x).

Pour le phosphore, la fraction organique présentant une solubilité très faible, seule la fraction inorganique se trouve dissoute sous forme de phosphate ou phosphore réactif dissous (DRP). Dans les autres compartiments, azote et phosphore sont sous forme particulaire.



Figure 25 : Aliment en granulés pour les crevettes (photo : G. Bouvet).

Remarque : Selon Lemonnier (2006), pour les fermes crevetticoles[46], les rejets en sels nutritifs azotés sont finalement assez faibles. Les bassins assimilent en effet les sels apportés par l'eau de renouvellement. En revanche pendant la saison chaude, les rejets sont riches en azote organique dissous (NOD) (H. Lemonnier and Faninoz 2006) et l'intensification du système favorise les déchets particulaires et organiques.

Ces évolutions doivent rester à l'esprit des autorités compétentes pour la conception d'un programme de suivi.

Les bassins sont soumis à des phénomènes d'eutrophisation : les apports en éléments nutritifs permettent la production de matière organique (phytoplantcon, zooplancton, micro-algues, bactéries) en des quantités qui peuvent dépasser les capacités d'autopurification de la masse d'eau (Della Patrona 2012). Les analyses des effluents produits par une ferme crevetticole durant un cycle d'élevage ont confirmé qu'ils sont principalement composés de matière organique dissoute et surtout particulaire. Celle-ci est principalement composée de micro-algues se développant au sein du bassin, d'une partie de la nourriture qui n'est pas assimilée par les crevettes et de bactéries (Molnar 2012). Selon Martin *et al.* (1998), Lemonnier *et al.* (2003) et Lemonnier & Faninoz

43 Idéalement placés en mer et à bonne distance du rivage et de la prise d'eau de mer ; les rejets en mangrove sont autorisés ; les rejets en rivière sont interdits.
44 En Polynésie française, les fermes utilisent toutes les aliments de la marque Ridley (Starter 1, Starter 2 et Prawn enhance GR1).
45 (Thomas 2005).
46 De Nouvelle-Calédonie.

Les deux principales formes d'azote dissous que l'on retrouve dans les effluents sont l'ammonium et l'azote organique dissous (Burford et al., 2001).

Sur une étude conduite dans une ferme australienne, Preston et al. (2000) ont démontré que 57 % de l'azote ajouté au bassin est rejeté de façon journalière. Plus de 90 % de l'azote présent dans le milieu provient de l'aliment artificiel (Funge-Smith and Briggs, 1998 ; Preston et al., 2000).

Au moment de la pêche, sur l'ensemble de l'aliment distribué au cours de l'élevage, seul 15 à 22 % de l'azote est transformé en chair de crevette (Burford et al., 2001). (H. Lemonnier et al. 2006).

(2006), la Matière Organique Particulaire (MOP) et la Matière Organique Dissoute (MOD) sont – quantitativement – les principaux constituants des effluents des fermes aquacoles de crevettes (Luseo Pacific et al. 2019). Associé à cet apport de matière organique, le risque d'anoxie augmente. Il semble toutefois assez limité lorsque les rejets se font en mangrove en revanche, il a été montré que les populations benthiques de mangroves sont perturbées par les apports en matière organique (Molnar 2012).

Sur les fonds de bassin, dans les conditions extrêmes, on peut assister à une production de gaz carbonique, de méthane et de sulfure d'hydrogène (El Helwe 2006). Or, les effluents emportent des sédiments du fond des bassins vers le milieu récepteur (Boyd, 1992). Le risque est donc de voir apparaître ces mêmes conditions extrêmes dans le milieu naturel receveur.

Dans les bassins, la fraction organique des sédiments provient des restes non digérés d'aliment, du phyto et zooplancton, du phyto et zoobenthos, des débris d'autres végétaux (algues filamenteuses, herbacées du bord des digues), des excréments du cheptel, des fertilisants organiques[47], des cadavres non consommés[48] et des mues (Della Patrona, Brun, and Herbland 2007). Le renouvellement de l'eau des bassins[49] permet d'éviter l'eutrophisation et la sur-sédimentation, mais il implique un rejet de nutriments, de métaux (érosion des fonds de bassin et des digues) et de matière organique, sous forme dissoute ou particulaire, en dehors des bassins. Mais ces rejets sont sans commune mesure avec des rejets lors de vidanges partielles pour des récoltes ou parfois pour la gestion du milieu d'élevage (comm. pers. G. Remoissenet).

Les concentrations fortes en matière organiques et en nutriments dans les bassins en font aussi des lieux de développement bactérien. Dans les sédiments, Burford et al. (1998) rapporte des concentrations de 15,5 x 10^9 cellules/g dans la lentille de boue des bassins intensifs et que la concentration augmente avec l'apport en nutriments. Ces bactéries (principalement des morphotypes *coccus*, *coccobacillus*, *bacillus* et *spirilum*) peuvent donc se retrouver dans le milieu naturel. Le risque est évidemment l'apparition, dans les bassins, de bactéries pathogènes susceptibles de contaminer les stocks naturels.

Dans le *process* zootechnique des fermes crevetticoles en bassin de terre en Polynésie française, aucune substance dangereuse n'est utilisée (sources : aquaculteurs, CAPF et DRM).

En revanche pour la désinfection du matériel de pêche, l'eau de javel serait encore employée. D'autres produits de nettoyage pourraient aussi être employés (détergents/désinfectants) (sur les conseils de l'inspection sanitaire[50]). Ces produits sont potentiellement nocifs pour l'environnement marin et ils ne sont pas nécessairement récupérés dans un système de traitement des eaux usées dédié. Ils peuvent donc être rejetés dans le milieu marin.

Les fermes crevetticoles terrestres sont nécessairement équipées de groupe électrogène pour assurer les besoins électriques en cas

47 Pas utilisés en Polynésie française.

48 Sur l'exploitation Aquapac, la quantité estimée de rejet de crevettes mortes est de 30 kg/an. En cas de mortalité anormale (zoonose), les cadavres sont censés être extraits des bassins, jetés aux déchets classiques (bac gris) ou (prochainement) brûlés dans une cuve prévue à cet effet (Fenua Environnement 2019).

49 Ce renouvellement est de 20 %/bassin/jour pour Aquapac (Fenua Environnement 2019), soit 120 000 m3/jour (comm. pers. G. Remoissenet).

de coupure d'alimentation par le réseau EDT (pour les chambres frigorifiques notamment). Bien entendu, ces groupes représentent une menace pour l'environnement marin (apport en hydrocarbures).

7.3.1.1.1 Le cas particulier de la construction des fermes crevetticoles en bassin

La phase de construction des bassins d'une ferme crevetticole représente une menace pour l'environnement marin notamment en raison des risques d'apports particulaires intenses en cas de pluie en raison d'une mauvaise gestion des eaux de ruissellement (IFC - Groupe Banque Mondiale 2007). La présence de machine (à moteur thermique) représente par ailleurs un risque d'apports en substances dangereuses (hydrocarbures). La construction des systèmes de captage et de rejets des eaux peut impacter l'environnement si les systèmes de protection de l'environnement ne sont pas appropriés. Cette phase, même si elle est courte, doit alerter les autorités compétentes en matière de construction, de concession et d'environnement et selon la configuration du chantier peut faire l'objet d'un suivi environnemental.

7.3.1.1.2 Autres pressions et menaces déjà décrites précédemment dans le guide

- rejet d'eaux usées par le personnel (depuis des installations terrestres non conformes) (voir partie 7.2.1)
- augmentation de la pression de pêche (voir partie 7.2.1)
- contamination en nano et microplastiques (voir partie 7.1.3)
- production de macro-déchets ménagers[51] (voir partie 7.2.1)
- stockage de substances dangereuses (voir partie 7.1.3).

7.3.1.1.3 Remarques

Les échappées de crevettes ne représentent pas de risque génétique particulier. Les crevettes n'ont apparemment aucune chance de survie dans le milieu naturel[52].

7.3.1.1.4 Informations supplémentaires pouvant avoir un impact sur la stratégie d'échantillonnage

À l'échelle d'un bassin, l'apport d'aliments et le besoin de renouvellement de l'eau augmentent au fur et à mesure du cycle d'élevage. Dans les premières semaines du cycle, l'apport d'aliment est assez faible. Les post-larves se nourrissent essentiellement avec les micro-algues qu'elles trouvent sur le substrat (Smith et al. 2002). Lors de la seconde moitié de leur cycle biologique, les crevettes requièrent un apport nutritionnel important et une oxygénation régulière afin d'obtenir un environnement approprié (Smith et al. 2002). Ainsi, la composition de l'effluent d'un bassin peut évoluer au cours d'un cycle. À l'échelle d'une ferme, en raison de la rotation pratiquée sur les différents bassins pour gérer les différents cycles, la nature des effluents pourrait théoriquement rester assez stable. Mais l'activité globale d'une ferme peut varier dans l'année, avec un ou plusieurs pics de production[53]. Lemonnier (2008) a montré sur une étude en Nouvelle-Calédonie que la concentration en chlorophylle *a* augmente dans le milieu naturel (dans la mangrove réceptrice) de façon très nette jusqu'à la fin du cycle et la vidange des bassins.

Les autorités compétentes devront donc s'assurer de la conformité des rejets notamment pendant les pics de productions.

Au moment des vidanges, et notamment si elles sont pratiquées de façon trop rapide (*flush*), en l'absence de bassin de décantation ou de dispositif de filtration et/ou remédiation, les quantités de nutriments et de matière organique, sous forme dissoute ou particulaire, et de matière minérale, peuvent augmenter de façon considérable. Les vidanges représentent donc elles aussi des moments critiques en matière de rejet, et donc suivi.

Les pressions et menaces associées à l'activité sont résumées dans le Tableau 8.

50 Même si d'autres dispositifs écoresponsables existent et sont conseillés, notamment l'usage d'eau très chaude et à haute pression (Fenua Environnement 2019).
51 Les fermes produisent des déchets ménagers et des déchets d'exploitations (sacs d'aliments vides, emballage de conditionnement des crevettes, encombrants). Mais on peut considérer que ces déchets ne représentent pas de menace directe pour le milieu marin.
52 En Polynésie française, il n'existe aucune crevette pénéide, ni en milieu lagonaire, ni dans les zones intertidales d'eaux saumâtres (comm. pers. G. Remoissenet).
53 Chez Aquapac, par exemple, en décembre, la production est 2,5 fois supérieure à celle des autres mois de l'année.

PRESSION / MENACE DANS LE MILIEU MARIN (EXTERIEUR A L'EXPLOITATION)				
Operation / Equipement / Evenement	Consequences possibles	Pression/menace associee Sur le milieu naturel	Compartiment Concerne	Risque crevetticulture en cage
Création / agrandissement d'une exploitation	Augmentation de la population humaine	Pression de pêche par le personnel de l'exploitation	Biote	faible
Déplacement d'animaux élevés	Propagation de pathogènes	Contamination par pathogènes	Biote	faible
Utilisation d'un groupe électrogène	Utilisation d'hydrocarbure	Contamination chimique	Eau	faible
Désinfection du matériel	Pollution à l'eau de javel	Contamination chimique	Eau	faible
Emissaire de rejet	Modification de la courantologie > Diminution du renouvellement des eaux	Altération du transport de l'oxygène : Anoxie/Hypoxie	Sédiment / Eau / Biote	faible
Emissaire de rejet	Modification de la courantologie > Diminution du renouvellement des eaux	Altération du transport des sédiments : accumulation	Sédiment / Eau / Biote	faible
Emissaire de rejet	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Apparition de la Ciguatera	Biote	faible
Présence d'installation à terre (cuves)	Libération de plastique dans le milieu	Contamination de la chaîne trophique en Micro-plastique et nano-plastique	Sédiment / Eau / Biote	faible
Traitements sanitaires	Utlisation de désinfectants	Contamination chimique	Eau	faible
Traitements sanitaires	Utilisation de chaux	Contamination chimique	Eau	faible
Présence d'animaux élevés	Rejet de feces et sédimentation	Baisse de la qualité de l'eau : augmentation de la turbidité, baisse de la luminosité, augmentation de la concentration en matière organique dans l'eau, diminution de la concentration en O2, mortalité des espèces, bloom algal, virus, bactéries Modification/anoxie du sédiments	Sédiment / Eau	fort
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Apport en matière organique	Eutrophisation	Eau	fort
Erosion des digues entre les bassins	augmentation de l'apport en MES	Rejets de MES dans le milieu	Sédiment / Eau / Biote	fort

Tableau 8 : Pressions et menaces associées à la crevetticulture en bassin de terre.

7.3.1.1.5 Résumé des points de vigilance

Les autorités compétentes devront identifier les points de contrôle nécessaires : émissaire de rejets des eaux usées des bâtiments destinés au personnel (WC, cuisine) à terre ; effluents d'exploitation. Et, pour une estimation des impacts dans le milieu récepteur, elles devront déterminer zones de champ proche et champ intermédiaire avec différentes configurations (rejet sur la plage[54], rejet en mer avec émissaire, rejets en mangrove).

Un exemple de programme de suivi est donné en partie 10.2.

En quelques mots...

La pression principale exercée par la crevetticulture en bassins de terre est l'apport en matière organique et les risques associés sont l'eutrophisation du milieu et ses conséquences : bloom phytoplanctonique, développement algal benthique et modification de la macrofaune benthique.

54 Ce qui est une mauvaise pratique.

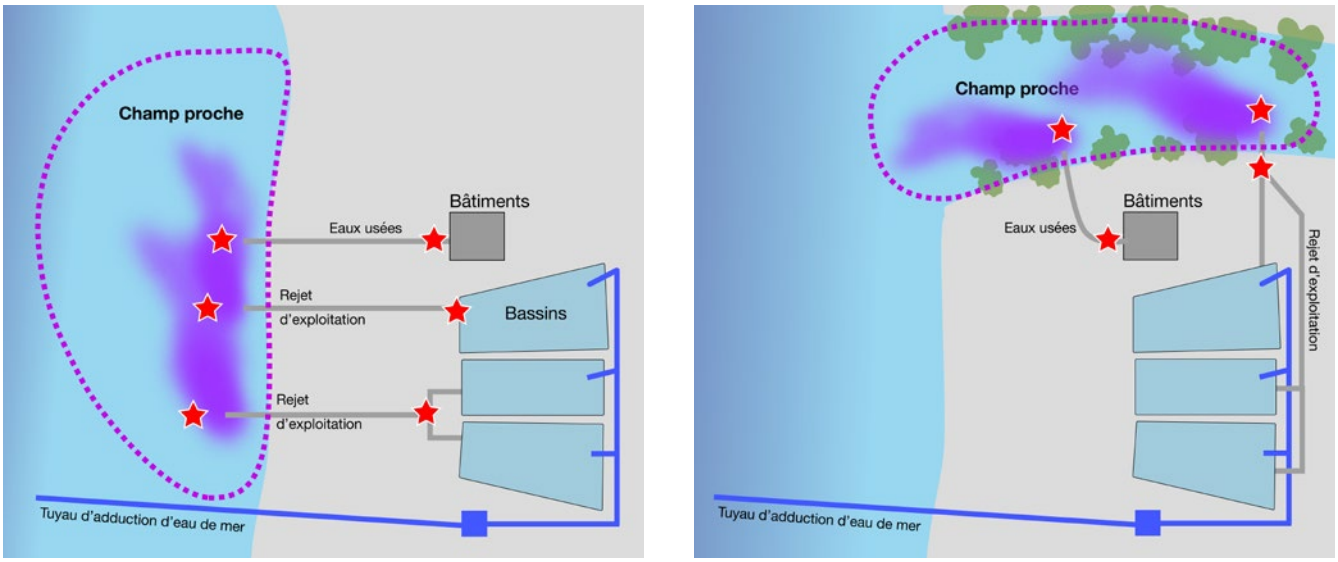


Figure 26 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une exploitation d'élevage de crevettes en bassins de terre ; les étoiles rouges représentent les points de vigilance.

7.3.1.2 Crevetticulture en cage

L'espèce élevée est la même que celle élevée en bassin (voir 7.3.1.1). En Polynésie française, les exploitations crevetticoles utilisant l'élevage en cage sont très peu nombreuses (2 exploitations) et elles sont de taille modeste (encore à l'échelle pilote : 3 cages sur Tahaa[55] et une vingtaine de cages sur Tahiti[56] ; voir Figure 27). En revanche, les densités peuvent atteindre 500 crevettes/m^2 (Lucien-Brun et al. 2018a) voire 900 crevettes/m^2 (comm. pers T. Vivish)[57].

Les fermes sont installées (actuellement) exclusivement dans des lagons d'îles hautes, mais il n'y *a priori* pas de contre-indication à pouvoir pratiquer cette activité dans les atolls. Les fermes sont organisées autour des installations principales suivantes :

en mer :

- plusieurs cages, avec leur système d'amarrage ;
- éventuelle plateforme de travail flottante ;

à terre :

- des bâtiments pour :
  - le stockage des aliments ;
  - le stockage du matériel ;
  - le conditionnement des crevettes (et potentiellement leur conservation) ;
  - le personnel ;
- un lieu de nettoyage des filets/*liners*;
- des voies d'accès.

Les indices de conversion se situent généralement aux alentours de 1,5 (entre 1 et 2), contrairement à ceux habituellement constatés pour la crevetticulture en bassin de terre (1,6 à 2,5 en Polynésie française) et pourraient tomber parfois à moins de 1 (comm. pers T. Vivish). Les aliments en granulés utilisés sont les mêmes que ceux utilisés pour la crevetticulture en bassin (voir 7.3.1.1). Mais les cages représentent un atout important pour faire baisser les indices de conversion. En effet, outre la possibilité de bien observer le comportement et notamment les mues de crevettes, les filets laissent passer une partie du zooplancton (dont peuvent se nourrir les crevettes) et constituent un support de développement d'algues abritant des petits invertébrés (complétant eux-aussi l'alimentation des crevettes).

Les filets (d'une maille de 500 µm) empêchent par ailleurs le passage de particules trop grosse vers le milieu extérieur. Le fond des cages est parfois recouvert d'un *liner* qui empêche une bonne part des aliments non ingérés de tomber sur les fonds marins. Il permet aussi de retenir les déchets telles que les mues qui participent également ponctuellement à l'alimentation des crevettes. Ce *liner* a surtout l'avantage de permettre de récupérer facilement les déchets produits et de les rapporter à terre (pour les valoriser ; les mues et fecès étant riches en nutriments ; programme PROTEGE en cours).

55 Exploitation Atger.
56 Exploitation Vivish.
57 Densités à relativiser en raison de la profondeur des cages, bien supérieure à celle des bassins.

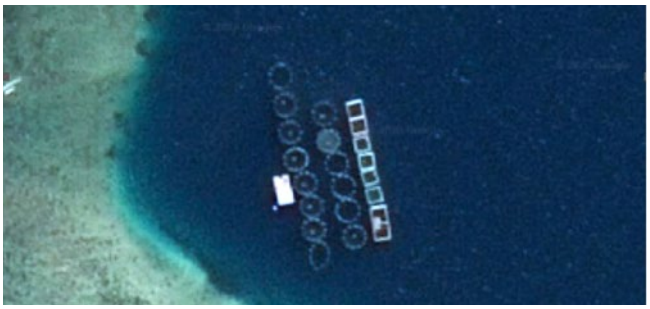


Figure 27 : Ferme crevetticole (Tahiti) avec des cages rondes et des cages carrées (Tahiti).

Les rejets dans le milieu marin (voir partie 7.1.1) sont en partie dispersés en raison des courants et de la profondeur de la zone d'implantation des cages. Les phénomènes d'eutrophisation, intenses dans les bassins de terre, et provoquant la création de matière organique (phyto et zooplancton, bactéries), sont théoriquement plus diffus. Pour autant, en termes de menaces et de pressions sur le milieu marin, on demeure sur des apports similaires (en nature), avec des apports en particules, apports en nutriments, apports en matière organique, apport bactérien. Grâce au système de *liner* et de récupération régulière des déchets particulaires, ces menaces et pressions sont moindre qu'avec le système classique de pisciculture en cages (comm. pers. G. Remoissenet). *Liner*, filets, flotteurs, cordages et bouées sont faits de matières plastiques. Ils représentent donc une menace de pollution en nano et microplastiques, mais aussi en macro-déchets en cas de casse du matériel.

Les cages peuvent être un foyer de développement de bactéries, parasites et virus, notamment par l'accumulation de cadavres en fond de cages ou sous les cages[58].

Les installations exercent passivement un effet attracteur sur les populations de poissons. Elles se comportent par ailleurs comme des collecteurs d'algues et larves d'animaux, en partie consommées par les crevettes. Lors du nettoyage des filets, ces organismes sont éliminés (parfois directement en mer). Le développement du *biofouling* et en particulier du *turf* algal pourrait faire courir le risque d'apparition de la *ciguatera*.

Afin d'attirer le zooplancton dont se nourrissent les crevettes, un éclairage immergé et nocturne est utilisé. Il exerce un effet attracteur sur certains poissons (effet DCP) et sur certains invertébrés (mollusques, crustacés et vers, entre autres).

Les aliments (granulés) sont en général distribués avec des systèmes automatisés alimentés avec une batterie électrique. En cas de casse (provoquée par les conditions météorologiques par exemple), les batteries peuvent être perdues en mer (voir 7.2.3).

L'utilisation d'une embarcation motorisée est obligatoire en raison de la nécessité d'intervention quotidienne et représente quelques pressions/menaces (voir 7.2.2 et 7.1.2).

7.3.1.2.1 Autres pressions et menaces déjà décrites précédemment dans le guide

- rejet d'eaux usées par le personnel (limité depuis la plateforme flottante, ou plus important depuis les installations terrestres où est géré le conditionnement à la récolte) (voir partie 7.2.1) ;
- augmentation de la pression de pêche, notamment sur les prédateurs et sur les juvéniles qui peuvent se retrouver coincés entre le filet d'élevage et le filet de protection (voir partie 7.2.1) ;
- production de macro-déchets ménagers[59] (voir partie 7.2.1) ;
- stockage de substances dangereuses (voir partie 7.1.3).

7.3.1.2.2 Remarques

Les échappées de crevettes ne représentent pas de risque génétique particulier. Les crevettes n'ont apparemment aucune chance de survie dans le milieu naturel[60].

7.3.1.2.3 Informations supplémentaires pouvant avoir un impact sur la stratégie d'échantillonnage

Comme pour la crevetticulture en bassin de terre, l'apport d'aliments n'est pas constant au cours du cycle. Dans les premières semaines, l'apport d'aliment est assez faible, puis il augmente jusqu'à la fin du cycle. Les différentes cages peuvent contenir des crevettes à des stades de grossissement

58 Dans les faits, les cadavres sont immédiatement mangés par les crevettes.
59 Les fermes produisent des déchets ménagers et des déchets d'exploitations (sacs d'aliments vides, emballage de conditionnement des crevettes, encombrants). Mais on peut considérer que ces déchets ne représentent pas de menace directe pour le milieu marin.
60 En Polynésie française, il n'existe aucune crevette pénéide en milieu lagonaire ni dans les zones intertidales d'eaux saumâtres (comm. pers. G. Remoissenet).

différent et donc avec des apports en nourriture différents. Les autorités compétentes doivent tenir compte de ces aspects pour l'organisation du plan d'échantillonnage des suivis de la qualité du milieu marin.

Contrairement à la crevetticulture en bassin de terre, les rejets d'une ferme crevetticole en cages sont, en l'absence d'émissaire de rejet, beaucoup plus difficiles à évaluer (voir partie 7.1.2). Les pressions et menaces associées à l'activité sont résumées dans le Tableau 9.

PRESSION / MENACE DANS LE MILIEU MARIN (EXTERIEUR A L'EXPLOITATION)				
Operation / Equipement / Evenement	Consequences possibles	Pression/menace associee Sur le milieu naturel	Compartiment Concerne	Risque crevetticulture en cage
Création / agrandissement d'une exploitation	Augmentation de la population humaine	Pression de pêche par le personnel de l'exploitation	Biote	faible
Recyclage (réutilisation) des installations	Transfert des épibiontes ou parasites	Contamination en épibionte et parasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Gène pour les grands animaux (mammifères notamment)	Eloignement ou accident	Biote	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Modification de la courantologie	Diminution du renouvellement des eaux Altération du transport de l'oxygène : Anoxie/Hypoxie	Sédiment / Eau	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Ragage des installations sur les pinacles	Diminution du recouvrement corallien	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Bruit, nuisance sonore	Désertion des mammifères et tortues ?	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Presence d'embarcations et hélices	Collisions avec des animaux : tortues, mammifères	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en hydrocarbures	Eau	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en hydrocarbures	Sédiment	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en métaux lourds ?	Sédiment	faible
Utilisation de corps-morts en béton	Détérioration des corps-morts	Contamination chimique	Sédiment / Eau / Biote	
Présence d'animaux élevés	Augmentation du nombre d'individus en élevage	Dépassement de la capacité trophique de la zone	Eau	faible
Déplacement d'animaux élevés	Transfert des épibiontes ou macroparasites	Contamination en épibionte et macroparasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	faible
Ouverture accidentelle de cage	Echappée d'individus	Prolifération d'espèces introduites (?)	Milieu	faible
Traitements sanitaires	Nettoyage à la javel	Pollution de l'eau	Eau	faible
Déplacement d'animaux élevés	Propagation de pathogènes	Contamination par pathogènes	Biote	faible
Nettoyage des installations en mer	Apport de matière organique localisée	Modification/anoxie du substrat	Sédiment	Moyen
Nettoyage des installations en mer	Concentration de matière organique localisée	Eutrophisation	Eau	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Altération des paysages	Altération des paysages aériens et sous-marins	Milieu	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Libération de plastique dans le milieu	Contamination en Micro-plastique et nano-plastique	Sédiment / Eau	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Libération de plastique dans le milieu	Macro-déchets	Miliieu	Moyen
Nourrissage	Lumière pour attirer le zooplancton	Recrutement (puis destruction) de populations animales	Biote	Moyen
Présence d'animaux élevés	Rejet de feces et sédimentation	Baisse de la qualité de l'eau : augmentation de la turbidité, baisse de la luminosité, augmentation de la concentration en matière organique dans l'eau, diminution de la concentration en O2, mortalité des espèces, bloom algal, virus, bactéries Modification/anoxie du sédiments	Sédiment / Eau	fort
Nourrissage	Apport en matière organique	Eutrophisation	Eau	fort
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Concentration de poissons (DCP), modification des populations de poissons	Biote	fort
Nettoyage des installations en mer	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Apparition de la Ciguatera	Biote	Mal connu

Tableau 9 : Pressions et menaces associées à la crevetticulture en cages.

7.3.1.2.4 Résumé des points de vigilance

Les autorités compétentes devront identifier les points de contrôle nécessaires : émissaire de rejets des eaux usées des bâtiments destinés au personnel (WC, cuisine) à terre ou en mer (barge) ; et les zones de rejets en mer (cages).

Un exemple de programme de suivi est donné en partie 10.1.

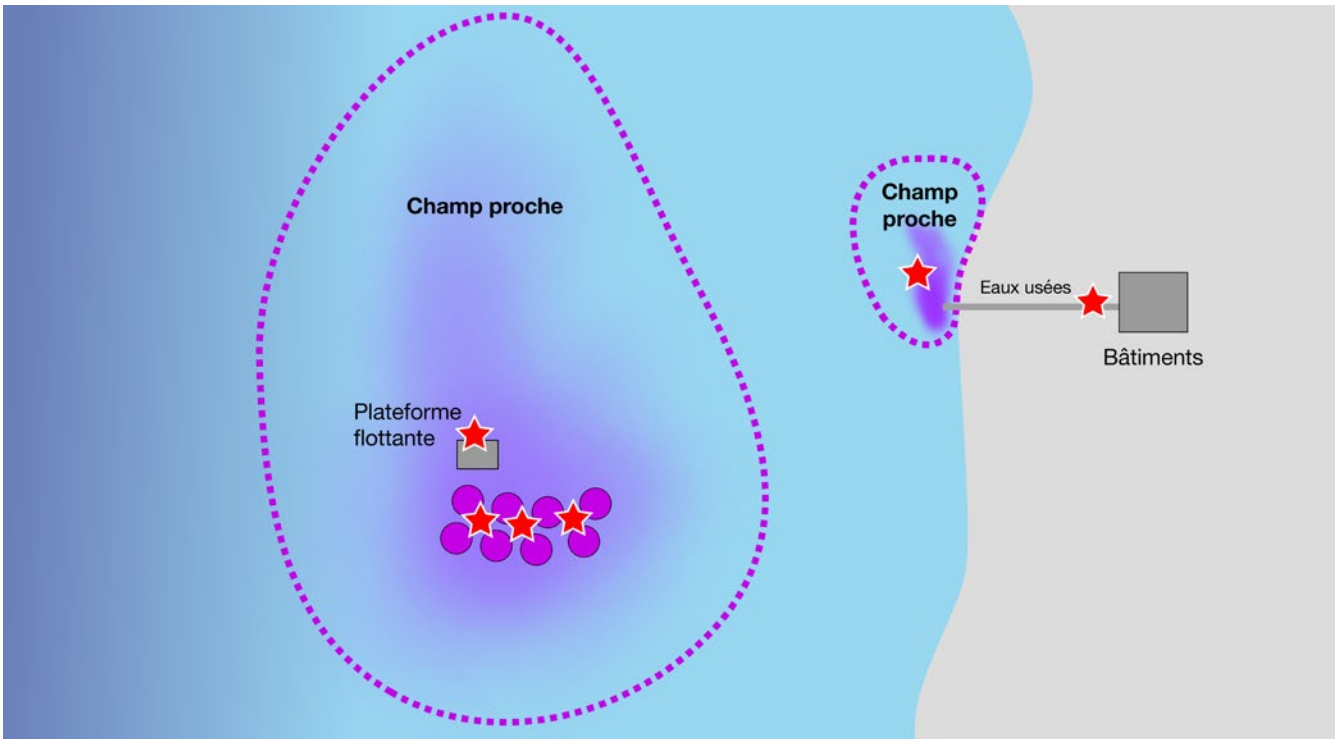


Figure 28 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une exploitation d'élevage de crevettes (ou de poissons) en cages avec des bâtiments à terre ; les étoiles rouges représentent des exemples de points de vigilance.

En quelques mots…

La pression principale exercée par la crevetticulture en cages est l'apport en matière organique et les risques associés sont l'eutrophisation du milieu et ses conséquences : bloom phytoplanctonique, développement algal benthique et modification de la macrofaune benthique.

7.3.2 Pisciculture en cage

Telle que pratiquée actuellement en Polynésie française, la pisciculture est une activité qui, au regard des pressions et menaces sur l'environnement marin, ressemble très fortement à la crevetticulture en cages. Le lecteur pourra donc se reporter à la partie 7.3.1.2 pour plus de détails.

Toutefois, la pisciculture en cages possède les différences suivantes avec la crevetticulture en cages :

- absence de filet de protection, donc moins de *biofouling* ;
- nécessité de maintenir les filets propres afin d'éviter les pathogènes[61] ;

61 Habituellement, les poissons ne broutent pas les algues sur les filets ; dans le cas contraire (par exemple pour les Siganidés ou Marava), les poissons peuvent endommager les filets.

- pas d'utilisation de lumière pour attirer le zooplancton ;
- pas de *liner* pour retenir et récupérer régulièrement les macro-particules.

Ici, le lecteur trouvera quelques spécificités de la pisciculture en cage.

Les fermes sont installées exclusivement dans des lagons d'îles hautes, mais il n'y *a priori* pas de contre-indication à pouvoir pratiquer cette activité dans les atolls (un projet existe d'ailleurs sur l'atoll de Hao).

L'espèce élevée est le *Platax orbicularis* (paraha peue en tahitien). Les alevins sont élevés en écloserie en dehors des exploitations (voir partie 7.3.3), actuellement à l'écloserie de VAIA (Tahiti).

D'une façon générale, les poissons sont bien plus sensibles aux macro-parasites que les crevettes ; ces macro-parasites peuvent contaminer les poissons présents dans le milieu naturel. Si le *Paraha peue* n'est pas sujet aux poux du genre *Caligus* (comme le saumon), il est sensible à un ver monogène tel que *Neobenedenia melleni* présent dans le milieu naturel, et qui se développe plus facilement sur les cheptels d'élevage (notamment lorsque la densité d'élevage est élevée) (Sebert 2013).

Les fermes sont organisées autour des installations principales suivantes :

en mer :
- plusieurs cages d'environ 50 m^2 (ou moins), avec leur système d'amarrage ;

à terre :
- des bâtiments pour :
  - le stockage des aliments ;
  - le stockage du matériel ;
  - le conditionnement des poissons (et potentiellement leur conservation) ;
  - le personnel ;
- un lieu de nettoyage des filets ;
- des voies d'accès.

Les poissons sont nourris avec des granulés (formulés pour l'ombrine tropicale[62]) et garantis sans OGM et sans antibiotiques (par le fabriquant) ; ce qui ne garantit pas l'absence de traces de pesticides (voir partie 7.1.1).

Au-delà de l'effet attracteur que représentent les structures immergées, le comportement des poissons sauvages peut être perturbé par la présence des bancs de *Platax* dans les cages et bien entendu par le nourrissage. Contrairement aux cages crevetticoles, les cages d'élevage pour les *Platax* ne disposent pas de *liner* dans leur fond. Ainsi, les granulés d'aliments peuvent traverser le fond des cages et être consommés par les poissons sauvages. Les fèces traversent également le fond des cages et provoquent un apport en matière organique sur le substrat.

7.3.2.1.1 Autres pressions et menaces déjà décrites précédemment dans le guide

- rejet d'eaux usées par le personnel (depuis la plateforme flottante ou depuis des installations terrestres non conformes) (voir partie 7.2.1)
- augmentation de la pression de pêche par le personnel de l'exploitation (voir partie 7.2.1)
- production de macro-déchets ménagers[63] (voir partie 7.2.1)
- stockage de substances dangereuses (voir partie 7.1.3).

Les pressions et menaces associées à l'activité sont résumées dans le Tableau 10.

7.3.2.1.2 Remarques

Les échappées de poissons représentent un risque génétique puisque l'espèce élevée (*Platax orbicularis*) est une espèce présente à l'état sauvage en Polynésie française.

7.3.2.1.3 Informations supplémentaires pouvant avoir un impact sur la stratégie d'échantillonnage

Comme pour la crevetticulture en cage, l'apport d'aliments n'est pas constant au cours du cycle. Dans les premières semaines, l'apport d'aliment est assez faible, puis il augmente jusqu'à la fin du cycle. Les différentes cages peuvent contenir des poissons à des stades de grossissement différent et donc avec des apports en nourriture différents. Les autorités compétentes doivent tenir compte de ces aspects pour l'organisation du plan d'échantillonnage des suivis de la qualité du milieu marin.

62 *Sciaenops ocellatus.*
63 Les fermes produisent des déchets ménagers et des déchets d'exploitations (sacs d'aliments vides, emballage de conditionnement des crevettes, encombrants). Mais on peut considérer que ces déchets ne représentent pas de menace directe pour le milieu marin.

PRESSION / MENACE DANS LE MILIEU MARIN (EXTERIEUR A L'EXPLOITATION)				
Operation / Equipement / Evenement	Consequences possibles	Pression/menace associee Sur le milieu naturel	Compartiment Concerne	Risque crevetticulture en cage
Création / agrandissement d'une exploitation	Augmentation de la population humaine	Pression de pêche par le personnel de l'exploitation	Biote	faible
Recyclage (réutilisation) des installations	Transfert des épibiontes ou parasites	Contamination en épibionte et parasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Gêne pour les grands animaux (mammifères notamment)	Eloignement ou accident	Biote	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Modification de la courantologie	Diminution du renouvellement des eaux Altération du transport de l'oxygène : Anoxie/Hypoxie	Sédiment / Eau	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Ragage des installations sur les pinacles	Diminution du recouvrement corallien	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Bruit, nuisance sonore	Désertion des mammifères et tortues ?	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Presence d'embarcations et hélices	Collisions avec des animaux : tortues, mammifères	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en hydrocarbures	Eau	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en hydrocarbures	Sédiment	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en métaux lourds ?	Sédiment	faible
Utilisation de corps-morts en béton	Détérioration des corps-morts	Contamination chimique	Sédiment / Eau / Biote	
Présence d'animaux élevés	Augmentation du nombre d'individus en élevage	Dépassement de la capacité trophique de la zone	Eau	faible
Déplacement d'animaux élevés	Transfert des épibiontes ou macroparasites	Contamination en épibionte et macroparasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	faible
Ouverture accidentelle de cage	Echappée d'individus	Prolifération d'espèces introduites (?)	Milieu	faible
Traitements sanitaires	Nettoyage à la javel	Pollution de l'eau	Eau	faible
Déplacement d'animaux élevés	Propagation de pathogènes	Contamination par pathogènes	Biote	faible à moyen
Nettoyage des installations en mer	Apport de matière organique localisée	Modification/anoxie du substrat	Sédiment	Moyen
Nettoyage des installations en mer	Concentration de matière organique localisée	Eutrophisation	Biote	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Altération des paysages	Altération des paysages aériens et sous-marins	Eau	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Libération de plastique dans le milieu	Contamination en Micro-plastique et nano-plastique	Milieu	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Libération de plastique dans le milieu	Macro-déchets	Sédiment / Eau	Moyen
Présence d'animaux élevés	Rejet de feces et sédimentation	Baisse de la qualité de l'eau : augmentation de la turbidité, baisse de la luminosité, augmentation de la concentration en matière organique dans l'eau, diminution de la concentration en O2, mortalité des espèces, bloom algal, virus, bactéries Modification/anoxie du sédiments	Eau	fort
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Apport en matière organique	Eutrophisation	Eau	fort
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Concentration de poissons (DCP), modification des populations de poissons	Biote	fort
Nettoyage des installations en mer	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Apparition de la Ciguatera	Biote	Mal connu

Tableau 10 : Pressions et menaces associées à la pisciculture en cages.

7.3.1.2.4 Résumé des points de vigilance

Les autorités compétentes devront identifier les points de contrôle nécessaires : émissaire de rejets des eaux usées des bâtiments destinés au personnel (WC, cuisine) à terre ou en mer (barge) ; et les zones de rejets en mer (cages).

Un exemple de programme de suivi est donné en partie 10.1.

En quelques mots...

La pression principale exercée par la pisciculture en cages est l'apport en matière organique et les risques associés sont l'eutrophisation du milieu et ses conséquences : bloom phytoplanctonique et développement algal benthique.

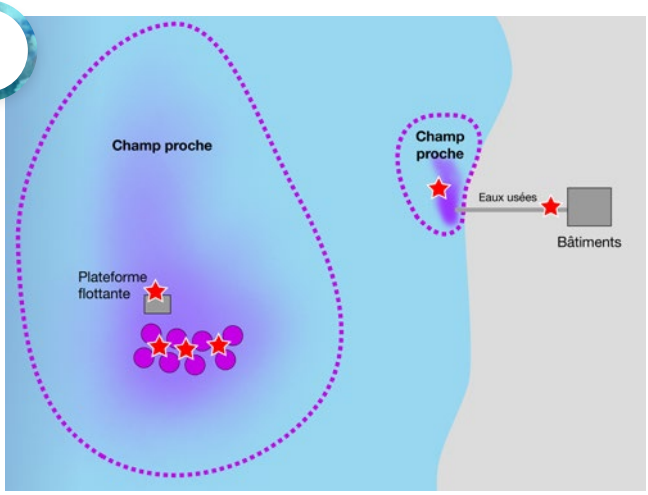


Figure 29 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une exploitation d'élevage de crevettes (ou de poissons) en cages avec des bâtiments à terre ; les étoiles rouges représentent des exemples de points de vigilance.

7.3.3 Écloserie

7.3.3.1.1 Particularités

La description proposée dans cette partie se fonde principalement sur les caractéristiques de l'écloserie de VAIA (Tahiti)[64]. Elle concerne les deux espèces *Platax orbicularis* et *Litopenaeus stylirostris*. Chaque filière d'écloserie a ses propres caractéristiques zootechniques et sanitaires. Pour toute autre filière, ou simplement en cas de changement dans le *process* de production des alevins et post-larves, les autorités compétentes doivent bien entendu mettre à jour la liste des pressions/menaces sur l'environnement marin. Les écloseries de production de VAIA (EPV) sont composées des éléments suivants :

- Une écloserie de crevettes, avec :
  - des cuves destinées à l'élevage des géniteurs ;
  - des cuves destinées à l'élevage des post-larves ;
  - trois bâtiments pour l'écloserie (comprenant les salles maturation, pondoirs, éclosoirs, algues, artémias, larvaire, laboratoire, stockage) ;
- Une écloserie de poissons, avec :
  - des cuves destinées à l'élevage des géniteurs ;
  - des cuves destinées à l'élevage des alevins ;
  - deux bâtiments pour l'écloserie (comprenant les salles maturation, pondoirs, éclosoirs, rotifères, artémias, larvaire, laboratoire, stockage) ;
- Une salle d'algues ;
- Des cuves destinées à l'élevage des *Artemias* et des *Rotifères ;*
- Un pompage permettant d'alimenter les bassins (voir partie 7.1.2.3) ;
- Un ou plusieurs émissaires de rejet (voir partie 7.1.2.1) ;
- Un bâtiment logistique et administratif ;
- Un pompage d'eau de mer (tuyau immergé)[65] ;
- Des bassins de terre destinés aux géniteurs de crevettes ;
- Un système de filtration des boues[66] ;
- Des voies d'accès.

Sur le principe, les pressions et menaces sur l'environnement marin associées à cette activité sont très similaires à celles listées pour la crevetticulture en bassin de terre (voir partie 7.3.1.1). Il existe malgré tout quelques caractéristiques spécifiques.

Le renouvellement de l'eau de mer dans le système est de 400 % par jour pour l'écloserie de VAIA (comm. pers. B. Le Maréchal), alors qu'il est plutôt de 20 % par jour pour la ferme crevetticole Aquapac (Fenua Environnement 2019). Outre le fait que les élevages sont à faible densité (ensemencement à 10 post-larves par m^2), et que les biomasses sont faibles, la conséquence évidente est une dilution des rejets. Les nutriments étant un facteur limitant dans la croissance du plancton, cette dilution a probablement un impact sur la production absolue de matière organique. En revanche, la production de fèces par les animaux élevés reste inchangée en valeur absolue.

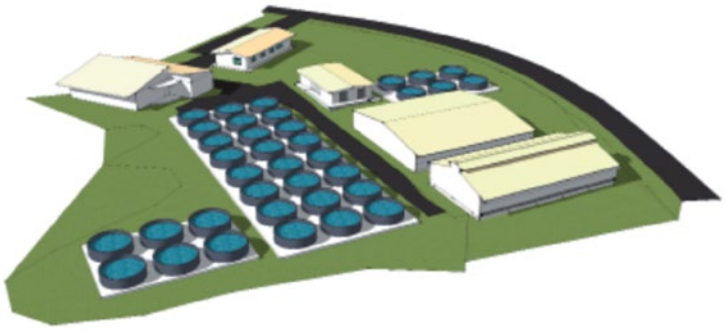
L'utilisation de cuve en matière plastique (en résine polyester et fibre de verre ; Figure 30-C et D) entraine une menace de pollution en nano et microplastiques et autres substances dangereuses relarguées par les plastiques (des phtalates notamment) ; l'intensité de cette pollution est mal connue.

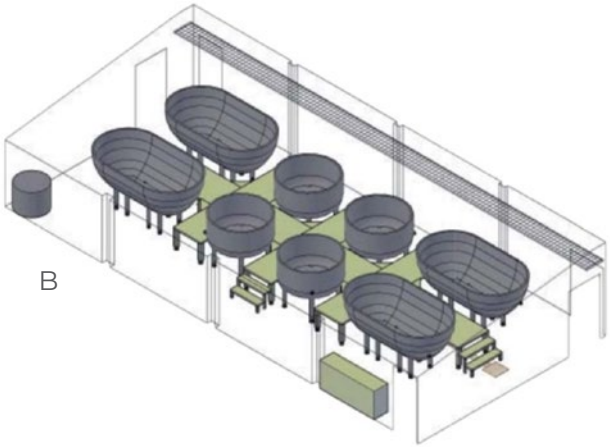
Si les élevages aquacoles/perlicoles polynésiens évitent l'utilisation de substances potentiellement dangereuses, ce n'est pas le cas pour l'écloserie actuelle avec :

- l'eau de javel[67] : utilisée comme produit d'entretien dans les différentes partie de l'écloserie;
- l'oxytétracycline[68] : cet antibiotique à large spectre du groupe des tétracyclines agit sur la capacité des bactéries à produire des protéines essentielles ; elle est utilisée sur les larves de crevettes ;
- La trifluraline[69] : cet herbicide fongistatique est utilisé tous les jours pendant les dernières semaines de maturation des larves de crevettes (comm. pers. Benoît Le Maréchal) ;
- Le formol : il a été utilisé en cas d'infection des alevins de platax en bain (200 g/m^3), combiné avec un antibiotique (200 g/m^3 également) ; puis dans l'aliment ; mais les protocoles peu efficaces et l'image véhiculée par de telles pratiques ont entraîné l'abandon de ces traitements ;
- Le chlore : les œufs d'*Artemia* sont chlorés (chloration de surface) juste avant incubation.

64 Centre Technique de Vairao (CTA VAIA).
65 À 120 m du bord pour le pôle (CTA et EPV) de VAIA. Avec un volume pompé de 150 m3/h.
66 Le système à tambour de l'écloserie de VAIA n'est pas opérationnel actuellement ; une étude est en phase de lancement sur l'ICPE de VAIA.
67 Solution aqueuse d'hypochlorite et de chlorure de sodium ; elle pourrait être neutralisée par bullage pendant 6 heures et plus sûrement avec du Thiosulfate de sodium ou un filtre à charbon actif (comm. pers. G. Remoissenet).
68 À l'écloserie de VAIA, le gérant aimerait remplacer l'oxytetracycline par des probiotiques (comm. pers. B. Le Maréchal) ; ce qui est en cours d'essais par la DRM et Ifremer.
69 Il a été utilisé en très petite quantité : l'écloserie de VAIA en a utilisé 1 L en 10 ans (comm. pers. B. Le Maréchal), mais ne l'est plus désormais depuis janvier 2021 ; le produit étant interdit, et des mesures prophylactiques permettent d'éviter le pathogène ciblé (Lagenidium sp.).

A





B



C



Figure 30 : A- Implantation du Centre technique de Vairao (CTA de VAIA) ; B- Schéma de concept des cuves d'élevage des larves de crevettes ; C- Cuves d'élevage des Artemias (Remoissenet et al. 2010) ; D- Cuves d'élevage des poissons (photo : G. Bouvet).

À la fin de chaque cycle de production, un vide sanitaire est réalisé de façon systématique : une procédure de nettoyage et chloration puis séchage des installations, du matériel et des réseaux est mise en place (Remoissenet et al. 2010).

Les *Artemias* représentent un risque sanitaire car il s'agit d'œufs enkystés importés, et certaines peuvent être rejetées dans le milieu marin. L'origine de ces artémias est donc particulièrement contrôlée par la Direction de la Biosécurité
.

7.3.3.1.2 Détails sur les risques sanitaires et génétiques

Sur le plan sanitaire, l'activité d'écloserie comporte des risques d'introduction de pathogènes, notamment par les intrants : aliment secs, aliments frais, proies vivantes, eaux d'adduction, manipulations du personnel ; les pathogènes pouvant par la suite être disséminés sur les fermes recevant les juvéniles.

Ces pathogènes peuvent être liés à des maladies à déclaration obligatoire à l'Organisation Mondiale de la Santé Animale (OIE[70]) ou à des maladies émergentes connues ou encore inconnues.

Sur le plan génétique, les deux types de dangers principaux sont les suivants :

- des échappés de cages ; et donc un risque sur la variabilité génétique de l'espèce ; un risque d'invasion existe également lorsque l'espèce n'est pas indigène ;
- des reproductions d'animaux d'élevage en cages ou en pacage marin (en cas de *sea ranching*) entraînant un risque sur la variabilité génétique de la population dans le lagon où l'élevage est pratiqué.

Les pressions et menaces associées à l'activité sont résumées dans le Tableau 11.

PRESSION / MENACE DANS LE MILIEU MARIN (EXTERIEUR A L'EXPLOITATION)				
Operation / Equipement / Evenement	Consequences possibles	Pression/menace associee Sur le milieu naturel	Compartiment Concerne	Risque crevetticulture en cage
Création / agrandissement d'une exploitation	Augmentation de la population humaine	Pression de pêche par le personnel de l'exploitation	Biote	faible
Recyclage (réutilisation) des installations	Transfert des épibiontes ou parasites	Contamination en épibionte et parasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	faible
Utilisation d'un groupe électrogène	Utilisation d'hydrocarbure	Contamination chimique	Eau	faible
Désinfection du matériel	Pollution à l'eau de javel	Contamination chimique	Eau	faible
Emissaire de rejet	Modification de la courantologie > Diminution du renouvellement des eaux	Altération du transport de l'oxygène : Anoxie/Hypoxie	Sédiment / Eau / Biote	faible
Emissaire de rejet	Modification de la courantologie > Diminution du renouvellement des eaux	Altération du transport des sédiments : accumulation	Sédiment / Eau / Biote	faible
Emissaire de rejet	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Apparition de la Ciguatera	Biote	faible
Présence d'installation à terre (cuves)	Libération de plastique dans le milieu	Contamination de la chaîne trophique en Micro-plastique et nano-plastique	Sédiment / Eau / Biote	faible
Traitements sanitaires	Utlisation de désinfectants	Contamination chimique	Eau	faible
Traitements sanitaires	Utlisation de pesticides, herbicides, fongicides, ou alguicides	Contamination chimique	Sédiment / Eau / Biote	faible
Traitements sanitaires	Utlisation d'antibiotiques et autres médicaments	Contamination chimique	Sédiment / Eau / Biote	faible
Ouverture accidentelle de cage	Echappée d'individus	Appauvrissement génétique	Biote	fort
Déplacement d'animaux élevés	Propagation de pathogènes	Contamination par pathogènes	Biote	fort
Présence d'animaux élevés	Rejet de feces et sédimentation	Baisse de la qualité de l'eau : augmentation de la turbidité, baisse de la luminosité, augmentation de la concentration en matière organique dans l'eau, diminution de la concentration en O2, mortalité des espèces, bloom algal, virus, bactéries Modification/anoxie du sédiments	Sédiment / Eau	fort
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Apport en matière organique	Eutrophisation	Eau	fort
Erosion des digues entre les bassins	augmentation de l'apport en MES	Rejets de MES dans le milieu	Sédiment / Eau / Biote	fort

Tableau 11 : Liste des pressions et menaces associées à l'activité d'écloserie.

70 OIE : Office International des Epizooties ; l'Organisation Mondiale de la Santé Animale a gardé le sigle OIE, créé en 1924.

7.3.3.1.3 Informations supplémentaires pouvant avoir un impact sur la stratégie d'échantillonnage

Sur un site d'écloserie comme celui de VAIA, on peut facilement imaginer que la composition des rejets puisse varier tout au long de l'année. Les autorités compétentes doivent tenir compte de ces aspects pour l'organisation du plan d'échantillonnage des suivis de la qualité du milieu marin.

7.3.3.1.4 Résumé des points de vigilance

Les autorités compétentes devront identifier les points de contrôle nécessaires : émissaire de rejets des eaux usées des bâtiments destinés au personnel (WC, cuisine) ; les effluents d'exploitation ; et éventuellement les ouvrages en mer (tuyau de pompage et émissaire de rejet).

Le lecteur pourra noter par ailleurs les éléments de préventions suivants :

- Le diagnostic sanitaire et la stratégie de biosécurité des géniteurs[71] et des juvéniles (produits et livrés) doivent être bien définis et suivis à chaque cycle de production.
- La gestion génétique des juvéniles (de poissons) destinés aux exploitations situées sur les îles et aux réensemencements doit être suivie rigoureusement. Les juvéniles déplacés peuvent en effet présenter des différences génétiques par rapport aux populations locales de poissons et donc participer à l'appauvrissement génétique.

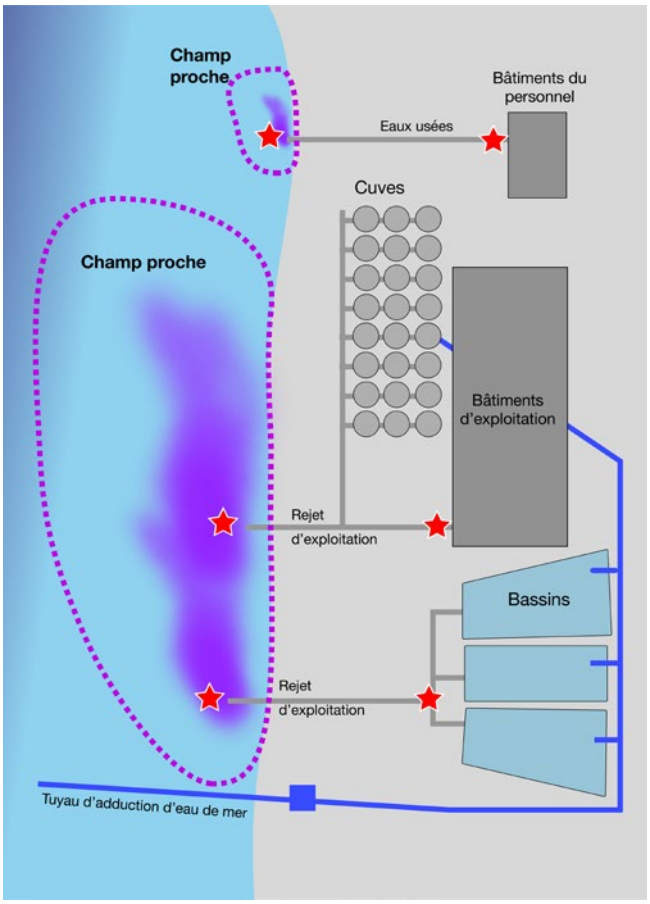


Figure 31 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une écloserie (type VAIA) avec cuves, bassins et bâtiments ; les étoiles rouges représentent des exemples de points de vigilance.

En quelques mots...

La pression principale exercée par une écloserie est l'apport en matière organique, les risques associés sont l'eutrophisation du milieu et ses conséquences (bloom phytoplanctonique et développement algal benthique) ainsi que le risque sanitaire et génétique.

7.3.4 Aquaculture de bénitiers

L'aquaculture de bénitier basée sur le collectage est limitée à Reao et Tatakoto, les deux seuls atolls où cette forme d'aquaculture récifale est autorisée en 2019 (site web de la DRM[72]) bien qu'une nouvelle écloserie vient de se monter à Papara (Tahiti Marine Aquaculture). Comme pour les nacres, l'activité s'articule autour de deux opérations principales : le captage de naissains et l'élevage.

Dans les atolls, les naissains de bénitiers sont captés et élevés sur stations de collectage, jusqu'à ce qu'ils atteignent une taille de 4 cm. Ils sont alors détroqués puis exportés vers Tahiti (vers des fermes de grossissement), puis à l'international pour le marché de l'aquariophilie.

71 Les géniteurs doivent être exempts de pathogènes afin d'annuler le risque de transmission verticale aux larves et juvéniles.
72 http://www.ressources-marines.gov.pf/aquaculteurs/laquaculture-en-polynesie-francaise/les-filieres-de-laquaculture-en-polynesie-francaise/



Figure 32 : Bénitier sauvage dans un atoll (photo V. Liao).

Les stations de collectage sont constituées d'une armature en bois (non traité) avec un fond en grillage plastique (maille de 20 - 30 mm) et de matériaux artificiels (ombrière en plastique) qui serviront d'accroche aux naissains. Les tables sont protégées par un grillage en plastique (maille de 20 mm). Les tables sont immergées à faible profondeur, maintenues entre deux eaux par un système de bouées en plastique et un dispositif d'amarrage constitué de cordages (non traités) et de corps morts (blocs de béton). Les tables occupent en général une superficie de 40 à 80 m² (Remoissenet et al. 2015)[73]. Ces installations doivent régulièrement être nettoyées, sur place, pour être débarrassées du *biofouling*.

Dans les fermes de grossissement à terre, les bénitiers sont élevés en cuves. Ils ne sont pas nourris. L'exploitation fonctionne sur le même principe qu'une écloserie ou une ferme crevetticole, avec un captage d'eau de mer et un effluent.

Même s'ils émettent des fèces, les bénitiers ont une grande capacité de filtration. Dans le milieu naturel, ils agissent sur les flux d'eau et donc sur le transport et les quantités de sédiments présents dans leur zone. Ce mode de filtration pourrait freiner l'eutrophisation à petite échelle, en filtrant l'eau et en emprisonnant les nutriments (Remoissenet et al. 2015). En outre, les aquaculteurs utilisent des trocas brouteurs pour éliminer les développements d'algues sur les parois des cuves. De ce fait et surtout en raison 1- d'absence de nourrissage, et 2- d'une mixotrophie des bénitiers reposant majoritairement sur l'apport des zooxanthelles autotrophes de leur manteau, les effluents d'exploitation terrestres sont très peu chargés en matière organique.

Les pressions et menaces associées à l'activité sont résumées dans le Tableau 12 et le Tableau 13.



Figure 33 : bénitiers d'élevage issus d'une écloserie (Kejaon Sea Farm - Nouvelle-Calédonie) (Photo : G. Bouvet).

73 Voire moins (depuis peu) pour faciliter la tâche des professionnels (système à plusieurs petits modules de 15 à 20 m²) (comm. pers. G. Remoissenet).

PRESSION / MENACE DANS LE MILIEU MARIN (EXTERIEUR A L'EXPLOITATION)				
Operation / Equipement / Evenement	Consequences possibles	Pression/menace associee Sur le milieu naturel	Compartiment Concerne	Risque crevetticulture en cage
Création / agrandissement d'une exploitation	Augmentation de la population humaine	Pression de pêche par le personnel de l'exploitation	Biote	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Gène pour les grands animaux (mammifères notamment)	Eloignement ou accident	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Bruit, nuisance sonore	Désertion des mammifères et tortues ?	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Presence d'embarcations et hélices	Collisions avec des animaux : tortues, mammifères	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en hydrocarbures	Eau	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en hydrocarbures	Sédiment	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en métaux lourds ?	Sédiment	faible
Utilisation de corps-morts en béton	Détérioration des corps-morts	Contamination chimique	Sédiment / Eau / Biote	faible
Déplacement d'animaux élevés	Propagation de pathogènes	Contamination par pathogènes	Biote	faible
Nettoyage des installations en mer	Apport de matière organique localisée	Modification/anoxie du substrat	Sédiment	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Altération des paysages	Altération des paysages aériens et sous-marins	Milieu	faible
Déplacement d'animaux élevés	Transfert des épibiontes ou macroparasites	Contamination en épibionte et macroparasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Concentration de poissons (DCP), modification des populations de poissons	Biote	Moyen
Nettoyage des installations en mer	Concentration de matière organique localisée	Eutrophisation	Eau	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Libération de plastique dans le milieu	Macro-déchets	Milieu	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Libération de plastique dans le milieu	Contamination en Micro-plastique et nano-plastique	Sédiment / Eau / Biote	fort
Nettoyage des installations en mer	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Apparition de la Ciguatera	Biote	Mal connu

Tableau 12 : Liste des pressions et menaces associées à l'aquaculture de bénitiers (collectage).

PRESSION / MENACE DANS LE MILIEU MARIN (EXTERIEUR A L'EXPLOITATION)				
Operation / Equipement / Evenement	Consequences possibles	Pression/menace associee Sur le milieu naturel	Compartiment Concerne	Risque crevetticulture en cage
Création / agrandissement d'une exploitation	Augmentation de la population humaine	Pression de pêche par le personnel de l'exploitation	Biote	faible
Utilisation d'un groupe électrogène	Utilisation d'hydrocarbure	Contamination chimique	Eau	faible
Désinfection du matériel	Pollution à l'eau de javel	Contamination chimique	Eau	faible
Emissaire de rejet	Modification de la courantologie > Diminution du renouvellement des eaux	Altération du transport de l'oxygène : Anoxie/Hypoxie	Sédiment / Eau / Biote	faible
Emissaire de rejet	Modification de la courantologie > Diminution du renouvellement des eaux	Altération du transport des sédiments : accumulation	Sédiment / Eau / Biote	faible
Présence d'installation à terre (cuves)	Libération de plastique dans le milieu	Contamination de la chaîne trophique en Micro-plastique et nano-plastique	Sédiment / Eau / Biote	faible
Traitements sanitaires	Utlisation de désinfectants	Contamination chimique	Eau	faible
Déplacement d'animaux élevés	Propagation de pathogènes	Contamination par pathogènes	Biote	faible
Déplacement d'animaux élevés	Transfert des épibiontes ou macroparasites	Contamination en épibionte et macroparasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	Moyen

Tableau 13 : Liste des pressions et menaces associées à l'aquaculture de bénitiers (grossissement à terre).

7.3.4.1.1 Résumé des points de vigilance

Les autorités compétentes devront identifier les points de contrôle nécessaires. Pour l'activité de collectage sur table, les tables et les abords des tables ; pour les fermes de grossissement, les émissaires de rejets des eaux usées humaines et des eaux usées d'exploitation.

En quelques mots...

La pression principale exercée par une activité de collectage de bénitier est l'apport en matière organique (biofouling) et l'apport en plastique.
Le risque principal représenté par une activité de grossissement de bénitier est le transfert d'épibiontes et la contamination du milieu extérieur par les plastiques provenant de la dégradation des installations[74].

7.3.5 Élevage perlicole

Alors que l'impact de l'aquaculture de bivalve (notamment) était initialement négligé, il est désormais reconnu que cette industrie peut impacter de façon significative l'écosystème et ses services (Aubert et al. 2019).

L'élevage perlicole regroupe plusieurs activités : le collectage, l'élevage des nacres, la greffe et l'élevage des huître perlières. Dans cette partie, c'est l'ensemble de ces activités qui est décrit.

Les fermes perlières peuvent prendre plusieurs formes et les tailles sont très variables. Assez souvent, elles sont organisées autour des éléments suivants :

- en mer, des lignes de collectage ou d'élevage, soutenues par des bouées, et retenues par leur système de fixation au fond ;
- en mer[75] ou à terre (éventuellement sur remblais), un ensemble de bâtiments (en dur) ou de fares (sur pilotis ; Figure 34) facilitant les opérations :
  - de préparation des nacres,
  - de greffe
  - de nettoyage
  - de stockage du matériel
- un ou plusieurs pontons ;
- éventuellement une marina.



Figure 34 : Fare greffe sur pilotis dans un atoll perlicole (photo V. Liao).

74 Même si les cuves sont en gel coat et que le nettoyage est effectué avec des éponges non grattantes.
75 La construction de fare greffe sur les karena est désormais interdite.

Il convient de distinguer les pressions liées à la physiologie des nacres cultivées, les pressions induites par les infrastructures nécessaires pour la production, et les pressions dépendantes des pratiques spécifiques des perliculteurs (Gaertner-Mazouni and Rodriguez 2017).

L'introduction de biomasses importantes d'huître perlières dans les lagons pour la perliculture entraine diverses interactions avec l'écosystème. Dans la colonne d'eau, les huîtres perlières exercent une pression de prédation sur le compartiment planctonique pour leur alimentation alors qu'elles contribuent à favoriser la production primaire en alimentant le stock de nutriments dissous *via* leur activité d'excrétion (UPF 2019).

Au niveau du compartiment benthique, l'accumulation localisée de bio-dépôts (fèces et pseudo-fèces) provenant de la perliculture peut induire un enrichissement organique et des changements dans la composition géochimique des sédiments ainsi que sur les caractéristiques des communautés benthiques, affectant potentiellement les échanges à l'interface eau-sédiment (UPF 2019).

Exceptés les corps-morts (en général en béton et bidon de métal), la quasi-totalité des installations immergées sont en matières plastique : collecteurs (Figure 35), cordages (lignes de chapelet, lignes, « poteaux »), fils nylon (Figure 36), bouées (Figure 37), kangaroos (Figure 38), grillages. Par ailleurs, elles offrent un support nu pour le développement d'algues et invertébrés marins.



Figure 35 : en haut, collecteur sans nacres ; en bas, collecteur avec nacres (photo : V. Liao).



Figure 36 : Utilisation de fil de nylon pour accrocher les nacres en chapelet (photo : V. Liao).



Figure 37 : Bouées de surface maintenant les lignes d'élevage des nacres (photo : V. Liao).

Les installations immergées sont principalement maintenues par des corps-morts, mais sont parfois renforcées par des amarrages à des constructions coralliennes, sur lesquelles le ragage des cordages et chaines peut entrainer la destruction des colonies coralliennes environnantes.

Les différentes installations immergées nécessitent un entretien pour ne pas s'alourdir et couler sous le poids du *biofouling*. Le nettoyage des installations est donc nécessaire. Il est réalisé de différentes manières et en différents lieux. Selon l'élément à nettoyer et les pratiques de l'exploitant, l'accumulation de matière organique issue de ce nettoyage pourra donc se faire en divers endroits :

- sous chacune des installations immergées (le long des lignes par exemple),
- directement sous un des fares sur le pilotis,
- à l'aplomb d'une plateforme mobile destinée au nettoyage,
- à terre.

Ce nettoyage génère un apport important de matière organique dans la colonne d'eau et sur le substrat. Elle est composée de petits invertébrés marins (mollusques, crustacés, échinodermes, coraux durs, coraux mous, éponges, bryozoaires, ascidies, anémones, *etc.*) et d'algues. Le nettoyage se fait par brossage mécanique ou avec un surpresseur. Lors de cette opération, des microplastiques peuvent être libérés, notamment si les installations sont vieilles. La libération de tous ces morceaux d'organismes dans la colonne d'eau représente un apport potentiel de nourriture notamment pour les poissons et peuvent modifier leur comportement et la composition des populations. Sur le substrat, la présence de tous ces morceaux d'organismes peut modifier les populations benthiques.

Les installations immergées sont parfois très nombreuses, et même si les lignes sont espacées les unes des autres, il est facile d'imaginer que la courantologie soit affectée et donc les processus de renouvellement des masses d'eau également. Puisque dans certaines zones le collectage de naissains fonctionne mal, ou parce que l'exploitant souhaite utiliser une autre source d'huître perlière, des transferts de nacres ont régulièrement lieu entre les atolls et les îles hautes. Au-delà du risque d'homogénéisation de la génétique des huîtres perlières avec le temps sur les différents lieux de production, ces transferts de nacres représentent un risque sanitaire de contamination microbienne et parasitaire. C'est bien par de tels transferts que les anémones ont envahi les lagons des Tuamotu au milieu des années 90, et qui semblent être issues initialement de l'atoll de Mopelia (comm. pers. G. Remoissenet). Ce risque existe par ailleurs lorsque certaines installations abandonnées sont déplacées pour être réutilisées ailleurs, parfois sur un autre atoll ou sur une autre île.

Les nucleus utilisés pour la greffe sont parfois enrobés d'antibiotiques (Terramycine ou Tetracycline hydrochloride). En cas de rejet du nucleus par la nacre, le nucleus et son antibiotique

se retrouvent alors dans le milieu naturel. L'activité implique par ailleurs l'utilisation d'une ou plusieurs embarcations motorisées en raison de la nécessité d'intervention fréquente sur les filières (voir pressions/menaces associées en parties 7.2.2 et 7.1.2).

7.3.5.1.1 Autres pressions et menaces déjà décrites précédemment dans le guide :

- rejet d'eaux usées par le personnel (depuis le fare sur pilotis ou depuis les installations terrestres) (voir partie 7.2.1),
- augmentation de la pression de pêche (voir partie 7.2.1),
- production de macro-déchets ménagers[76] (voir partie 7.2.1),
- stockage de substances dangereuses (voir partie 7.1.3).

Les pressions et menaces associées à l'activité sont résumées dans le Tableau 14.

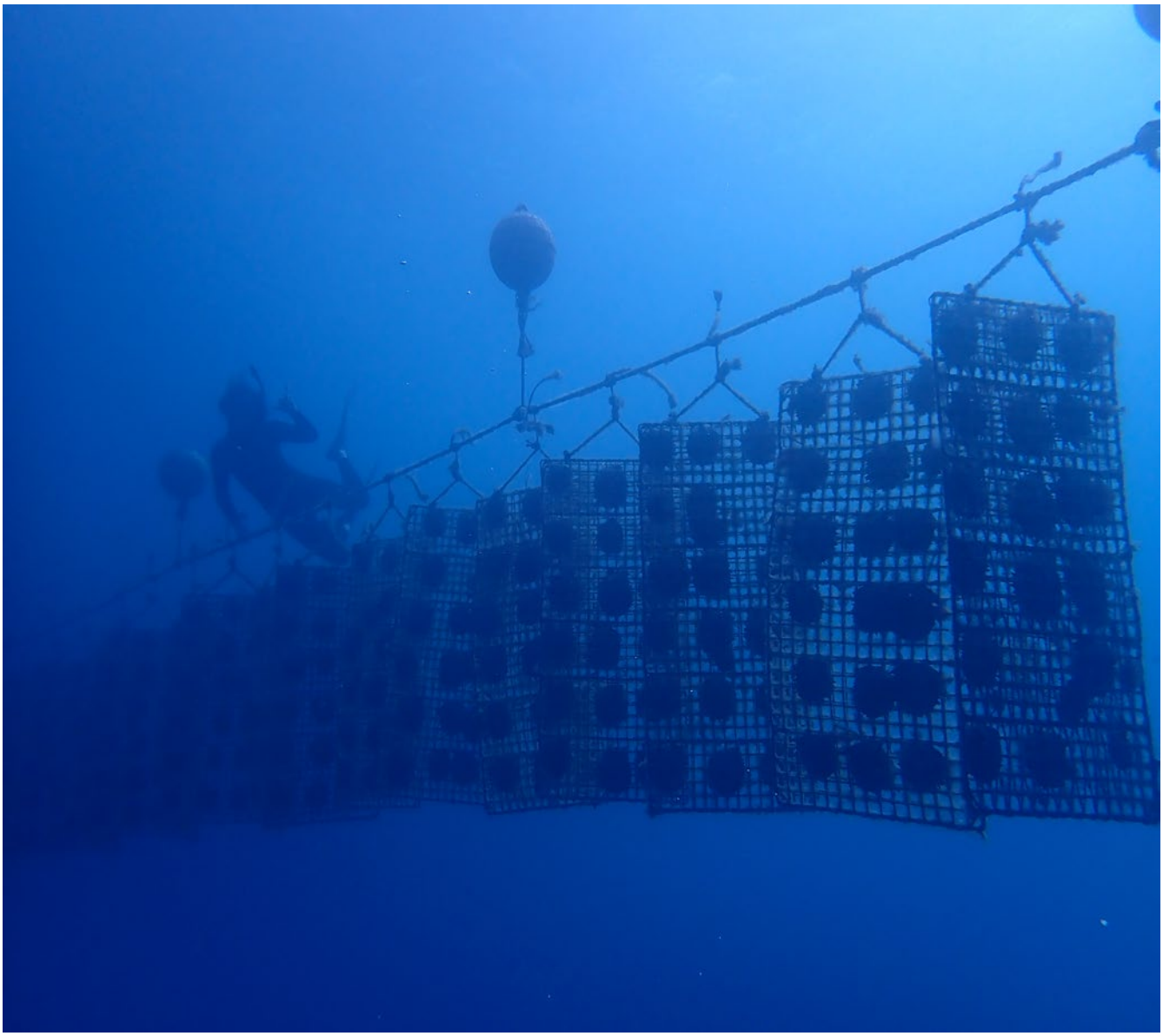


Figure 38 : Sacs en grillage plastique de type «kangurou» (ou kangaroo) remplis d'huîtres perlière (photo V. Liao)

76 Les fermes produisent des déchets ménagers et des déchets d'exploitations (sacs d'aliments vides, emballage de conditionnement des crevettes, encombrants).

PRESSION / MENACE DANS LE MILIEU MARIN (EXTERIEUR A L'EXPLOITATION)				
Operation / Equipement / Evenement	Consequences possibles	Pression/menace associee Sur le milieu naturel	Compartiment Concerne	Risque crevetticulture en cage
Création / agrandissement d'une exploitation	Augmentation de la population humaine	Pression de pêche par le personnel de l'exploitation	Biote	faible
Recyclage (réutilisation) des installations	Transfert des épibiontes ou parasites	Contamination en épibionte et parasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Gène pour les grands animaux (mammifères notamment)	Eloignement ou accident	Biote	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Modification de la courantologie	Diminution du renouvellement des eaux Altération du transport de l'oxygène : Anoxie/Hypoxie	Sédiment / Eau	faible
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Ragage des installations sur les pinacles	Diminution du recouvrement corallien	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Bruit, nuisance sonore	Désertion des mammifères et tortues ?	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Presence d'embarcations et hélices	Collisions avec des animaux : tortues, mammifères	Biote	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en hydrocarbures	Eau	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en hydrocarbures	Sédiment	faible
Utilisation d'embarcations motorisées	Utilisation d'hydrocarbures (carburants et lubrifiants)	Contamination en métaux lourds ?	Sédiment	faible
Utilisation de corps-morts en béton	Détérioration des corps-morts	Contamination chimique	Sédiment / Eau / Biote	faible
Nettoyage des installations en mer	Apport de matière organique localisée	Modification/anoxie du substrat	Sédiment	faible
Utilisation d'un groupe électrogène	Utilisation d'hydrocarbure	Contamination chimique	Eau	faible
Présence d'animaux élevés	Augmentation du nombre d'individus en élevage	Dépassement de la capacité trophique de la zone	Eau	Moyen
Présence d'animaux élevés	Rejet de feces et sédimentation	Baisse de la qualité de l'eau : augmentation de la turbidité, baisse de la luminosité, augmentation de la concentration en matière organique dans l'eau, diminution de la concentration en O2, mortalité des espèces, bloom algal, virus, bactéries Modification/anoxie du sédiments	Sédiment / Eau	Moyen
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Concentration de poissons (DCP), modification des populations de poissons	Biote	Moyen
Nettoyage des installations en mer	Concentration de matière organique localisée	Eutrophisation	Eau	Moyen
Constructions sur pinacle (karena)	Destruction physique du substrat corallien	Diminution du recouvrement corallienn	Biote	Moyen
Constructions sur pinacle (karena)	Diminution de la luminosité sur le substrat	Altération du recouvrement corallienn	Biote	Moyen
Présence de sanitaires (sans cuve) dans les installations	Rejets d'eau usées noires (matières organiques, hormones, médicaments, sels minéraux, sulfates, phosphates, urée, acides aminés, vitamines, acide urique, produits dangereux)	Enrichissement et contamination	Sédiment / Eau / Biote	fort
Déplacement d'animaux élevés	Transfert des épibiontes ou macroparasites	Contamination en épibionte et macroparasites (anémone, éponge, etc.)	Biote	fort
Déplacement d'animaux élevés	Propagation de pathogènes	Contamination par pathogènes	Biote	fort
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Altération des paysages	Altération des paysages aériens et sous-marins	Milieu	fort
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Libération de plastique dans le milieu	Contamination en Micro-plastique et nano-plastique	Sédiment / Eau	fort
Présence d'installation en mer (cordage, structure, bouées, etc.)	Libération de plastique dans le milieu	Macro-déchets	Miliieu	fort
Nettoyage des installations en mer	Présence de support d'algues supplémentaire dans le milieu	Apparition de la Ciguatera	Biote	Mal connu

Tableau 14 : Pressions et menaces associées à l'activité perlicole.

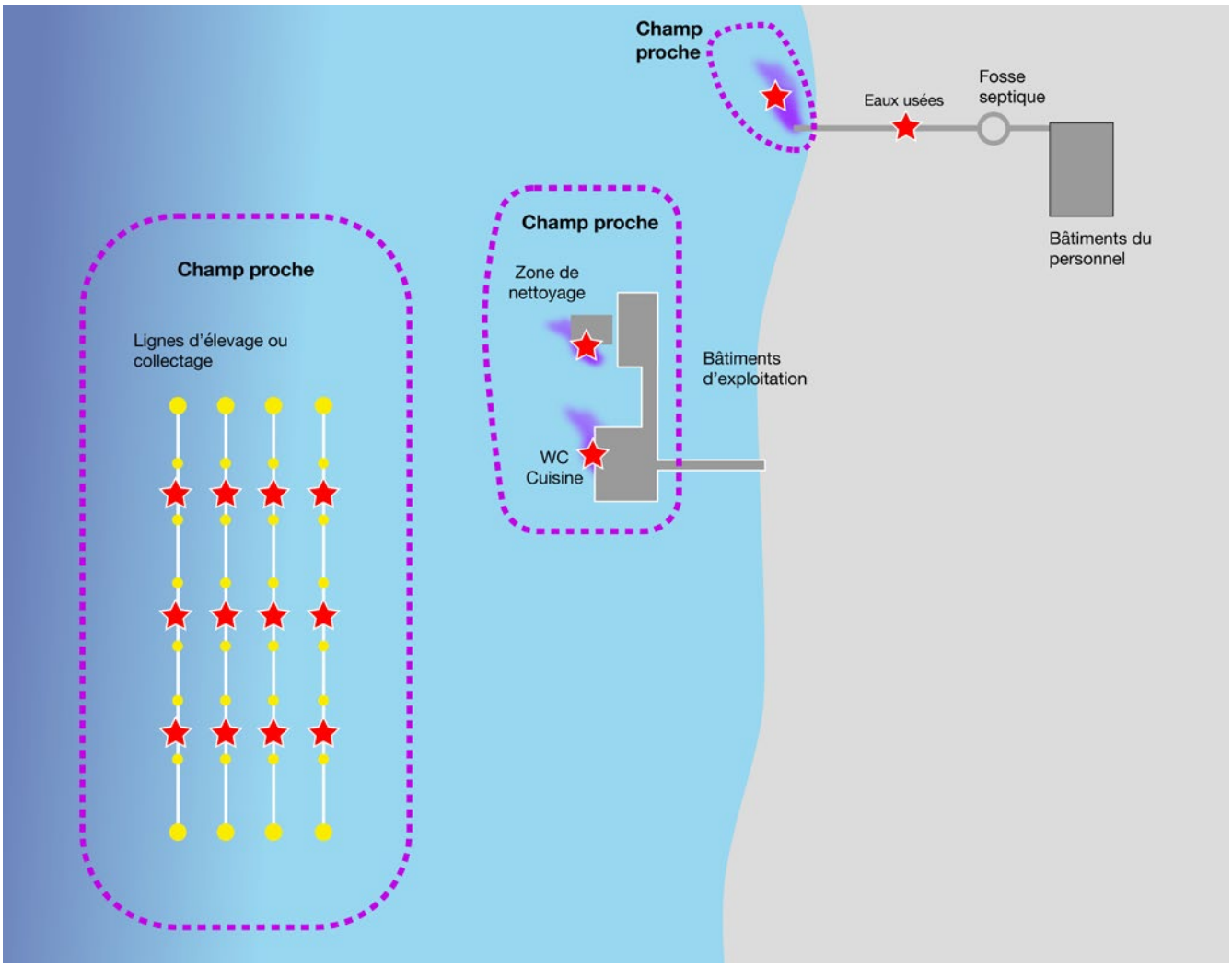


Figure 39 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une ferme perlicole avec à gauche les lignes d'élevage ou de collectage, au milieu les fares sur pilotis, et en haut à droite les éventuels bâtiments à terre ; les étoiles rouges représentent des exemples de lieux de contrôle.

7.3.5.1.2 Résumé des points de vigilance

Les autorités compétentes devront identifier les points de contrôle nécessaires :

- émissaire de rejets des eaux usées des bâtiments destinés au personnel, à terre ou en mer (WC, cuisine) ;
- les zones de nettoyage du matériel (cordages, bouées, grillages, kangaroos, *etc.*) ;
- les éventuelles autres zones de rejets directs ;

Les éléments listés ci-dessus pourraient avantageusement être ajouté à la liste des ICPE.

Si les installations sont nettoyées sans être déplacées, les autorités compétentes pourront placer des points de contrôle à l'aplomb des lignes d'élevage, dans la colonne d'eau et sur le fond.

En quelques mots...

Les pressions principales exercées par la perliculture sont les suivantes : l'apport en matière organique, de façon diffuse par les fèces et pseudo-fèces, et en des points plus localisés par les nettoyages des installations ; le prélèvement de plancton dans la colonne d'eau (et les déséquilibres éventuels induits) ; ainsi que l'apport en plastique (macro déchets, micro et nano plastiques). A ces pressions s'ajoutent les risques principaux : transferts d'épibiontes et pathogènes.

VIII - PARAMÈTRES UTILES POUR LES SUIVIS ET VALEURS DE RÉFÉRENCES DISPONIBLES

Dans cette partie, les paramètres cités dans la littérature sont passés en revue afin d'en évaluer la pertinence dans le cadre des suivis aquacoles et perlicoles en Polynésie française. Seuls les paramètres utiles font ensuite l'objet d'un développement. Ils sont évalués en matière de faisabilité techniques et financières, mais ces caractéristiques dépendent du contexte, de l'activité concernées, de la méthode utilisée, des objectifs poursuivis et des mutualisations possibles avec d'autres relevés et doivent donc être considérées avec tout le recul nécessaire et au cas par cas.

Le choix final des paramètres d'un suivi se fait en fonction des objectifs poursuivis, des enjeux ainsi que des moyens humains et matériels disponibles. La liste présentée dans cette partie ne peut donc pas être considérée comme obligatoire ou absolue. Il s'agit de paramètres potentiellement utilisables et dont l'utilisation est précisée en partie 8. En partie 10, des exemples concrets sont proposés, avec les plans d'échantillonnage (positionnement des stations et fréquence).

8.1 REVUE CRITIQUE GÉNÉRALE

Les Tableau 15 et Tableau 16 listent les paramètres (trouvés dans la littérature) les plus communément cités dans le cadre de suivis environnementaux en contexte aquacole et perlicole. Ces tableaux sont une compilation de plusieurs références bibliographiques éditées par le Groupe Banque Mondiale (IFC[77]), la *Global Aquaculture Alliance* (GAA) et ses *Best Aquaculture Practices* (BAP) ou encore *l'Aquaculture Stewardship Council* (ASC), mais aussi d'informations tirées d'une compilation éditée par la FAO[78]. Des références australiennes et néo-zélandaises (ANZECC et ARMCANZ) ont également servi à la construction de ce tableau, ainsi qu'un rapport de bureau d'étude en Nouvelle-Calédonie.

L'occurrence de chacun des paramètres est précisée. **Cette occurrence n'est pas un critère absolu à utiliser pour identifier les meilleurs paramètres pour la Polynésie française ; il est en effet biaisé par l'échantillonnage bibliographique utilisé ; par ailleurs, l'occurrence d'un paramètre n'en fait pas forcément sa pertinence[79]**. La pertinence sera donc réinterrogée dans cette partie.

Compte-tenu des pressions/menaces et impacts potentiels sur le milieu marin identifiés en partie 7, les paramètres prioritaires à évaluer concernent différents éléments du système aquacole/perlicole :

le milieu naturel :

- la colonne d'eau,
- le sédiment,
- les biocénoses benthiques (de fonds durs et de fonds meubles),
- les populations de poissons ;

l'exploitation :

- l'effluent,
- les animaux élevés,
- les installations et les pratiques zootechniques.

Remarques générales :

1- pour tous les suivis hydrologiques, sédimentologiques, biologiques, la mesure doit être accompagnée d'un certain nombre d'informations (date, heure, position géographique, nom de l'observateur, état de la mer, météo) afin de pouvoir l'interpréter, la qualifier et la tracer *a posteriori* ;

2- pour caractériser l'état initial, des collectes d'informations non décrites ci-après sont fortement conseillées : **bathymétrie et courantologie** notamment ; une modélisation 3D peut largement aider à positionner les stations de suivi.

77 La Société financière internationale (anciennement SFI) s'appelle désormais IFC ; c'est une organisation du Groupe de la Banque mondiale consacrée au secteur privé.

78 Cette compilation FAO passe en revue les pratiques de nombreux pays : Afrique, Océan indien : Égypte, Madagascar, Nigeria, Afrique du Sud, Tanzanie, Ouganda, ile de la Réunion ; Asie-Pacifique : Australie, Nouvelle-Zélande, Chine, Inde, Indonésie, Japon, Malaisie, Philippines, Thaïlande, Vietnam, Nouvelle-Calédonie ; Europe et Amérique du Nord : République Tchèque, France, Grèce, Hongrie, Italie, Hollande, Pologne, Espagne, Turquie, Royaume-Uni, Irlande, Canada et Etats-Unis d'Amérique ; Amérique latine : Brésil, Colombie, Cuba, Équateur, Honduras, Mexique, Chili.

79 Il est à noter que les références bibliographiques ne sont pas toujours très claires quant aux objectifs poursuivis au regard des paramètres listés et certains paramètres semblent parfois être proposés plutôt dans un objectif zootechnique que dans un objectif de suivis des pressions et impacts de l'activité sur le milieu marin.

		Institutions, groupements professionnels, ONG			Australie/Tasmanie									Inde	Japon	Thaïlande	Vietnam	France	Grèce	Pologne	USA		Canada		Chili	Irlande	Norvège			Royaume Uni	Nouvelle-Calédonie
		IFC Banque mondiale	Global Aquaculture Alliance	Aquaculture Stewership Council	Thon		Saumon		Moule		Exemple : autorisation d'exploitation (cages) en Tasmanie (2017)	Aquaculture Management and Environmental Monitoring Program (Western Australia 2013)		aquaculture terrestre	cages	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre et effluent d'aquarium	Cages	Ex : aquaculture terrestre (New Brunswick, 2013)	Cages	Cages					Ex : Exploitation (Cages) Touho (2018)
	occurrence	effluent	effluent d'aquaculture terrestre	Cages	effluent d'aquaculture terrestre	Bivalves (en mer)	Etat initial	Suivi régulier	Etat initial	Suivi régulier	Etat initial	Suivi régulier	Suivi régulier	Etat initial	Suivi régulier									Suivi régulier			champ proche et intermédiaire	champs intermédiaire et lointain		Suivi régulier
Hydrologie globale																															
Courantologie	5							x		x			x								x				x						
Bathymétrie	5							x		x			x								x				x						
Régime de houle																															
Stratification (profils verticaux)	1																				x										
Taux de renouvellement des eaux	1					x																									
Habitats et biotes																															
Caractérisation des habitats (carte)	3			x				x		x																					
Présence d'espèce envahissante	1										x																				
Multiplication par 20 de l'abondance d'une espèce par rapport au site de référence	1										x																				
Description des impacts potentiels sur la biodiversité	1			x																											
Description des stratégies de protection/remédiation	1			x																											
Mortalité des espèces menacées (liste rouge) dues à l'exploitation	1			x																											
Recensement des accidents avec les espèces menacées	1			x																											
Suivis des habitats et espèces sensibles	1			x																											
Suivi des récifs																															
suivi des récifs à proximité	1																														x
suivi des poissons de récifs	1																														x
Suivi benthique des fonds meubles																															
suivi des poissons sous les cages	1																														x
Faune benthique	6										x							x				x			x	x					
Faune endogée	5								x		x										x	x							x		
Faune épigée	1																					x									
Macrobenthos	1														x																
Indice benthique	1			x																											
Qualité des sédiments																															
MESURES																															
Redox	14			x				x	x	x		x			x				x			x	x	x		x	x	x		x	
pH	3												x												x		x				
Granulométrie	10							x	x	x								x			x	x	x		x			x	x		
Porosité	0																														
Matière organique	8							x	x	x								x					x		x			x	x		
Carbone organique	4												x									x							x	x	
Azote Kjeldhal	1																					x									
Azote total	1																														x
Phosphore total	2												x																		x
Carbone total	1																														x
Isotopes stables	2							x		x																					
Sulfures	7					x						x			x							x	x						x	x	
Métaux													x																		
Cuivre	3			x																		x							x		
Zinc	1																					x									
Antibiotiques et médicaments utilisés	2											x										x									
INSPECTION VISUELLE																															
enregistrement vidéo	10					x		x	x	x	x											x	x		x	x			x		
Présence de bactéries liées au sulfures	6										x										x	x	x			x			x		
présence de granulés	5										x											x	x			x			x		
présence de fecès	3																					x	x			x					
bulles de gaz	5										x											x				x	x	x			
Epaisseur de la couche de boue	2																										x	x			
Couleurs des sédiments	5																						x			x	x	x	x		
Odeur des sédiments	2																										x	x			
Consistance des sédiments	1																												x		
Texture des sédiments	1																												x		
macro-algues	1																									x					
Accumulation de coquille au fond	1										x																				
Accumulation de fooling sur les structures	1										x																				

Tableau 15 : Occurrence des paramètres de suivi en contexte aquacole les plus communément cités dans la littérature.

		Institutions, groupements professionnels, ONG			Australie/Tasmanie									Inde	Japon	Thaïlande	Vietnam	France	Grèce	Pologne	USA		Canada		Chili	Irlande	Norvège		Royaume Uni	Nouvelle-Calédonie
		IFC Banque mondiale	Global Aquaculture Alliance	Aquaculture Stewership Council	Thon		Saumon		Moule		Exemple : autorisation d'exploitation (cages) en Tasmanie (2017)	Aquaculture Management and Environmental Monitoring Program (Western Australia 2013)		aquaculture terrestre	cages	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre	aquaculture terrestre et effluent d'aquarium	Cages	Cages	Ex : aquaculture terrestre (New Brunswick, 2013)	Cages	Cages				Ex : Exploitation (Cages) Touho (2018)
	occurrence	effluent	effluent d'aquaculture terrestre	Cages	effluent d'aquaculture terrestre	Bivalves (en mer)	Etat initial	Suivi régulier	Etat initial	Suivi régulier	Etat initial	Suivi régulier	Suivi régulier	Etat initial	Suivi régulier													champ proche et intermédiaire	champs intermédiaire et lointain		Suivi régulier
Qualité de l'eau																															
MES	16	x	x	x			x	x	x	x	x	x				x		x			x	x									
Azote total	13	x					x	x	x	x	x	x	x			x					x	x									x
Phosphore total	14	x		x			x	x	x	x	x	x	x			x					x	x									x
Charge d'Azote (en tonnes) sur 12 mois	1				x																										
Charge de Phosphore (en tonnes) sur 12 mois	1				x																										
DBO	7	x	x													x	x		x	x	x										
DCO	4	x	x														x			x											
Oxygène dissous	19			x	x		x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x		x	x			x				x		
Saturation en oxygène	1																					x									
Salinité	5												x								x	x				x				x	
Température	13	x					x	x	x	x	x	x	x								x	x	x		x					x	
pH	14	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x		x	x				x		x								
Free Amonia (NH3-N)	13		x	x									x		x		x	x	x		x		x			x				x	x
NO2-N	7												x				x		x		x		x			x				x	
NO3-N	11			x									x				x	x	x	x	x		x			x				x	x
PO4-P	7		x										x					x		x						x				x	x
Chlorophylle	5												x		x								x							x	x
H2S (Sulfure d'hydrogène)	2															x	x														
Substances dangereuses	0																														
Hydrocarbures	5	x											x				x				x									x	
Antibiotiques	2	x																												x	
Médicaments	1																													x	
Chlorures	1		x																												
vibrio spp	1																x														
algues	1																x														
pesticides	1																x														
biocides	1			x																											
métaux lourds	2																x	x													
Cuivre	1																													x	
turbidité	2												x								x										
Transparence (Secchi)	2																					x		x							
Bactéries : coliformes totaux	2	x																			x										
Bactéries : coliformes fécaux	2																	x			x										
Bactéries : entérocoques	1																				x										
Données zootechniques																															
Débit	1																				x										
Maladie/mortalité sur animaux élevés	2			x							x																				
composition et traçabilité des aliments	1			x																											
quantité de nourriture	1																	x													
production	1																	x													
accident	1																	x													
Liste des traitements antibiotiques	1			x																											

Tableau 16 : occurrence des paramètres de suivi en contexte aquacole les plus communément cités dans la littérature (suite).

8.1.1 Qualité de l'eau

Parmi les paramètres les plus cités pour le suivi de la qualité de l'eau, on trouve notamment :

- l'oxygène dissous,
- les MES (matières en suspension),
- l'azote total,
- le phosphore total,
- la température,
- le pH et
- l'ammonium.

Puis, un peu moins souvent :

- les nitrates,
- les orthophosphates,
- les nitrites et
- la DBO (demande biologique en oxygène).

Ce choix de paramètres semble logique compte tenu des pressions exercées par l'activité aquacole. L'oxygène dissous est probablement le paramètre le plus suivi par les exploitants eux-mêmes, notamment en aquaculture nourrie. Lorsque le taux d'oxygène dissous chute, le nourrissage et la survie des animaux élevés sont compromis. Les MES sont potentiellement le résultat direct de l'activité (fèces et restes d'aliments produisent des MES) mais le plancton est aussi comptabilisé en MES. L'azote et le phosphore total permettent de caractériser la matière organique présente dans l'eau.

La température est une variable indispensable pour une interprétation correcte des autres paramètres mesurés. La température apparaît aussi comme un paramètre à suivre dans l'effluent des exploitations terrestres, avec des objectifs en matière d'écart maximum entre l'eau entrant sur le site d'exploitation et l'effluent (écart conseillé inférieur à 3°C ; (IFC - Groupe Banque Mondiale 2007)).

Pour un effluent, le pH est évidemment un paramètre important qui doit rester dans une fourchette de valeur acceptable (6-9 ; (IFC - Groupe Banque Mondiale 2007)).

La température et le pH ont un impact sur les équilibres entre les formes non ionisée et ionisée de l'ammoniac ($NH3$ / $NH4^+$).

Les nutriments (ammonium, nitrites, nitrates, orthophosphates) restent assez souvent cités. Pourtant, ils sont assez complexes à interpréter dans la mesure où ils sont à la base de la production phytoplanctonique ; produits en permanence par l'activité aquacole, mais consommés immédiatement par la production de phytoplancton[81]. La DBO n'a d'intérêt que si les masses d'eau des zones étudiées sont peu renouvelées et dans un cadre d'aquaculture nourrie.

Des paramètres assez peu cités sont par ailleurs intéressants :

- Dans le cadre strict d'un suivi environnemental centré sur l'évaluation des pressions et impacts causés par l'activité aquacole et perlicole, le suivi de la chlorophylle *a* dans les champs proche et moyen ne revêt pas forcément un grand intérêt. Suivre la chlorophylle *a* dans les masses d'eau côtière de type récifal, par exemple, est même indiqué comme non pertinent compte tenu de la variabilité liée au broutage du phytoplancton de la part des organismes benthiques, à l'intensité lumineuse très forte, à la faible profondeur entrainant une dégradation de la chlorophylle *a*, à la remise en suspension du microphytobenthos (lors des épisodes de forte houle) (Ifremer 2018a). Malgré tout, dans un contexte d'aquaculture nourrie et pour des masses d'eau peu renouvelées (baies fermées ou atolls peu ouverts), la chlorophylle *a* peut être un paramètre intéressant pour le suivi, notamment avec un échantillonnage exutoire-large pour explorer la possibilité d'un gradient (Thomas et al. 2010). En contexte perlicole il reste intéressant, notamment dans la compréhension des équilibres dynamiques phytoplanctoniques, mais complexe à interpréter ; dans les atolls fermés, si la fréquence de collecte est suffisante, il pourra aider à caractériser l'état de la masse d'eau.
- La turbidité n'est pas un paramètre spécifique de l'aquaculture. Il est assez peu cité dans la littérature, notamment car bon nombre de références concernent l'effluent (d'aquaculture terrestre) et que la mesure de la turbidité n'a de sens que dans la colonne d'eau. Couplée à la mesure de l'oxygène dissous (sur sonde CTD[81]), cette mesure permet d'évaluer la stratification éventuelle des masses d'eau sous influence de l'exploitation. En l'absence de sonde CTD, et

80 La mesure des concentrations en azote total et Phosphore total reste plus simple à interpréter (comm. pers. T. Laugier et J.-M. Fernandez).

81 Sonde mesurant la conductivité, la température et la profondeur (Conductivity Temperature Depth) ; la mesure automatisée de l'oxygène dissous reste très délicate avec de fortes possibilités de dérive (comm. pers. B. Beliaeff).

dans les profondeurs suffisantes, l'évaluation de la profondeur de Secchi est une alternative très bon marché.

- Les recherches de contaminants sont parfois effectuées. Elles portent sur différentes substances : métaux[82], hydrocarbures, médicaments (antibiotiques), biocides. Elles sont toujours adaptées aux usages, ce qui est logique étant donnés les coûts associés à ces analyses.
- Enfin, les suivis bactériologiques sont parfois cités, pas nécessairement pour évaluer les apports dans le milieu naturel mais plutôt pour des raisons sanitaires en rapport avec la qualité des produits vendus. C'est tout l'objet du réseau REMI (REseau de contrôle MIcrobiologique) de l'Ifremer par exemple. Ils sont aussi cités en raison des problèmes posés par l'usage des antibiotiques ayant provoqué l'apparition de résistance sur des bactéries pathogène susceptibles de contaminer les stocks naturels (IFC - Groupe Banque Mondiale 2007).

Les flux peuvent être calculés de différentes façons. Pour une exploitation à terre par exemple, on pourra multiplier la concentration[83] (dans l'effluent) par le débit (de l'effluent) pour en déduire la charge (quotidienne, hebdomadaire, mensuelle, annuelle, *etc.*) ; évidemment, le calcul peut être assez complexe lorsque les débits et les concentrations varient ; pour une exploitation en pleine eau, on pourra estimer les flux par exemple en multipliant le nombre d'individus élevés par la quantité émise théoriquement par un individu. Les calculs de flux font donc parfois appel à des connaissances sur la biologie des espèces élevées.

Les suivis hydrologiques sont très contraignants. Pour être utiles, ils doivent bénéficier de fréquences de relevés intenses (un relevé par semaine par exemple). Ces fréquences sont le plus souvent incompatibles avec le type d'activité concernée par ce guide et les moyens disponibles en Polynésie française.

Le suivi de flux permet d'appréhender la charge qui pèse sur le milieu récepteur. Il représente mieux la réalité qu'une simple mesure de concentration ponctuelle, notamment lorsqu'on est capable d'établir un lien entre la charge et l'état du milieu.

8.1.2 Qualité des sédiments

Dans la littérature toujours, parmi les paramètres les plus cités pour le suivi de la qualité des sédiments, on trouve notamment :

- le Redox (potentiels d'oxydo-réduction),
- la granulométrie,
- la matière organique,
- les sulfures.

Toutes ces mesures permettent d'évaluer les modifications des sédiments ; l'apport de particules fines issues de l'activité aquacole provoque un changement granulométrique du sédiment et son enrichissement en matière organique ; la dégradation de la matière organique provoquant potentiellement un abaissement du potentiel Redox et une émission de sulfures.

Dans des conditions de production fortes de sulfures, des bactéries comme *Beggiatoa spp.* peuvent se développer, provoquant l'apparition, sur le substrat, de filaments formant des tapis très reconnaissables et visibles à l'œil nu (notamment en mangrove) (Jean et al. 2015).

Dans des conditions de dégradations extrêmes de la qualité des sédiments, la formation de bulles de gaz peut être observée.

L'odeur et la couleur des sédiments de surface donnent aussi une information sur leur degré de dégradation.

Plus généralement, **une inspection visuelle** en plongée (avec enregistrement vidéo) est particulièrement recommandée. Même si elle nécessite

82 Notamment le cuivre, car il est utilisé dans le maillage de certains filets ; et les métaux issus des bassins de terre.
83 Le calcul des flux n'est donc pas toujours indépendant de la mesure de concentration.



Figure 40 : Beggiatoa spp en mangrove (Source : Jean et al. 2015).

l'intervention de plongeurs, elle a l'avantage de permettre la détection d'anomalies sur le substrat et d'inspecter les installations immergées (pour en vérifier l'état).

La mesure du Redox oblige au prélèvement d'une carotte sédimentaire en plongée. Prélèvement et inspection visuelle pourront donc être potentiellement mutualisés.

La concentration en zinc peut aussi être mesurée. Elle servira alors de traceur pour détecter la dispersion des aliments (qui contiennent du zinc[84]).

8.1.3 Biote

Le suivi du biote sous influence aquacole est assez peu documenté dans la littérature. Les suivis les plus souvent cités concernent la faune benthique (épigée et endogée) des fonds meubles. Ils nécessitent de grandes compétences (taxonomiques notamment) lorsque les inventaires exhaustifs de la faune et la flore sont effectués au niveau spécifique. Le caractère intégrateur de la faune endogée en fait évidemment un indicateur particulièrement intéressant. Plusieurs indices biotiques sont construits sur ces relevés, notamment l'indice AMBI (*Azti Marine Biotic Index*). Sur les fonds meubles, le développement de la flore épigée (macroalgues notamment) révèle généralement un enrichissement du milieu. Ce suivi, assez simple à réaliser lorsque la profondeur n'est pas trop importante (inférieure à 30 m), a donc tout son intérêt.

Sur les fonds durs récifaux situés dans la zone d'influence (champ proche, voire moyen), des relevés de type LIT (*Line Intercept transect*) ou PIT (Point Intercept Transect), MSA (*Middle Scale Approach*), des suivis photographiques de coraux et des recensements du macrobenthos et des poissons peuvent compléter les relevés physicochimiques caractérisant les pressions. Tout comme les relevés concernant la faune des fonds meubles, ces relevés sur les récifs se situent clairement dans le cadre de la caractérisation des impacts et ne sont pas spécifiques des apports aquacoles. Intégrés dans un BACIPS (voir partie 6.2), ils peuvent néanmoins révéler un déséquilibre. Leur coût est souvent élevé compte tenu des moyens et des compétences nécessaires (sur le terrain et pour le traitement des données), mais ils peuvent constituer des réponses aux attentes des comités de gestion.

8.1.4 Informations zootechniques

Enfin, et elles sont essentielles, **les informations zootechniques** permettent de mieux interpréter les résultats obtenus. Production, quantité de nourriture distribuée, composition des aliments, incident (pollution), mortalité des animaux élevés, débit de l'effluent, *etc.* sont autant d'informations utiles. Lorsque l'on dispose de tables de correspondance charge-paramètres, les données zootechniques de production peuvent remplacer avantageusement des relevés physico-chimiques onéreux et parfois difficile à interpréter.

8.1.5 Paramètres utiles

Les paramètres jugés utiles pour la Polynésie française sont listés dans le Tableau 17. Ils sont décrits plus en détails dans les parties 8.2, 8.3, 8.4, et 8.5.

84 Ce qui ne serait pas le cas des aliments « bio » (comm. pers. T. Laugier).

COMPARTIMENT	MÉTHODE	PARAMÈTRE	PRIORITÉS			
			AQUACULTURE EN CAGES	AQUACULTURE TERRESTRE	PERLICULTURE INDIVIDUELLE	PERLICULTURE (APPROCHE ZONALE)
Fonds meubles	En plongée	Recouvrement de la flore épigée par enregistrement de vidéo verticale sur transect (macroalgues et phanérogames)	👍👍	👍👍	👍👍	👍👍
		Recouvrement de la flore épigée par estimation type *Middle Scale Approach* (MSA) (macroalgues et phanérogames)	👍👍	👍👍	👍👍	👍👍
		Observations visuelles : accumulation de cadavre ou de matière organique	👍👍👍		👍👍👍	👍👍👍
		Observations visuelles : aspect des sédiments de surface (zone colorée)	👍👍👍	👍👍👍	👍👍👍	👍👍👍
		Observations visuelles : présence de macro-algues	👍👍👍	👍👍👍	👍👍👍	👍👍👍
		Observations visuelles : présence d'espèces envahissantes			👍👍👍	👍👍👍
		Observations visuelles : présence de déchets en plastique			👍👍👍	👍👍👍
		Observations visuelles : présence de bactéries liées aux sulfures	👍👍👍	👍👍👍	👍	
	Prélèvement avec benne	Matière organique	👍👍👍	👍👍👍	👍	👍
		Couleur et odeur des sédiments de la couche de surface	👍👍👍	👍👍👍	👍👍	👍
		Faune endogée de fonds meubles	👍👍	👍👍	👍	👍
		Granulométrie	👍👍	👍👍	👍	👍
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)	👍👍👍	👍👍👍	👍👍	👍
		Redox	👍	👍	👍	👍
Fonds durs	En plongée	Recouvrement de la flore/faune épigée par enregistrement de vidéo verticale sur transect (macroalgues) sur les récifs	👍	👍	👍	👍
		Recouvrement de la flore/faune épigée par estimation type LIT/PIT sur transect sur les récifs	👍	👍	👍	👍
Eau	Prélèvement d'eau (filet manta)	Concentration en plastique			👍	👍👍👍
	Prélèvement d'eau ou d'effluent	MES	👍	👍👍👍		
		Azote total		👍👍👍		
		Phosphore total		👍👍👍		
		pH		👍👍		
		Température		👍👍		
	Prélèvements d'eau (tournants)	Populations phytoplanctoniques				👍👍👍
	Profils verticaux	Chlorophylle a	👍	👍		👍
		Oxygène dissous	👍	👍		👍
		Température		👍		👍
		Turbidité		👍		👍
Installations	En plongée	Populations de poissons autour des installations par enregistrement vidéo (et analyse)	👍		👍	
		Populations de poissons autour des installations par UVC (point fixe)	👍		👍	
		Enregistrement vidéo des installations	👍		👍👍👍	

Tableau 17 : liste des principaux paramètres jugés pertinents pour les suivis en contexte aquacole/ perlicole en Polynésie française.

Dans la suite du document, les faisabilités technique et financières de chaque paramètre/ méthode sont évaluées de façon qualitative et notées avec le code couleur suivant :

🟢	Bonne
🟠	Moyenne
🔴	Mauvaise
🟤	Très mauvaise

8.2 FONDS MEUBLES

8.2.1 Interventions en plongée

8.2.1.1 Observations visuelles rapides

Les observations visuelles en plongée permettent une inspection rapide et peu coûteuse des zones de fonds meubles sous influence de l'exploitation. Les plongeurs (toujours en binôme) focalisent leur attention sur des éléments définis à l'avance. Selon le contexte :

- L'accumulation de cadavres ou de matière organique
- L'aspect des sédiments de surface (présence de zones colorées par exemple)
- La présence de macro-algues
- La présence d'espèces envahissantes
- La présence de déchets en plastique
- La présence de bactéries liées aux sulfures.

Contrairement à des relevés de type LIT ou des comptages visuels de poissons, ces observations visuelles ne sont pas « standardisées ». Pour autant, elles nécessitent une bonne organisation de la part des plongeurs impliqués pour obtenir des observations de qualité. Il s'agit ici d'établir un rapport de présence/absence éventuellement complété par des photographies[85] (ou si besoin, des séquences vidéos), schémas et

85 Les fichiers informatiques de photographies et vidéo devront être renommés avec le nom de lieu, la station, la date.

autres informations qualitatives et quantitatives. Ces observations visuelles rapides peuvent déclencher des suivis plus précis (estimation de recouvrement en algues sur transects, prélèvement de sédiments, *etc.*), mais elles devront déjà faire l'objet de relevés de terrain organisés. Les plongeurs devront visiter tous les lieux définis à l'avance sur le plan d'échantillonnage et éventuellement élargir leur inspection s'ils observent des anomalies. Ils devront consigner leurs observations sur des fiches de plongées immergeables, préparées à l'avance.

Toutes les fiches doivent évidemment comporter les informations essentielles suivantes : date et heure de la plongée, nom de la station, coordonnées GPS, profondeur, nom de l'observateur, estimation de la surface inspectée autour du point GPS (rayon du cercle ou dimension longueur/largeur de la zone inspectée).

- Pour l'accumulation de cadavres ou de matière organique : estimation de la surface (m^2), description de l'accumulation (localisée, diffuse, en patch, *etc.*), estimation de l'épaisseur, composition de cette accumulation (cadavres d'animaux élevés, *biofouling*, granulés, *etc.*), cause la plus probable, état de dégradation, évolution estimée par rapport à la précédente visite, *etc.*
- Pour l'aspect des sédiments de surface : l'observateur pourra noter l'éventuelle présence de zones sur lesquelles les sédiments de surface ont une couleur différente du reste de la zone (couleur sombre typique des sédiments anoxiques), avec couleurs (sur un nuancier à concevoir), estimation de la surface (m^2), description des formes observées (localisée, diffuse, en patch, *etc.*), cause la plus probable, évolution estimée par rapport à la précédente visite, *etc.*
- Pour les macro-algues : sur les fonds meubles, les macro-algues peuvent se développer à l'état dérivant ou plus ou moins envasées, mais aussi sur les corps-morts, les cordages tombés au fond, *etc.* ; l'observateur pourra évaluer la superficie, l'évolution estimée par rapport à la précédente visite, consigner les espèces concernées (s'il les connaît ; ou faire un prélèvement pour identification s'il ne les connaît pas).
- Pour les bactéries liées aux sulfures : les bactéries *Beggiatoa sp.* forment des tapis de filaments blancs visibles à l'œil nu ; l'observateur pourra consigner la superficie, l'évolution estimée par rapport à la précédente visite, *etc.*
- La présence d'espèces envahissantes : l'observateur pourra consigner l'espèce concernée, la superficie occupée, l'évolution estimée par rapport à la précédente visite, *etc.* ;
- La présence de déchets en plastique : l'observateur pourra consigner la présence/absence de macro-déchets (nature, quantité estimée, source la plus probable) et éventuellement la présence de micro-plastiques (si visible dans le sédiment), l'évolution estimée par rapport à la précédente visite, *etc.*

Les éventuels supports photographiques réalisés doivent être parfaitement archivés et leur traçabilité doit être parfaite :

- Dans le nom du fichier informatique : lieu, station, date, auteur
- Sur la photo : lieu, station, date, auteur.

L'utilisation d'un bâton métré (blanc et noir) permettant d'évaluer la taille des objets photographiés et de gérer la balance des blancs est conseillée.

Grille de lecture (exemple)

Même si les conclusions sont établies « à dire d'expert » (car les relevés ne sont pas standardisés), elles peuvent déclencher des actions de gestion, notamment la mise en place de relevés plus précis. Quelques autres exemples d'actions de gestion (venant en réponse à des observations) sont listés ci-dessous :

- Constatation d'accumulation de cadavres d'animaux élevés ou de matière organique issue du nettoyage du *biofouling* → demande de changement de méthode (nettoyage à terre par exemple).
- Changement d'aspect des sédiments de surface significatif par rapport à la station de référence → enquête et demande de changement de méthode (optimisation du nourrissage, changement des méthodes de nettoyage, diminution des densités, *etc.*).
- Développement de macro-algues avec une différence significative entre stations impactées et station de référence) → enquête et demande de changement de méthode (optimisation du nourrissage, changement des méthodes de nettoyage, diminution des densités, *etc.*).
- Développement de bactéries liées aux sulfures → enquête et demande de changement de méthode (optimisation du nourrissage, changement des méthodes de nettoyage, diminution des densités, *etc.*).
- Présence d'espèces envahissantes → enquête.
- Accumulation de déchets en plastique → mise en demeure de nettoyage ; sensibilisation aux bonnes pratiques ; informations sur les nouveaux matériaux utilisables.

Moyens techniques nécessaires

Une embarcation pouvant accueillir 4 personnes (2 plongeurs + 1 plongeur de sécurité en surface + 1 pilote), et l'ensemble du matériel de relevé de terrain.

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟠	🟠	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🔴	🔴	🟢	🟢

8.2.1.2 Relevés vidéo sur fonds meubles

Les relevés vidéos sont réalisés afin de constituer une archive d'images de la zone concernée. Archive qui peut, le cas échéant, être analysée et aboutir à des estimations de recouvrement en algues et phanérogames par exemple[86]. Afin de réduire les coûts, les analyses ne sont pas nécessairement réalisées. Lorsque le milieu théoriquement impacté ne subit aucune dérive observable, il est en effet bien peu utile de réaliser des analyses d'images, en général très chronophages et donc coûteuses.

Ces enregistrements sont réalisés avec une prise de vue verticale[87], à une distance constante du fond afin d'obtenir des images d'environ 1 m de largeur[88]. Les enregistrements sont réalisés le long de 3 transects de 25 m (fixe[89]). La vitesse de nage doit être assez lente pour que des images d'une qualité suffisante puissent être obtenues à partir de la vidéo (pas de déformation de tramage).

Pour chaque enregistrement, la traçabilité doit être parfaite. Le plongeur en charge de la prise de vue utilise une plaquette sur laquelle il inscrit les informations utiles : lieu (concession), station, date, heure, objet de la vidéo. À chaque début d'enregistrement, il filme la plaquette. Dans le champ de vision des premières images, un bâton métré (blanc et noir), posé sur le substrat, et permettant d'évaluer la taille des objets filmés et de gérer la balance des blancs est indispensable. Une fois archivée, la vidéo devra par ailleurs comporter, sur chacune de ses images, un encart rappelant les métadonnées.

Idéalement, les prises de vue vidéo sont réalisées avec un éclairage d'appoint.

Les analyses d'images peuvent être réalisées avec des logiciels tels que CPCe[90] (Coral Point Count with Excel extensions). Elles seront principalement orientées sur l'évaluation du recouvrement de la flore épigée (macro-algues et phanérogames). Selon les moyens financiers disponibles, entre 5 et 25 quadrats de 1 m x 1 m peuvent être extraits du transect de 25 m pour être analysés. On utilisera la méthode classique des 81 points distribués aléatoirement sur l'image et la formule suivante :

Pourcentage de recouvrement total = 100 x nombre de points sous lesquels on trouve des algues / 81

La même méthode peut être utilisée pour estimer le recouvrement du fond en macro-déchets plastiques. Les enregistrements vidéo pourraient aussi servir à dénombrer des organismes identifiés comme indicateurs.

Grille de lecture (exemple)

Les prises de vue vidéo sont mutualisées avec des observations visuelles rapides telles que décrites en partie 8.2.1.1. ; les mesures de gestions sont donc quasi-similaires. En cas de soupçon de dérive entre les stations impactées et la station de référence, l'analyse d'images aidera à quantifier cette évolution.

Si les analyses d'images sont conduites sur le recouvrement algal, on pourra par exemple utiliser la grille de lecture présentée en partie 8.2.1.3 (relevés de type MSA).

Les résultats des analyses pourront eux-mêmes déclencher d'autres actions de gestion : enquête, demande de changement de pratique, sensibilisation de l'exploitant, *etc.*

86 Mais aussi à des estimations du recouvrement en macro-déchets plastiques.
87 Ce paragraphe décrit un exemple de méthode ; d'autres méthodes sont utilisables.
88 Dans les eaux claires et selon la précision du suivi souhaitée (identification d'espèce ou estimation de surface), les vidéos verticales peuvent aussi être réalisées à une distance plus importante du fond, permettant de ce fait d'obtenir des images couvrant une largeur plus importante et donc de couvrir des surfaces beaucoup plus larges.
89 Les transects seront matérialisés avec des fers à bétons et un étiquetage.
90 https://www.andromede-ocean.com/blog/2011/11/29/andromede-presente-cpce-version-coralligene/

Moyens techniques nécessaires

Une embarcation pouvant accueillir 4 personnes (2 plongeurs + 1 plongeur de sécurité en surface + 1 pilote), et l'ensemble du matériel de relevé de terrain.
Système de sauvegarde des archives vidéos.
Logiciel de traitement d'image (CPCe par exemple).

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟠	🟠	🟠	🟠
Autres îles et atolls	🔴	🔴	🟠	🟠

8.2.1.3 Flore épigée sur fonds meubles par relevés MSA

Les relevés MSA (*Middle Scale Approach*) ont l'avantage de permettre une estimation des surfaces de recouvrement sur des zones de grandes dimensions. L'approche est surfacique et sur une échelle moyenne (*Middle Scale*), en comparaison avec des relevés de type PIT par exemple. Le long d'un transect, l'observateur estime le recouvrement sur une échelle semi-quantitative (voir Figure 41), par carrés de 5 m x 5 m. Il peut effectuer un relevé exhaustif, mais, sur fonds meubles, il peut aussi concentrer son attention sur les algues et les phanérogames. La Figure 41 montre un transect de 50 m mais l'estimation peut parfaitement être réalisée sur un transect de 25 m, sur deux bandes parallèles de 5 m de large. L'estimation est donc faite sur 10 carrés de 25 m², soit 250 m².

Les feuilles de terrain pourront donc être adaptées. Il est conseillé d'y faire figurer les catégories.

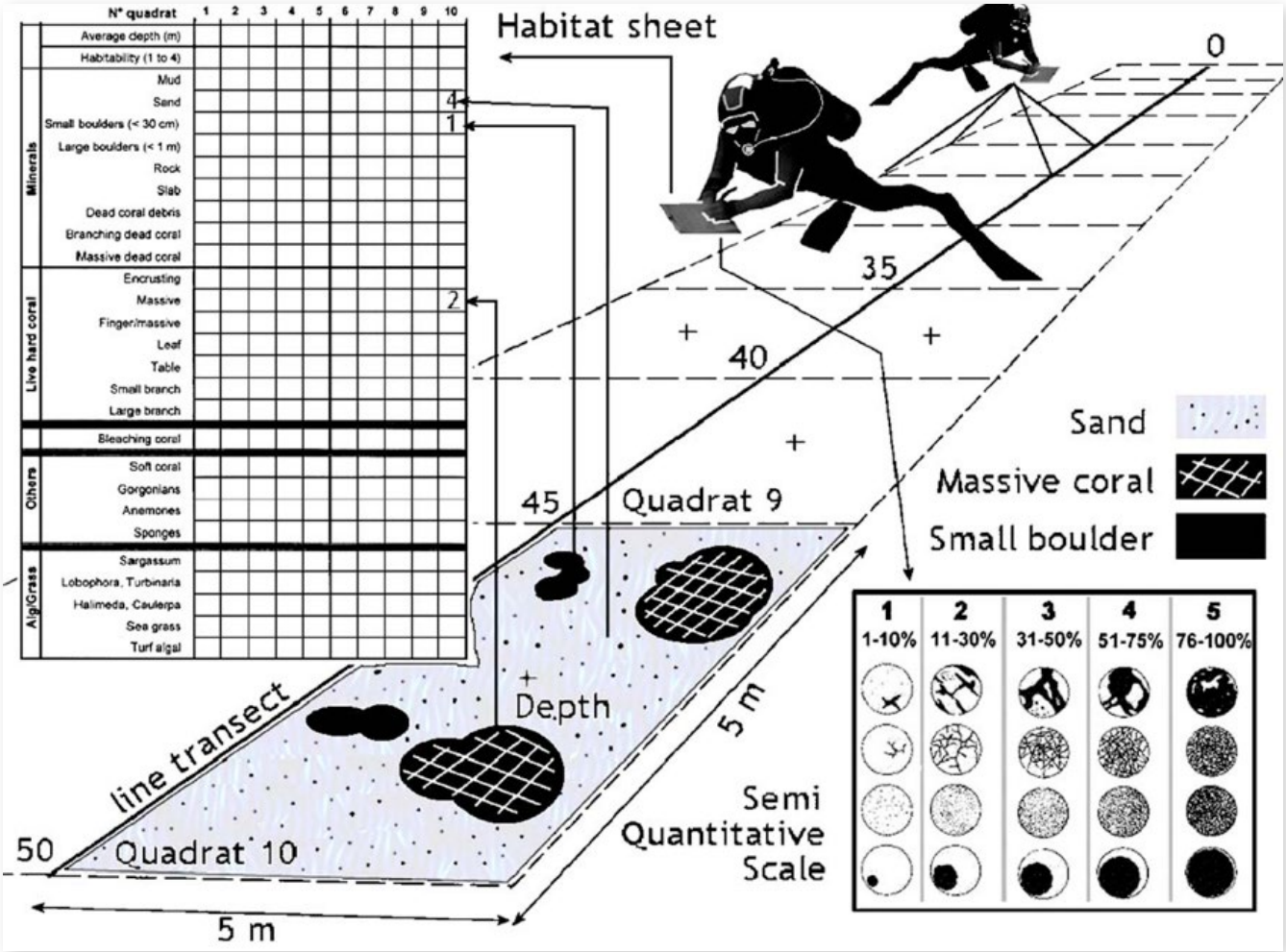


Figure 41 : Relevé de type MSA (Source : Clua et al. 2006).

Grille de lecture (exemple)

Lorsque les différences entre les stations impactées et la station de référence sont significatives, des actions de gestion peuvent être déclenchées : enquête, demande de changement de pratique, sensibilisation de l'exploitant, *etc.*

On peut estimer que l'apparition d'algues sur une station impactée positionnée sur une zone qui est totalement dépourvue de végétation est déjà significative (si la station de référence reste déserte quant à elle). En revanche, sur une zone déjà largement recouverte d'algues, les évolutions peuvent être appréciées par le rapport entre les pourcentages de recouvrement à deux dates différentes (Tableau 18). Dans ce tableau RA2 et RA1 représentent les recouvrements en algues à deux dates différentes (RA2 étant postérieur à RA1). Les seuils présentés devront être ajustés en fonction de la variabilité intrinsèque des données.

	Amélioration	Stabilité	Dégradation
Si RA1 > 0 et E = RA2/RA1	E < 0,9	0,9 ≤ E ≤ 1,1	E > 1,1
Exemples	RA1 = 80% ; RA2 = 60% E = 0,75 RA1 = 10% ; RA2 = 5% E = 0,5 RA1 = 2% ; RA2 = 0% E = 0	RA1 = 50% ; RA2 = 55% E = 1,1 RA1 = 80% ; RA2 = 85% E = 1,06 RA1 = 12% ; RA2 = 11% E = 0,92	RA1 = 60% ; RA2 = 80% E = 1,33 RA1 = 5% ; RA2 = 10% E = 2 RA1 = 1% ; RA2 = 5% E = 5
Si RA1 = 0 et D = RA2-RA1 = RA2	Sans objet	D ≤ 2%	D > 2%
Exemples		RA1 = 0% ; RA2 = 1,5% D = 1,5%	RA1 = 0% ; RA2 = 5% D = 5%

Tableau 18 : Grille de lecture pour l'évolution du recouvrement en macro-algues.

Moyens techniques nécessaires

Une embarcation pouvant accueillir 4 personnes (2 plongeurs + 1 plongeur de sécurité en surface + 1 pilote), et l'ensemble du matériel de relevé de terrain.

Normes et ouvrages de référence

Clua et al (2006). Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat .

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟠	🟠	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🔴	🔴	🟢	🟢

8.2.2 Prélèvements de sédiments avec benne

Les prélèvements avec benne (de type Van Veen) permettent d'accéder au sédiment même à des profondeurs inaccessibles en plongée. Les paramètres ciblés principaux sont les suivants :

- La concentration en matière organique,
- La couleur, l'odeur,
- La faune endogée,
- La granulométrie.

Sur chaque station de fonds meubles, il s'agit de collecter 3 échantillons (3 réplicats) ; chaque échantillon étant issu d'un contenu de benne différent.

Il est important de prendre quelques précautions afin d'éviter les perturbations du contenu de la benne :

- chaque contenu de benne devra faire au moins 5 cm de profondeur ;
- les 2 premiers centimètres de surface constitueront l'échantillon ;

- la surface du contenu de la benne ne devra pas être « perturbé » ; la Figure 42 montre différents cas de résultat obtenus par prélèvement avec benne ;
- la benne ne devra pas déborder ;
- la vitesse de remontée doit être d'environ 30 cm/s ;
- l'eau recouvrant le contenu de la benne devra être siphonnée délicatement (si elle ne s'évacue pas d'elle-même) ;
- une photographie du contenu de la benne sera prise avant la constitution de l'échantillon.

Le contenu de la benne non utilisé devra être rejeté en mer à distance de la station (prévoir un contenant permettant de stocker les contenus successifs de benne).

L'échantillon est prélevé dans la benne avec une seringue en plastique de gros calibre. Les échantillons sont stockés dans des sacs plastiques (de type zip-lock) ou dans des contenants en verre. Pour les analyses différées (matière organique, granulométrie, isotope, zinc), les échantillons sont conservés au frais dès leur prélèvement puis congelés et placés dans l'obscurité. Chaque échantillon doit être étiqueté afin de garantir sa parfaite traçabilité.

Moyens techniques nécessaires

Une embarcation d'environ 7 m, équipé d'un treuil hydraulique, une benne Van Veen, une prise d'eau de mer permettant de tamiser les échantillons (faune endogée), tamis, matériel de conditionnement, appareil photo, feuilles de relevés de terrain adaptées.

8.2.2.1 Faune endogée

Le suivi de la faune endogée est classiquement réalisé en Europe (notamment dans le cadre de la DCE) et au Canada. La faune endogée est considérée comme sensible à l'excès de matière organique du sédiment (Ifremer. 2005). Ces biocénoses sont étudiées depuis des décennies, les protocoles sont bien établis et relativement standardisés (voir norme ISO 16665). Plusieurs indices biotiques existent. Même si les connaissances de la faune endogée des fonds meubles de Polynésie française sont faibles, ce suivi est identifié comme prioritaire dans ce guide. Il implique bien entendu un travail de mise à niveau des connaissances (voir partie 9.1.2) pour aboutir au calcul d'un indice utilisable en Polynésie française.

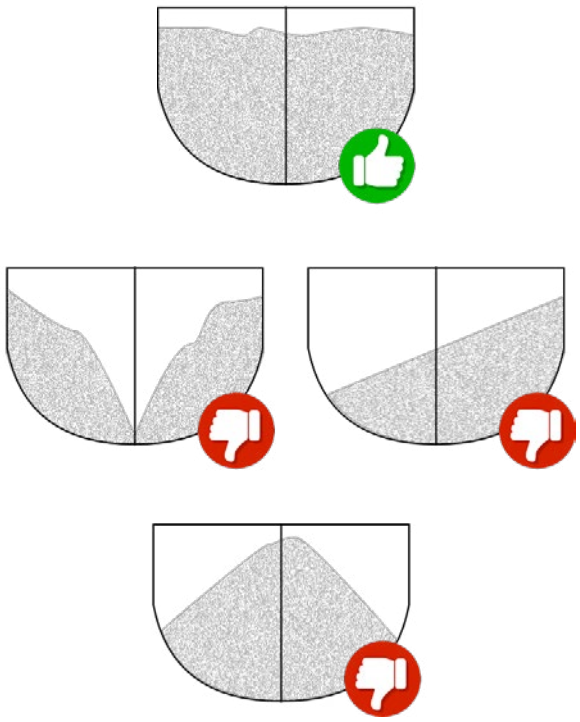


Figure 42 : Différents cas de figure pour les prélèvements de sédiments avec benne (G. Bouvet, d'après Nova Scotia 2020).

Sur chaque station, un triplicat d'échantillon est recommandé. Chaque échantillon doit faire au moins 5 L. On dépasse donc largement la taille des autres échantillons nécessaires pour les autres suivis. C'est tout le contenu de la benne Van Veen qui est utilisé. L'échantillon est tamisé sur une maille de 1 mm. Les refus sont collectés et fixés à l'aide de formaldéhyde neutralisé au Borax pour une concentration finale de 5 %.

Au laboratoire, la macrofaune est triée. Les principaux organismes sont identifiés et classés. Campagne après campagne, une collection de spécimens doit être constituée (et conservée pour l'inter-calibration notamment).

Le calcul d'un coefficient biologique de type AMBI (Borja 2004) est ensuite une solution afin de pouvoir comparer les résultats entre les stations impactées et les stations de référence, et suivre les évolutions campagne après campagne. La macrofaune est alors répartie en 5 groupes écologiques[91] dépendant notamment de la tolérance à l'enrichissement en matière organique du sédiment (Tableau 19).

91 Ce travail a été réalisé à la Réunion (GT DCE Réunion "Benthos de substrats meubles" 2017).

Groupes écologiques	Types d'espèce	Caractéristiques	Groupes trophiques dominants
I	Espèces très sensibles à un enrichissement	Présentes en conditions normales	Carnivores spécialisés, polychètes tubicoles déposivores
II	Espèces indifférentes à un léger enrichissement en matière organique	Toujours présentes, mais en faible densité	Suspensivores, carnivores moins sélectifs, nécrophages
III	Espèces tolérantes à un enrichissement en matière organique	Présentes sous conditions normales, se maintiennent à la suite d'enrichissement en M.O.	Déposivores tubicoles de surface
IV	Espèces opportunistes de second ordre	Se développent sous conditions d'enrichissement en M.O.	Déposivores de subsurface
V	Espèces opportunistes de premier ordre	Prolifèrent dans les sédiments réduits (forts taux de M.O.)	Déposivores

Tableau 19 : Groupes écologiques de polluo-sensibilité (d'après Grall & Glémarec, 1997).

L'abondance relative de chaque groupe écologique par rapport à l'abondance totale dans chaque réplicat est déterminée. L'AMBI[92] (ou Coefficient Benthique) est donné par la formule suivante (Grall & Glémarec, 1997 ; Borja et al, 2000) :

$$AMBI = [(0 \times \% GI) + (1{,}5 \times \% GII) + (3 \times \% GIII) + (4{,}5 \times \% GIV) + (6 \times \% GV)] / 100$$

L'AMBI est donc un coefficient compris entre 0 et 6 ; 6 correspondant à un milieu très dégradé par la matière organique. Il peut être mis en correspondance avec un indice biotique (de 0 à 7) (Tableau 20).

Grille de lecture (exemple)

Lorsque les différences entre les stations impactées et la station de référence sont significatives, des actions de gestion peuvent être déclenchées : enquête, demande de changement de pratique, sensibilisation de l'exploitant, *etc.* Pour l'indice biotique, une grille de lecture est proposée (Tableau 21).

AMBI (CB)	Indice biotique	Groupe écologique dominant	Etat de la communauté benthique
0 – 0,2	0	I	Normal
0,2 – 1,2	1		Appauvrissement
1,2 – 3,3	2	III	Déséquilibré
3,3 – 4,3	3		Vers pollué
4,3 – 5	4	IV (V)	Pollué
5,0 – 5,5	5		Vers très pollué
5,5 – 6,0	6	V	Très pollué
Non calculable	7	Azoïque	Azoïque

Tableau 20 : Correspondance entre coefficient benthique et indice biotique (selon Borja et al, 2000).

92 Dans une optique de classification de type DCE, il peut être amélioré en utilisant la richesse spécifique (c'est-à-dire le nombre d'espèces présentant au moins un individu par station) et l'indice de diversité de Shannon-Weaver afin de réaliser, avec l'ensemble du jeu de données (toutes les stations), une analyse factorielle des correspondances, permettant d'aboutir à un indice compris entre 0 et 1, 0 correspondant à l'état le plus dégradé et au meilleur état.

	Amélioration	Stabilité	Dégradation
Indice biotique	Passage à la classe inférieure	Pas de changement de classe	Passage à la classe supérieure

Tableau 21 : Grille de lecture pour l'évolution de l'indice biotique.

Normes et ouvrage de référence

- ISO 16665:2005/2014 - Qualité de l'eau — Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles (ISO 16665:2014 2014)
- GT DCE Réunion «Benthos de substrats meubles» (2017). Fascicule technique pour la mise en oeuvre du réseau de contrôle de surveillance DCE «Benthos de Substrats Meubles» à La Réunion. RST-DOI/2017-10. https://archimer.ifremer.fr/doc/00168/27913/ (GT DCE Réunion "Benthos de substrats meubles" 2017)
- Muxica et al (2007). Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. (Muxica, Borja, and Bald 2007)

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟢	🟢	🔴	🔴
Autres îles et atolls	🟠	🟠	🔴	🔴

Le frein principal à la mise en place opérationnelle d'un tel suivi est le manque éventuel de compétences en matière de taxonomie des faunes endogées marines de Polynésie française.

8.2.2.2 Taux en matière organique

Le taux en matière organique du sédiment de surface constitue à ce jour un des paramètres les plus pertinents pour les programmes de suivi en contexte aquacole/perlicole, compte-tenu de la pression principale exercée par cette activité : l'apport en matière organique dans le milieu.

L'échantillon est constitué à partir des 2 premiers centimètres de surface du sédiment collecté avec la benne. La matière organique pouvant rapidement se dégrader, idéalement, l'échantillon est congelé. Au laboratoire, l'échantillon est préalablement séché à 60°C pendant 24 à 48H, puis pesé (PSN).

Le sédiment sec est ensuite brûlé à 450°C, puis pesé. Après crémation, l'échantillon est pesé à nouveau pour en déduire le poids de sédiment incinéré **PSIN** (poids total après crémation moins poids du récipient) et donc le taux de matière organique (MO) exprimé en pourcentage :

$$\text{Taux de MO} = (\text{PSN} - \text{PSIN}) / \text{PSN} \times 100$$

Grille de lecture (exemple)

Disposer de valeurs seuils absolues (pouvant déclencher des actions de gestion) concernant le taux de matière organique dans les sédiments n'a pas vraiment de sens[93]. Dans le cadre de chaque suivi, il s'agira de comparer les résultats (et leur évolution) entre les stations impactées et les stations de référence.

Lorsque les différences entre les stations impactées et la station de référence sont significatives, des actions de gestion peuvent être déclenchées : enquête, demande de changement de pratique, sensibilisation de l'exploitant, *etc.*

Les ratios des stations de la zone impactée pourront être comparés avec celui de la zone de référence. En cas de stabilité sur la station de référence, on pourra utiliser la grille de lecture présentée dans le Tableau 22. Les seuils présentés devront être ajustés en fonction de la variabilité intrinsèque des données.

	Amélioration	Stabilité	Dégradation
E = MO(2)/ MO(1)	E < 0,9	0,9 ≤ E ≤ 1,1	E > 1,1

Tableau 22 : Grille de lecture pour l'évolution de la matière organique (MO) entre deux dates (1) et (2).

93 Les taux en matière organique sont en effet très variable selon les zones étudiées.

Normes de référence

GT DCE Réunion «Benthos de substrats meubles» (2017). Fascicule technique pour la mise en oeuvre du réseau de contrôle de surveillance DCE «Benthos de Substrats Meubles» à La Réunion. RST-DOI/2017-10. https://archimer.ifremer.fr/doc/00168/27913/ (GT DCE Réunion "Benthos de substrats meubles" 2017).

Relevés associés à ISO 16665:2005/2014 - Qualité de l'eau — Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles.

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟢	🟢	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🟠	🟠	🟢	🟢

La faisabilité technique et financière d'un tel suivi est correcte. Le frein principal étant la conservation des échantillons avant analyse.

8.2.2.3 Couleur et odeur des sédiments

Lors de l'échantillonnage avec une benne Van Veen, il est possible de qualifier la couleur et l'odeur des sédiments de surface. Quand les sédiments s'enrichissent en matière organique, ils s'assombrissent et une odeur d'œuf pourri (due aux sulfures) s'en dégage.

Pour permettre une évaluation correcte de la couleur, l'observateur pourra utiliser un nuancier. Une autre méthode consiste à prendre une photo de la surface de l'échantillon de sédiments en plaçant sur le sédiment un témoin parfaitement blanc (afin de pouvoir corriger la balance des blancs et la luminosité *a posteriori*) et pouvoir évaluer la couleur moyenne du sédiment avec un logiciel (le résultat peut par exemple être exprimé en couleur RVB).

L'évaluation de l'odeur est plus délicate car largement plus subjective. C'est l'intensité de la composante soufrée qui est évaluée. Une qualification de l'odeur en 4 niveaux fournit déjà une information très intéressante sur la qualité du sédiment (0 : aucune odeur de soufre ; 1 : légère odeur de soufre ; 2 : nette odeur de soufre ; 3 : forte ou très forte odeur de soufre).

La dérive de la couleur ou de l'odeur des échantillons entre les stations impactées et les stations de référence peut déclencher des relevés supplémentaires de paramètres permettant une mesure objective et quantitative de la dérive (concentration en matière organique ou potentiels REDOX par exemple).

Couleur et odeur de la couche de surface peuvent également être déterminées à partir d'un échantillon constitué à l'aide d'un carottier (voir partie 8.2.3.1).

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🟠	🟠

8.2.2.4 Granulométrie

La granulométrie des sédiments de surface renseigne sur les apports en matière organique. Si la matière organique apportée par l'activité aquacole/perlicole dépasse la capacité du milieu à la dégrader, la part des particules fines (<63 µm) augmente. Riches en matière organique, les sédiments fins contiennent une quantité appréciable de sulfures et, présents en quantités, ils favorisent l'apparition de conditions anoxiques.

Les analyses granulométriques sont réalisées sur trois échantillons chacun constitué à partir des 2 cm de sédiments de surface. Les protocoles sont standardisés. Ils nécessitent une série de tamisages successifs. Le pourcentage de la fraction fine (< 63 µm) permettra de comparer les stations dans l'espace et dans le temps. La fraction inférieure à 2 mm peut être analysée par granulométrie laser.

Grille de lecture (exemple)

Disposer de valeurs seuils absolues (pouvant déclencher des actions de gestion) concernant la granulométrie des sédiments n'a pas vraiment de sens. Dans le cadre de chaque suivi, il s'agira de comparer les résultats (et leur évolution) entre les stations impactées et les stations de référence.

Lorsque les différences entre les stations impactées et la station de référence sont

significatives, des actions de gestion peuvent être déclenchées : enquête, demande de changement de pratique, sensibilisation de l'exploitant, *etc.*

Les ratios des stations de la zone impactée pourront être comparés avec celui de la zone de référence. En cas de stabilité sur la station de référence, on pourra utiliser la grille de lecture présentée dans le Tableau 23. Les seuils présentés devront être ajustés en fonction de la variabilité intrinsèque des données.

	Amélioration	Stabilité	Dégradation
E = PF(2) /PF(1)	E < 0,9	0,9 ≤ E ≤ 1,1	E > 1,1

Tableau 23 : Grille de lecture pour l'évolution du pourcentage de particules fines (PF) entre deux dates (1) et (2).

Une autre métrique utilisable est la médiane granulométrique (déterminée avec le logiciel GRADISTAT).

Normes et ouvrages de référence

L'analyse granulométrique doit être réalisée selon la norme NF ISO 13320 sur la fraction inférieure à 2 mm.

GT DCE Réunion «Benthos de substrats meubles» (2017). Fascicule technique pour la mise en oeuvre du réseau de contrôle de surveillance DCE «Benthos de Substrats Meubles» à La Réunion. RST-DOI/2017-10. https://archimer.ifremer.fr/doc/00168/27913/

Review of standards and protocols for seabed habitat mapping (MESH) (Coggan et al. 2007).

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟢	🟢	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🟠	🟠	🟢	🟢

8.2.3 Prélèvement avec carottier

Le prélèvement d'une carotte sédimentaire se fait sur fond meuble avec un carottier en PVC d'environ 4 cm de diamètre, transparent et gradué. Cette opération se fait en plongée. Elle permet d'accéder facilement aux paramètres suivants :

- odeur des sédiments de la couche de surface ;
- aspect de la colonne sédimentaire (épaisseur et couleur des différentes couches) ;
- potentiels REDOX.

Sur chaque station de fonds meubles, il s'agit de collecter 3 échantillons (3 réplicats) ; chaque échantillon étant réalisé d'une carotte sédimentaire.

Il est important de prendre quelques précautions dans la manipulation du carottier :

- chaque contenu de carottier devra faire au moins 20 cm de profondeur ;
- le carottier devra être manipulé avec précaution pour éviter toute perturbation de la couche de surface ; il devra donc être maintenu à la vertical ;
- à son arrivée en surface, avant toute autre mesure, le carottier sera photographié afin de conserver en archive l'aspect visuel de l'échantillon ; une petite plaque (parfaitement blanche) devra elle aussi faire partie de la photographie réalisée (elle permettra de recalculer la balance des blancs sur un logiciel de retouche photographique).

8.2.3.1 Odeur de la couche de surface et aspect des 20 premiers centimètres

Pour chaque colonne sédimentaire, directement dans son carottier, il est possible de déterminer l'odeur de la couche sédimentaire de surface. Par l'ouverture haute du carottier, il s'agira de retirer l'eau, avec une seringue, laissant à l'air libre la couche sédimentaire de surface (se reporter à la partie 8.2.2.3. pour plus de détails sur l'évaluation de l'odeur).

Un carottier transparent permet par ailleurs de visualiser la stratification verticale le long de la colonne sédimentaire ; l'épaisseur et la couleur des couches peuvent être déterminées sur photographie. Les archives photographiques permettront d'établir des évolutions temporelles de la colonne sédimentaire et notamment la proportion occupée par les sédiments les plus sombres (c'est-à-dire les plus riches en matière organique). Un étalonnage photographique (balance des blancs) est donc nécessaire.

La dérive de l'odeur (apparition d'odeur soufrée par exemple) ou des changements d'aspect des 20 premiers centimètres de la colonne sédimentaire (assombrissement par exemple) entre les stations impactées et les stations de référence constituent un moyen d'alerte. En cas de dérive, le gestionnaire pourra déclencher des relevés supplémentaires de paramètres permettant une mesure objective et quantitative de la dérive : concentration en matière organique ou potentiels REDOX par exemple.

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🟠	🟠

8.2.3.2 Potentiels REDOX (et pH)

Le potentiel REDOX traduit l'activité biologique des bactéries du sédiment. Il résulte d'un ensemble de processus physico-chimiques et biologiques qui ont pour origine la dégradation de la matière organique. La matière organique déposée dans les sédiments est dégradée par des bactéries qui consomment de l'oxygène. Si la décomposition bactérienne de la matière organique se fait rapidement et efficacement, les valeurs de REDOX sont peu ou pas négatives. En revanche, si les apports trophiques sont excessifs, une déficience en oxygène peut survenir et un processus anaérobie de dégradation bactérienne succède au processus aérobie, intensifiant le déficit en oxygène et produisant du sulfure d'hydrogène. Le potentiel REDOX atteint alors des valeurs très négatives. Le potentiel REDOX est donc une mesure globale de la dynamique de la dégradation de la matière organique et de son recyclage dans la chaine alimentaire (d'après CREOCEAN 2010).

La mesure du potentiel Redox est intéressante car elle évalue le degré d'anaérobie des sédiments et est informative sur le type de composés réduits plus ou moins toxiques susceptibles d'être relargués. Elle présente l'avantage de ne nécessiter qu'un appareillage simple et peu coûteux. Son inconvénient est qu'elle donne une valeur instantanée mais n'exprime pas la « capacité » du sédiment à consommer de l'oxygène (Della Patrona, Brun, et Herbland 2007).

Les prélèvements destinés à la mesure du potentiel d'oxydo-réduction sont réalisés en plongée, à l'aide d'un carottier en PVC de 4 cm de diamètre et de 20 cm de long, percé de trous de 5 mm de diamètre, tous les 2 cm. Ces trous sont bouchés avec un ruban adhésif avant le prélèvement. Trois carottiers sont prélevés sur chaque station.

Les mesures de potentiel d'oxydoréduction sont effectuées aussitôt après le prélèvement, à l'aide d'un eH-mètre Ponselle (électrode de platine + électrode de référence AgCl2). L'électrode de mesure est placée successivement dans chaque trou après enlèvement progressif du ruban adhésif (Figure 43), tandis que l'électrode de référence est déplacée à mesure dans le trou précédent. Les électrodes de faible diamètre permettent la mesure sans déstructurer le sédiment.

La mesure des potentiels REDOX nécessitant l'intervention de plongeurs pour effectuer les carottages, ce suivi peut être couplé avec d'autres interventions en plongée : inspection visuelle et enregistrement vidéo. Bien entendu, l'épaisseur de la couche anoxique, la couleur et l'odeur des sédiments peuvent également être évaluées sur le même échantillon.

Le potentiel d'oxydo-réduction de surface (ou REDOX à 3 cm) correspond à la moyenne des valeurs mesurées à 2 et 4 cm de profondeur sur les trois carottiers. Le potentiel d'oxydo-réduction en profondeur (ou REDOX à moins de 10 cm) correspond à la moyenne des valeurs mesurées à 10, 12, 14, 16, 18 et 20 cm de profondeur sur les trois carottiers (Creocean 2010).



Figure 43 : Mesure du potentiel REDOX sur une carotte sédimentaire (photo tirée de Creocean 2010).

Moyens techniques et financiers

L'utilisation d'une embarcation (7 à 8 m) est obligatoire ; ainsi qu'une équipe de plongeurs. Un suivi métrologique régulier (calibration, étalonnage, vérification) doit être prévu pour l'eHmètre.

Grille de lecture (exemple)

Quelques valeurs seuils ont été développées par IARE (1998) pour définir des niveaux d'enrichissement du milieu (Creocean 2010) (Tableau 24).

Enrichissement	REDOX (mV) dans le sédiment de surface	REDOX (mV) dans le sédiment profond
Normal	> -35	> -200
Faible	-36 à -70	-201 à -250
Moyen	-71 à -200	-251 à -300
Fort	-201 à -250	-301 à -350
Très fort	< -250	< -351

Tableau 24 : Valeurs seuils de potentiel REDOX définissant des niveaux d'enrichissement du sédiment dans le sédiment de surface (jusqu'à 4 cm) et le sédiment plus profond (jusqu'à 20 cm).

Compte-tenu de l'étalement classique des potentiels REDOX sur environ 200 unités, il est possible de proposer la grille de lecture suivante (Tableau 25). Les évolutions devront évidemment être comparées à celle observée sur la station de référence afin de pouvoir conclure. Les seuils présentés devront être ajustés en fonction de la variabilité intrinsèque des données.

	Amélioration	Stabilité	Dégradation
E = REDOX(2)-REDOX(1)	E < -30	-30 ≤ E ≤ 30	E > 30
Exemples	REDOX2 = -127 ; REDOX1 = -60 E = - 67	REDOX2 = -127 ; REDOX1 = -135 E = 8	REDOX2 = -127 ; REDOX1 = -170 E = + 43

Tableau 25 : Grille de lecture pour l'évolution des REDOX entre deux dates (1) et (2).

Normes et ouvrages de référence

Creocean, 2010. Directive Cadre sur l'Eau : eaux de transitions - Evaluation de la qualité écologique de la macrofaune benthique - Suivi des lagunes méditerranéennes en région Languedoc Roussillon et PACA, campagne 2009.

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟡	🟡	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🔴	🔴	🟢	🟢

8.3 FONDS DURS

Les récifs situés en champs proche ou moyen sont potentiellement menacés par l'activité aquacole/perlicole. L'apport en matière organique et en nutriments favorise le développement algal au détriment des coraux. Il en est de même de la matière en suspension qui empêche les coraux de disposer de toute la lumière nécessaire à leur développement.

Tous les relevés sur fonds durs (récifs) se font en plongée. Ils doivent être faits à intervalle régulier et toujours à la même période de l'année, sur des portions représentatives d'un habitat récifal homogène. Les observateurs doivent être formés à la technique afin d'éviter les sources d'erreurs liées au changement d'opérateur (Hill and Wilkinson 2004).

Dans le cadre de ce guide sont considérés les opérations suivantes :

- recouvrement de la macro-flore/faune benthique par enregistrement de vidéo verticale sur transect, puis analyse d'images ;
- recouvrement de la macro-flore/faune benthique par estimation type LIT/PIT ;

8.3.1 Recouvrement de la macro-flore/faune benthique par vidéo

La méthode à utiliser est similaire à celle décrite en partie 8.2.1.2 (relevés vidéos sur fonds meubles). Sur chacune des stations, 3 transects de 25 mètres[94]

94 Voire 50 m lorsque les constructions coralliennes sont très éparses.

sont filmés de façon verticale, avec un positionnement de la caméra tel que la largeur de l'image capturée fasse 1 mètre. Sans même pratiquer d'analyse d'images, disposer d'une archive vidéo verticale sur les récifs potentiellement impactés par l'activité (et en zone de référence) permet de conserver une mémoire de l'état du milieu.

Les informations pouvant être tirées des analyses d'images concernent toute la macrofaune et flore benthique. Des comptages d'organismes ou des estimations de surface sont possibles. On pourra surveiller notamment l'évolution du recouvrement en turf algal et en macroalgues.

Moyens techniques et financiers

Voir partie 8.2.1.2 (relevés vidéos sur fonds meubles).

Grille de lecture (exemple)

Voir partie 8.2.1.2 (relevés vidéos sur fonds meubles).

Faisabilité en Polynésie française en 2020

Voir partie 8.2.1.2 (relevés vidéos sur fonds meubles).

8.3.2 Recouvrement de la macroflore/faune benthique par LIT/PIT

Les relevés de type PIT/LIT sur récifs permettent d'accéder aux pourcentages de recouvrement des différentes catégories benthiques présentes. La méthode consiste à identifier et mesurer les communautés benthiques/substrats venant intercepter un transect gradué positionné le long du fond sur des longueurs de 10, 20, 25 ou 50 m. L'échantillonnage est réalisé de façon continue sur la longueur complète du transect dans le cas du LIT ou discontinue sur des points choisis à intervalle régulier le long du transect dans le cas du PIT.

La mise en œuvre est simple, avec peu d'équipement requis. L'estimation obtenue est de bonne qualité, si tant est que le nombre de réplicats est suffisant pour appréhender l'hétérogénéité du milieu. La méthode LIT demande plus de temps dans sa mise en œuvre que la méthode PIT.

Grille de lecture (exemple)

Plusieurs paramètres peuvent être utiles dans le cadre des suivis sous influence aquacole/perlicole ; principalement[95] :

- Recouvrement en corail vivant (corail dur) : RCV
- Recouvrement en algues dressées : RAD
- Recouvrement en coraux morts recouverts d'algues filamenteuses RCM.

Pour chaque catégorie (RCV, RAD, RCM), une grille de lecture est proposée en (Tableau 26). Les évolutions devront évidemment être comparées à celle observée sur la station de référence afin de pouvoir conclure. Les seuils présentés devront être ajustés en fonction de la variabilité intrinsèque des données.

RECOUVREMENTS	Amélioration	Stabilité	Dégradation
Si RCV(1) > 0 E_{RCV} = RCV(2)/RCV(1)	E > 1,1	0,9 ≤ E ≤ 1,1	E < 0,9
Si RCV(1) = 0 D_{RCV} = RCV(2)-RCV(1) = RCV(2)	D > 5%	0% ≤ D ≤ 5%	Sans objet
Si RAD(1) > 0 E_{RAD} = RAD(2)/RAD(1)	E < 0,9	0,9 ≤ E ≤ 1,1	E > 1,1
Si RAD(1) = 0 D_{RAD} = RAD(2)-RAD(1) = RAD(2)	Sans objet	0 ≤ D ≤ 5%	D > 5%
Si RCM(1) > 0 E_{RCM} = RCM(2)/RCM(1)	E < 0,9	0,9 ≤ E ≤ 1,1	E > 1,1
Si RCM(1) = 0 D_{RCM} = RCM(2)-RCM(1) = RCM(2)	Sans objet	0 ≤ D ≤ 5%	D > 5%

Tableau 26 : Grille de lecture pour l'évolution des paramètres (RCV : recouvrement en corail vivant / RAD : recouvrement en algues dressées / RCM : recouvrement en corail mort) entre deux dates (1) et (2) ; E = évolution (sous la forme d'un ratio) ; D = évolution (sous la forme d'une différence).

95 Même si *in situ* toutes les catégories sont relevées (turf, macroalgues, corail vivant, corail blanchi, corail mort, débris, roche dure, sable, vase, cyanobactéries, autre (coraux mous, invertébrés, etc), déchets).

Moyens techniques nécessaires

Une embarcation pouvant accueillir 4 personnes (2 plongeurs + 1 plongeur de sécurité en surface + 1 pilote), et l'ensemble du matériel de relevé de terrain.

Normes ou ouvrage de référence

- Hill J. et Wilkinson C., 2004. Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs. Version 1. Livre 123 p
- https://wwz.ifremer.fr/lareunion/content/download/117508/file/Fiche_Benthos_Substrats_Durs.pdf

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟡	🟡	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🔴	🔴	🟢	🟢

8.4 QUALITÉ DE L'EAU

8.4.1 Prélèvement avec un filet : concentration en microplastiques

Pour suivre efficacement la pollution en microplastiques, l'utilisation d'un filet (lesté) avec une ouverture rigide de taille connue (type filet à plancton) est recommandée.

Sur chaque station de suivi, il s'agit d'effectuer des filtrations verticales[96] du fond vers la surface. Le volume d'eau échantillonné est estimé par le calcul (surface de l'ouverture x profondeur de démarrage de la filtration).

Le contenu du filet (qui constitue alors l'échantillon) est récupéré et trié sous binoculaire. Sont considérés comme microplastiques les débris compris entre 5 mm et 335 µm. Une fois isolés, les débris sont comptés et leur masse totale est déterminée.

Grille de lecture (exemple)

Les ratios des stations de la zone impactée pourront être comparés avec celui de la zone de référence. En cas de stabilité sur la station de référence, on pourra utiliser la grille de lecture présentée dans le Tableau 27. Les seuils présentés devront être ajustés en fonction de la variabilité intrinsèque des données.

Distinguer les microplastiques issus de l'activité aquacole (perlicole notamment) des autres microplastiques est techniquement complexe et incompatible en l'état avec un suivi régulier. On pourra noter par ailleurs que la distinction des microplastiques des autres matériaux n'est pas chose facile et n'est pour le moment réalisée qu'en France métropolitaine (comm. pers. V. Liao).

MICRO-PLASTIQUES	Amélioration	Stabilité	Dégradation
Si QMP(1) > 0 EQMP = QMP(2)/QMP(1)	E < 0,9	0,9 ≤ E ≤ 1,1	E > 1,1
Si QMP(1) = 0 et DQMP = QMP(2)-QMP(1) = QMP(2)	Sans objet	D = 0	D > 0

Tableau 27 : Grille de lecture pour l'évolution de la quantité de microplastiques (QMP) entre deux dates (1) et (2).

Moyens techniques nécessaires

Une embarcation pouvant accueillir 2 opérateurs + 1 pilote, et l'ensemble du matériel de relevé de terrain et matériel de conditionnement.

96 En effet, les plastiques n'ont pas tous les mêmes caractéristiques : le PVC coule, le polyéthylène flotte, le polystyrène reste entre deux eaux ; et selon la quantité de biofouling accrochée au débris, il peut également avoir une tendance à couler (comm. pers. G. Le Moullac).

Normes ou ouvrage de référence

- Projet Microlag (https://wwz.ifremer.fr/content/download/135834/file/Microplastiques.pdf
- Matériel : https://www.bionef.fr/produit/filet-pour-microplastique-de-surface/

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟠	🟠	🔴	🔴
Autres îles et atolls	🟠	🟠	🔴	🔴

8.4.2 Prélèvements d'eau (ou d'effluent)

Toutes les activités aquacoles/perlicoles sont susceptibles de produire des MES, des flux d'azote et de phosphore dans le milieu récepteur. Pour autant, ces suivis sont jugés pertinents seulement pour les activités aquacoles avec effluent (fermes crevetticoles, fermes piscicoles, écloseries et complexes aquacoles).

Sur chaque station (du milieu récepteur) les prélèvements d'eau sont faits à 3 profondeurs différentes :

- en subsurface (50 cm sous la surface), avec une perche à main depuis le bateau ;
- à mi-profondeur avec une bouteille Niskin ;
- à 2 mètres au-dessus du fond avec une bouteille Niskin.

Dans les zones de profondeur faible (< 4 m), un seul prélèvement à mi-profondeur suffit.

En l'absence de sonde, la température est déterminée avec un thermomètre électronique directement dans un échantillon soutiré de la bouteille Niskin, immédiatement après le prélèvement. Le pH est quant à lui déterminé au laboratoire.

Pour les effluents d'exploitations terrestres, on s'efforcera, autant que possible, de déterminer un flux annuel de MES, d'azote total et de phosphore total. La détermination des flux s'effectue sur la base des connaissances du débit, ainsi qu'une série de mesure des concentrations à différents moments (fonctionnement normal, vidanges). Les flux de MES pourront être confrontés aux autres résultats obtenus, notamment sur le sédiment. Si les résultats montrent une dérive négative de la qualité des sédiments, le flux annuel de MES devra être corrigé à la baisse.

8.4.2.1 Matière en suspension (MES)

Suivre la matière en suspension (MES[97]) est possible aussi bien dans l'effluent (non dilué) que dans la colonne d'eau (du milieu récepteur). Sur les échantillons, on pourra effectuer les analyses suivantes : matière totale, matière organique, matière minérale.

La mesure est effectuée après prélèvement *in situ* et filtration de l'eau de mer afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à environ 0,5 µm. En cas de présence de débris grossiers, il est conseillé de pré-filtrer les échantillons à travers un filet à plancton de 150-200 µm de maille afin que la mesure ne soit pas altérée. Après rinçage et séchage à l'étuve (entre 70°C et 105°C) jusqu'à obtenir un poids constant (environ 2 heures à 105°C), les filtres sont pesés pour obtenir la concentration en matières en suspension. Le point méthodologique crucial lors de mesures en eaux salées est le rinçage des filtres juste après filtration pour éliminer le sel résiduel (partie utile et aussi couronne pincée) (« Fiche paramètre - Paramètre hydrologique / Transparence » 2018).

Pour leur conservation, les échantillons doivent être placés au froid (ne pas les congeler) et à l'abris de la lumière afin de limiter les modifications d'origine biologique. Pour les eaux peu chargées (< 1 mg/L), un délai de quelques heures peut être toléré entre le prélèvement et la filtration. Pour éviter d'avoir à conserver des grands volumes d'eau, la filtration sera faite de préférence à bord. Les filtres doivent ensuite être séchés dès que possible. Ils se conservent alors indéfiniment. S'ils ne peuvent pas être séchés, les filtres doivent être placés au froid et à l'abri de la lumière (Aminot and Kérouel 2004).

Moyens techniques nécessaires

Pour les prélèvements dans l'effluent (non dilué), selon la configuration du site, la méthode nécessitera éventuellement une perche de prélèvement. Pour les prélèvements en mer, la méthode nécessite une bouteille de type Niskin.

97 (ou TSS : Total Suspended Solids).

Pour les prélèvements en mer, une embarcation de 7-8 m est nécessaire.

Valeurs de référence et grille de lecture

Pour l'effluent des fermes crevetticoles, ainsi que pour les écloseries :

- le Groupe Banque Mondiale (IFC) préconise : 50 mg/L.
- la *Global Aquaculture Alliance* (GAA) préconise : 50 mg/L puis 25 mg/L après 5 ans d'activité.

Pour les fermes piscicoles à terre :

- l'*Aquaculture Stewardship Council* (ASC) préconise : une moyenne ≤ 30 mg/L et des valeurs toujours inférieures à 50.

Les standards trouvés dans la littérature sont les suivants (FAO 2009) :

- Standard pour l'Inde : 100 mg/L
- Standard pour la Thaïlande et le Vietnam : 70 mg/L
- Standard pour la Grèce : 25 mg/L
- Standard pour la Pologne : 20 mg/L

Ouvrages de référence

Aminot et Kérouel, 2004. Hydrologie des écosystèmes marins - Paramètres et analyses. Partie 3/ Chap. XI

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟢	🟢	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🟠	🟠	🟢	🟢

Compte tenu de la nature oligotrophe des eaux de Polynésie française, et dans une optique d'amélioration des pratiques (installation de bassin de décantation, mise en place de système de remédiation), une valeur seuil de 25 mg/L est préconisée pour l'effluent.

8.4.2.2 Phosphore total et azote total

Les concentrations en azote total et en phosphore total dans l'eau (ou l'effluent) sont des paramètres pertinents pour caractériser les apports de l'activité aquacole dans le milieu récepteur. Ces mesures intègrent toutes les formes (dissoutes et particulaires) de ces deux éléments dans la colonne d'eau. Il est assez complexe d'interpréter les concentrations en nutriments : ammonium, nitrites, nitrates, orthophosphates ; elles évoluent très vite en lien avec plusieurs phénomènes : la production de phytoplancton, la dégradation de la matière organique, l'excrétion des animaux d'élevage. Disposer d'une mesure plus globale permet de s'affranchir de cette complexité.

Pour l'azote total et le phosphore total, les échantillons d'eau sont transférés (sans filtration) dans des flacons de verre préalablement traités à 450°C pour éviter toute contamination organique. Ils doivent être stockés au moins un mois au congélateur à -20°C avant analyse. Le principe de l'analyse de l'azote et du phosphore total consiste à réaliser une oxydation chimique des échantillons d'eau de façon à transformer toutes les formes d'azote et de phosphore respectivement en nitrates et orthophosphates. Ces derniers sont ensuite dosés selon les méthodes colorimétriques classiques (Beliaeff, B. et al. 2011).

Moyens techniques et financiers

Pour les prélèvements dans l'effluent (non dilué), selon la configuration du site, la méthode nécessitera éventuellement une perche de prélèvement. Pour les prélèvements en mer, la méthode nécessite une bouteille de type Niskin.

Pour les prélèvements en mer, une embarcation de 7-8 m est nécessaire.

Valeurs de référence et grille de lecture

Pour l'effluent, les valeurs seuils préconisées sont les suivantes :

	Global Aquaculture Alliance (GAA)	IFC-World Bank Group
Azote total	5 mg/L	10 mg/L
Phosphore total	0,5 mg/L	2 mg/L

Compte tenu de la nature oligotrophe des eaux de Polynésie française, et dans une optique d'amélioration des pratiques (mise en place de système de remédiation), les valeurs seuils les plus basses sont préconisées ; azote total : 5 mg/L ; phosphore total : 0,5 mg/L.

Ouvrages de référence

- Aminot A. et Kerouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éditions IFREMER, 336 pp.
- Raimbault P et Salwyk G, 1991. A semi automatic, wet oxidation method for the determination of particulate organic nitrogen collected on filters. Limnology and Oceanography, 36 : 405-408.
- Menzel D.W. et Corwin N., 1965. The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fractions by persulfate oxidation. Limnology and Oceanography, 10 : 280-282.

8.4.3 Prélèvements d'eau pour la compréhension des efflorescences phytoplanctoniques

Dans les atolls susceptibles de subir un *crash* (ou ayant déjà subi un *crash*), il paraît intéressant d'effectuer un suivi particulier des populations phytoplanctoniques. Ce suivi permettrait une meilleure compréhension des phénomènes d'efflorescence.

La méthode préconisée s'appuie sur un échantillonnage en continu. Sur la station échantillonnée, un prélèvement est effectué chaque jour (avec un contenant de 1 L, en sub-surface, fixé à l'éthanol ou au formol) pendant 7 jours consécutifs. Au 8ème jour, si aucune efflorescence n'a été constatée dans le lagon, on vide la bouteille n°1, on la nettoie et on la remplit à nouveau avec un nouvel échantillon ; cette routine continue sans jamais s'arrêter.

Avec ce système, en cas d'efflorescence, on dispose donc d'un historique de 7 échantillons correspondants à 7 jours consécutifs précédents l'efflorescence. Conservés au frais, ils sont alors envoyés au laboratoire pour analyse des populations d'algues phytoplanctoniques présentes.

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	●	●	●	●
Autres îles et atolls	●	●	○	○

Les analyses peuvent être réalisés à l'UPF avec un cytomètre en flux[98].

8.4.4 Profils verticaux avec sonde

Dans le cadre de programme de suivi à grande échelle répondant à des objectifs de détermination de l'état d'une zone (un atoll dans son ensemble, comme décrit dans l'exemple présenté en partie 10.5) ou bien éventuellement pour des suivis additionnels, des profils verticaux peuvent être établis. Ils renseignent sur la stratification des masses d'eaux. Les paramètres jugés pertinents sont les suivants :

- Chlorophylle *a*
- Oxygène dissous
- Turbidité

Ainsi que les indispensables variables de soutien :

- Température
- Salinité

Ces suivis nécessitent l'utilisation d'une sonde CTD. Un suivi métrologique régulier (calibration, étalonnage, vérification) est nécessaire. Pour toutes les mesures ou prélèvements en mer, une embarcation de 7-8 m et un moyen de levage léger est conseillé.

98 L'analyse génétique en barcoding est également une option.

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	●	●	●	●
Autres îles et atolls	●	●	●	●

8.4.4.1 Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un élément vital qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. La concentration de l'oxygène dissous dans l'eau de mer est la résultante de processus physiques (dissolution/saturation passive dépendante de la salinité, de la température et de la pression), chimiques (oxydation/réduction) et biologiques (photosynthèse et respiration). En cas d'eutrophisation d'un milieu, les processus biologiques deviennent prépondérants et interviennent par consommation d'oxygène résultant de processus dits hétérotrophes (respiration) et/ou par production d'oxygène résultant de processus autotrophes (photosynthèse des végétaux) (Beliaeff, B. et al. 2011).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Concentration en oxygène dissous (mg/L)	> 5	3 - 5	2 - 3	1 - 2	< 1

Tableau 28 : valeurs seuils définissant l'état des masses d'eau (Ile de la Réunion).

La mesure de ce paramètre est pertinente essentiellement dans des zones à faible hydrodynamisme puisque l'agitation de la mer induit une augmentation de la concentration en oxygène dissous (des eaux non saturées). Deux paramètres peuvent être mesurés, souvent simultanément et avec le même appareillage :

- la concentration en oxygène dissous (exprimée en mg/L) : la concentration doit être supérieure aux valeurs seuil (hypoxie, anoxie) en-deçà desquelles on observe des conséquences négatives sur la faune (stress physiologique, comportement d'évitement ou de fuite, mortalités) ;
- le pourcentage de saturation en oxygène dissous : il s'agit de l'écart (exprimé en %) entre la concentration en oxygène dissous et la saturation[29] (100 %) ; il renseigne sur le degré de déséquilibre entre la production d'oxygène et sa consommation généralement déterminé par l'état d'eutrophisation d'un milieu.

Valeurs guides

À la Réunion, les valeurs utilisées pour définir l'état des masses d'eau dans le cadre de la DCE sont données dans le Tableau 28.

Dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, des valeurs sont proposées (Tableau 29). Il s'agit de valeurs seuils de concentrations de l'oxygène dissous à partir desquelles des effets sur la faune sont observés. Ces valeurs sont une synthèse issue de la littérature (Pihl et al. 1992 ; Beaupoil et Bornens 1997 ; ERM (Environmental Resources Management) 2000 ; Swedish Environmental Protection Agency 2000 ; Jameson et Kelty 2004). Deux niveaux principaux se distinguent, l'un voisin de 5 et l'autre de 2 mg/L d'oxygène dissous. Au-dessus du premier niveau (5 mg/L), peu ou pas d'effets négatifs sont constatés ; entre les deux niveaux on observe généralement des réactions d'évitement de la faune, et en dessous de 2 mg/L, des mortalités plus ou moins massives sont rapportées. En termes de métrique, il est pertinent de s'assurer que l'occurrence de valeurs en dessous de ces seuils n'est pas trop forte. A titre d'exemple, on pourra retenir la métrique percentile 10, sur la base d'une série annuelle de données hebdomadaires, à comparer à des valeurs seuils (Beliaeff et al. 2011).

	Bon	Médiocre	Mauvais
Concentration en oxygène dissous (mg/L)	> 5	[2 – 5[	< 2

Tableau 29 : valeurs seuils pour l'oxygène dissous (d'après Beliaeff et al. 2011).

Ouvrages de référence

- Norme ISO 5814, Norme ISO 5813.
- Aminot A. et Kerouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éditions IFREMER, 336 pp.
- Norme ISO 4813, 1990. Qualité de l'eau. Dosage de l'oxygène dissous. Méthode électrochimique à la sonde.
- Norme NF EN 25814, 1993. Qualité de l'eau - Dosage de l'oxygène dissous - Méthode électrochimique à la sonde

8.4.4.2 Concentration en chlorophylle *a*

La concentration en chlorophylle *a* (Chl*a*) est un excellent *proxy* de la biomasse phytoplanctonique. Elle est dépendante de nombreux facteurs, entre autres de la concentration en nutriments dans l'eau (effet positif sur la concentration en Chl*a*) et de la filtration réalisée par les organismes présents dans la colonne d'eau et donc les animaux élevés (effet négatif). La Chl*a*, principal pigment photosynthétique des algues planctoniques dans la colonne d'eau, est classiquement utilisée et fournit une bonne indication du statut trophique du milieu. Les hautes valeurs (ponctuelles) de Chl*a* ne représente pas nécessairement un problème ; en revanche leur persistance en est un (Service environnement du Nouveau Brunswick 2013).

La Chl*a* est probablement le paramètre biochimique le plus fréquemment mesuré en océanographie (Aminot and Kérouel 2004). C'est en effet un paramètre clé des études en hydrologie marine car il existe de nombreux liens entre le développement du phytoplancton et les variations de la concentration de plusieurs paramètres (O_2, nutriments, pH, carbone organique particulaire) (Aminot and Kérouel 2004). **Mais il n'est pas forcément pertinent dans tous les contextes aquacoles et compte tenu de l'objectif des suivis**[99].

Dans un contexte opérationnel de suivi des pressions sur le milieu marin, c'est essentiellement dans des masses d'eau peu renouvelées (atoll fermé ou fond de baie) qu'il peut être utile, notamment dans le cadre de programme de suivi à large échelle (voir exemple développé en partie 10.5). Dans le cadre de suivis additionnels, il pourra aussi être utilisé en aquaculture nourrie (détection de gradient).

La méthode classique pour déterminer la concentration en Chl*a* s'appuie sur la fluorimétrie. Toutes les mesures de chlorophylle *a* doivent être accompagnées de mesures de température, salinité et turbidité permettant d'interpréter correctement les valeurs mesurées (Ifremer 2018a).

Valeurs guides

Les concentrations en chlorophylle *a* sont très variables selon la géomorphologie (comm. pers. M. Rodier). Avant de disposer de valeur locale pour le milieu récepteur, plusieurs gammes de valeurs peuvent permettre de se situer.

La grille retenue dans le cadre de la DCE[100] pour La Réunion est celle, plus globale, de l'océan Indien (voir page 30).

Le recours à la télédétection

Il est facile d'imaginer que la télédétection pourrait être un outil utile pour suivre les concentrations en Chla. Mais il existe plusieurs freins :

1- Les valeurs de Chla estimées par télédétection dans les atolls semblent être surestimées par rapport à la réalité ;
2- la taille des pixels n'est pas toujours compatible avec l'échelle de travail considérée.

99 Le suivi de la chlorophylle *a* n'est d'ailleurs préconisé ni par IFC Banque Mondiale, ni par la Global Aquaculture Alliance, ni par l'Aquaculture Stewership Council.

100 À La Réunion, dans le cadre des travaux relatifs à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), un référentiel a été établi afin d'évaluer l'état biologique de la masse d'eau au regard de la biomasse de phytoplancton. La métrique retenue est le percentile 90 de la concentration en chlorophylle *a* (P90), qui permet la prise en compte d'une grande majorité de données, y compris des pics d'abondance, à l'exception des données extrêmes de ces pics. Ce référentiel s'applique aux données mesurées selon un protocole précis défini spécifiquement pour les objectifs de la DCE : percentile 90 de l'ensemble des mesures effectuées au cours d'un plan de gestion (6 ans). Selon les zones géographiques, les grilles de qualité diffèrent. (Ifremer 2018a).

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Chlorophylle *a* (µg/L)	< 0.6	0.6 – 0.9	0.9 – 1.8	1.8 – 3.7	> 3.7

Tableau 30 : Valeurs de concentration en chlorophylle a (DCE La Réunion) (Ifremer 2018a).

Chlorophylle *a* (µg/L)	Bon	Moyen	Mauvais
Fond de baie, littoral	[0.2 – 1.5[	[1.5 – 5.0[	≥ 5.0
Lagon en milieu côtier	[0.1 – 1.0[	[1.0 – 2.0[	≥ 2.0
Proche récif barrière	< 0.3	Upwelling, bloom [0.3 – 0.5[	≥ 0.5

Tableau 31 : Valeurs de référence pour les concentrations en chlorophylle a (d'après comm. pers. R. Arfi, 2010) (Beliaeff et al. 2011).

On trouve également des gammes de valeurs pour la Nouvelle-Calédonie (Tableau 31).

Et enfin, le programme TYPATOLL a fourni en 1990 et 1995 des valeurs de chlorophylle *a* pour plusieurs atolls de Polynésie française (Tableau 32).

Atoll	Moyenne (µg/L)	Min (µg/L)	Max (µg/L)	Nombre de valeurs ayant servi pour les calculs
Haraiki	0,26	0,12	0,34	6
Hikueru	0,12	0,10	0,13	5
Hiti	0,29	0,27	0,32	6
Kauehi	0,16	0,13	0,19	6
Large Hiti	0,11	0,11	0,11	1
Large Kauehi	0,07	0,07	0,08	2
Large Reka Reka	0,05	0,05	0,05	1
Large Taiaro	0,07	0,07	0,07	1
Marokau	0,12	0,10	0,19	5
Nihiru	0,10	0,05	0,13	6
Reka Reka	0,45	0,45	0,45	1
Sud Nihiru	0,05	0,05	0,05	1
Taiaro	0,35	0,21	0,41	6
Takapoto	0,27	0,09	0,79	169
Tekokota	0,02	0,01	0,03	6
Tepoto Sud	0,31	0,23	0,43	6
Tikehau	0,24	0,14	0,47	69

Tableau 32 : Valeurs de concentration en chlorophylle a (à 0,5 m de profondeur) dans le lagon et au large de différents atolls de Polynésie française (d'après les données brutes TYPATOLL 1990 et 1995).

On notera les deux valeurs les plus élevées de lagons fermés de Reka Reka et Taiaro (0,45 et 0,35) et celles parmi les plus basses au large des lagons de Hiti, Kauehi, Reka Reka et Taiaro (0,11 ; 0,07 ; 0,05 et 0,07), rapprochant l'ensemble de ces valeurs à celles proches du récif barrière en Nouvelle-Calédonie.

Ouvrages de référence

- APHA-AWWA-WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005 (21st Edition). Eaton A.D., Clesceri L.S., Rice E.W. & Greenberg A.E. (Eds), Am. Publ. Health Assoc. Washington DC, USA, 1368 pp.
- Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C., Wright S.W., 1997. Phytoplankton pigments in oceanography : guidelines to modern methods. Unesco, Paris, France. Monographs of oceanographic methology, 10, 661pp.
- Lorenzen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations. Limnology and Oceanography, 12, 343-346.
- Strickland J.D.H. et Parsons T.R, 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Board Can., 167, 311pp.
- Welschmeyer N.A., 1994. A method for the determination of Chl*a* in the presence of Chl*b* and pheopigments. Limnology and Oceanography, 39, 1985-1992.

8.4.4.3 Turbidité

La transparence est un descriptif visuel important de la masse d'eau. La turbidité permet d'évaluer la transparence d'une eau par la perte de lumière résultant de sa traversée. Elle est donc fonction de la quantité, de la taille et de la forme des particules en suspension et varie en fonction des apports, de la remise en suspension du sédiment et de la concentration en plancton. Elle permet notamment de renseigner quant à la disponibilité en lumière pour le développement des végétaux aquatiques. Elle conditionne la transmission de l'énergie lumineuse aux producteurs primaires et influe donc sur la production des organismes photosynthétiques (phytoplancton, macroalgues et phanérogames) dans la colonne d'eau et sur le fond. Une turbidité trop importante peut entrainer une asphyxie des coraux ainsi qu'une diminution des producteurs primaires, ayant des conséquences sur toute la chaîne trophique d'un écosystème. Son suivi permet de s'assurer du bon fonctionnement des écosystèmes (Ifremer 2018b).

En contexte aquacole, le suivi de la transparence de l'eau permet d'évaluer l'étendue de la zone d'influence des exploitations.

Lorsque les eaux sont pauvres en MES (voir partie 8.4.2.1), plutôt qu'un suivi des MES, il est préférable de mesurer la turbidité (Ifremer 2018b).

Sur des zones d'apports massifs d'eaux douces (estuaires, par exemple), il sera nécessaire de faire des mesures le long de profils verticaux pour bien différencier la turbidité liée aux apports (en général en surface) de la turbidité des eaux plus profondes et plus salées. Sur des zones profondes, des mesures le long d'un profil vertical sont préférables (*a minima*, trois mesures : sub-surface, mi-profondeur et fond) (Beliaeff, B. et al. 2011).

La turbidité doit être mesurée en même temps que d'autres paramètres physico-chimiques : température, oxygène dissous et salinité.

Valeurs de référence

À La Réunion, dans le cadre des travaux relatifs à la Directive Cadre sur l'Eau, un référentiel (Tableau 33) a été établi afin d'évaluer l'état physico-chimique de la masse d'eau au regard de la turbidité. Ce référentiel s'applique pour des données mesurées selon un protocole bien précis mis en place spécifiquement pour les objectifs de la DCE. La métrique retenue est le percentile 90 de l'ensemble des mesures effectuées en sub-surface, sur les 6 ans d'un plan de gestion et pour des lieux représentatifs de l'état moyen de la masse d'eau. La grille ne contient que 3 classes (Ifremer 2018b).

	Très bon	Bon	Moyen
Percentile 90 de turbidité (NTU)	< 0.6	0.6 – 3	> 3

Tableau 33 : Valeurs de références pour la turbidité à la Réunion (Ifremer 2018b).

Ouvrages de référence :

- NF EN ISO 7027 (mars 2000) : Qualité de l'eau – Détermination de la turbidité

8.4.5 Flux particulaire

Toutes les activités aquacoles/perlicoles sont susceptibles de produire des particules à l'origine d'une potentielle dégradation de la qualité de l'eau. Lorsqu'elles sont plus denses que l'eau, ces particules sédimentent. Le flux particulaire est

particulièrement recommandé pour les études qui nécessitent une évaluation à court-terme des apports (phase de travaux par exemple) mais peut également servir à définir les contours d'une zone d'influence et à calibrer des modèles 3D. La récupération des données en mer peut s'effectuer avec une fréquence comprise entre quelques jours et trois mois selon le contexte et le paramètre suivi. La quantité d'informations recueillies est plus ou moins conséquente selon la méthode utilisée. Par ailleurs, une quantité importante d'analyses chimiques et sédimentologiques peut être envisagée à partir des échantillons collectés (notamment les métaux). Principalement, on pourra effectuer les analyses suivantes : matière totale particulaire, matière organique particulaire.

L'utilisation de pièges à sédiment (simples ou automatisés) n'a de sens que lorsque des rejets existants impliquent un flux vertical particulaire de haut en bas. Lorsque la source du rejet se situe en mer directement sur le substrat, l'évaluation du flux particulaire verticale est impossible. Ce suivi pourra donc être programmé principalement pour les exploitations avec cages en mer (en suivis additionnels ; voir exemple en partie 10.1).

Les deux méthodes principales sont les suivantes : A- le déploiement de pièges à sédiment (tubes) pour obtenir une valeur intégrée sur la durée de l'immersion ; B- l'utilisation de pièges à carrousel programmables pour l'obtention de séries temporelles.

Le positionnement du piège est crucial afin de ne pas perturber les enregistrements par des phénomènes de remise en suspension. C'est le cas notamment lorsque les pièges sont installés dans des zones de faible profondeur. Il est conseillé de les installer à des profondeurs supérieures à 15 mètres (Fichez et al. 2005) et à au moins 1,50 m au-dessus du fond.

Pour les suivis aquacoles, un positionnement des stations « en croix » (avec un axe parallèle au courant principal et l'autre perpendiculaire) ou en gradient côte-large est le plus adapté.

L'utilisation d'un piège séquentiel comporte beaucoup d'intérêt par rapport à l'utilisation de tubes à sédiment. Ces derniers sont moins performants puisqu'ils fournissent une information agrégée sur la durée de leur immersion alors qu'un piège séquentiel peut être paramétré pour fournir des informations avec un pas de temps de donné ; par ailleurs, les tubes à sédiments constituent souvent des abris pour les poissons et les crustacés qui perturbent les mesures.

La densité de flux vertical de particules (F), est alors calculée selon l'expression :

$F = m / (S \times t)$; en $g.m^{-2}.j^{-1}$
avec m = la masse collectée (g)
S = la section du dispositif de collecte (m^2)
t = la durée de la collecte (j).

Les pièges à sédiments nécessitant l'intervention de plongeurs, ces relevés peuvent être avantageusement programmés en même temps que des prélèvements de sédiments (carottier), des enregistrements vidéos ou des inspections visuelles.

Moyens techniques nécessaires

Avec carrousel ou simple tube, la mise en place d'un dispositif d'évaluation du flux vertical particulaire nécessite l'intervention de plongeurs (2 + 1 en surface) et d'une embarcation de 7-8 m.

Au laboratoire, selon le(s) paramètre(s) suivi(s), les moyens nécessaires sont variables. Les autorités compétentes devront donc s'assurer des compétences du prestataire sélectionné pour les analyses.

Ouvrages de référence

- Monaco A., Courp T., Heussner S., Carbonne J., Fowler SW., and Deniaux B., 1990. Seasonality and composition of particulate fluxes during ECOMERGE-1, western Gulf of Lions. *Continental Shelf Research*, Vol 10, pp 959-987.
- Heussner S., Ratti C. and Carbonne J., 1989. The PPS3 time-series sediment trap and the trap sample processing techniques used during the ECOMARGE experiment. *Continental Shelf Research*, Vol 10, pp 943-958.

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟢	🟢	🟡	🟡
Autres îles et atolls	🟡	🟡	🔴	🔴

8.5 ENREGISTREMENT VIDÉO DES INSTALLATIONS

Ces enregistrements ne sont préconisés que dans le cadre des programmes individuels pour les exploitations perlicoles (voir exemple développé en partie 10.4). L'objectif est une vérification rapide de la conformité des installations, afin de détecter d'éventuelles mauvaises pratiques :

- l'existence de plusieurs lignes superposées ;
- des lignes non entretenues et donc potentiellement condamnées à couler ;
- *etc.*

Sur chaque groupe de lignes, et en fonction de leur organisation dans l'espace, un binôme de plongeur intervient. Quand c'est possible, les deux filment les installations en parallèle, chacun sur une ligne. L'enjeu est de repérer le plus rapidement possibles les éventuels problèmes. Idéalement, chaque ligne doit être numérotée afin de se repérer facilement dans la concession. Si les lignes sont suffisamment proches les unes des autres, les enregistrements peuvent se faire de façon transversale ; sinon, les enregistrements se font le long de chaque ligne.

Les enregistrements ne font pas l'objet d'analyse particulière ; en revanche, ils servent de preuve à l'administration pour pouvoir 1- exiger des remises en conformité des installations de la part de l'exploitant et 2- appliquer d'éventuelles sanctions.

L'inspection doit donc faire l'objet d'un rapport illustré recensant les différents problèmes trouvés, avec l'ensemble des métadonnées nécessaires à leur traçabilité.

Faisabilité en Polynésie française en 2020

	Opérations de terrain		Opérations de labo	
	Faisabilité technique	Faisabilité financière	Faisabilité technique	Faisabilité financière
Tahiti	🟢	🟢	🟢	🟢
Autres îles et atolls	🟡	🟡	🟢	🟢



IX - BESOINS EN ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES

L'élaboration de ce guide a permis d'identifier quelques lacunes dans les méthodes, nécessitant d'être comblées par des études dédiées. Elle a permis également d'identifier quelques sujets de recherche, potentiellement utiles pour l'amélioration des suivis environnementaux marins dans un contexte aquacole et perlicole.

9.1 MODÈLES 3D ET CAPACITÉ DE CHARGE DES MILIEUX RÉCEPTEURS

Les suivis environnementaux marins coûtent toujours très cher tant ils mobilisent des moyens importants (sur le terrain et au laboratoire) pour mesurer l'évolution de multiples paramètres.
L'idéal serait d'être en mesure :

- de prévoir les rejets compte-tenu des caractéristiques zootechniques de l'exploitation, de la bathymétrie et de la courantologie de la zone ; rendant inutile le suivi *in situ* ;
- de se prononcer sur la capacité du milieu récepteur à assimiler ces rejets sans en être perturbé ; c'est tout l'objet de l'estimation de la capacité de charge du milieu récepteur.

Le premier point relève de la création de modèles 3D. Des études sont en cours afin d'étudier plusieurs cas typiques, notamment pour l'aquaculture en cage (avec le logiciel DEPOMOD). D'autres modèles 3D mériteraient d'être développés ; entre autres les modèles associés aux situations suivantes :

- exploitation terrestre avec émissaire de rejet en mer,
- concession perlicole individuelle,
- groupe de concessions perlicoles dans un atoll.

Le deuxième point (définition de la capacité de charge) est plus complexe car il fait intervenir des processus multiples et le résoudre représente un grand défi, notamment en raison des conformations très diverses. Mener des suivis environnementaux peut permettre d'élaborer un début de réponse. Dans une situation donnée, lorsque les résultats des suivis montrent que la qualité du milieu récepteur ne dérive pas avec le temps, on peut alors affirmer que la charge est inférieure à la capacité de charge. Lorsqu'au contraire les résultats montrent des dégradations, alors, on peut se risquer à penser que la capacité de charge est dépassée. Déployer des suivis environnementaux permettrait donc, sur la durée, d'identifier des situations pour lesquelles la capacité de charge est atteinte. La multiplicité des expériences permettrait alors de définir, petit à petit, les différentes capacités de charges des lagons de Polynésie accueillant des exploitations aquacoles/perlicoles. Les suivis réguliers mis en place peuvent donc contribuer à la définition des capacités de charges.

9.2 PRÉPARATION DU COEFFICIENT AMBI

L'utilisation du coefficient benthique AMBI (voir partie 8.2.2.1) nécessite une bonne connaissance de la faune endogée des fonds meubles concernés par l'installation d'exploitations aquacoles/perlicoles. Il est en effet nécessaire de pouvoir associer chaque espèce à un des cinq groupes (voir Tableau 19) nécessaires au calcul de l'indice. Le développement de compétences locales en taxonomie de faune endogée des fonds meubles permettrait par ailleurs de s'affranchir d'une dépendance à des analyses effectuées par des taxonomistes hors territoire.

9.3 LISTE D'ESPÈCES ENVAHISSANTES

Afin d'améliorer les inspections visuelles (voir partie 8.2.1.1) et permettre la détection précoce d'espèces envahissantes, il est nécessaire de constituer un catalogue illustré de ces espèces. Ce catalogue serait mis à disposition des opérateurs des différents suivis. Développer un outil de déclaration de détection d'espèces envahissantes pourrait par ailleurs aider à la lutte contre ces mêmes espèces.

9.4 DÉFINIR DES ESPÈCES INDICATRICES

Définir des espèces (épigées de préférences ; donc facilement visibles) indicatrices de l'enrichissement en matière organique permettrait de supprimer ou de simplifier certains suivis (parfois fastidieux et moins spécifiques). Repérer ces espèces lors d'une simple inspection visuelle en plongée (voir partie 8.2.1.1) pourrait par exemple éviter d'avoir recours aux analyses de sédiments.



Figure 44 : Huîtres sauvages dans un lagon perlicole (photo : V. Liao).

9.5 ADN ENVIRONNEMENTAL

Il s'agit certainement d'une des techniques les plus prometteuses afin d'évaluer la biodiversité dans une zone donnée. L'ADN environnemental se détermine par *metabarcoding*. Cette technique permet avec un échantillon et en une seule analyse de déterminer toutes les espèces dont l'ADN est présent dans l'échantillon (tous les organismes vivants, grâce à leur fèces, leur urine ou leur mucus, laissent une trace ADN dans leur environnement). Il est alors possible d'évaluer la biodiversité dans sa globalité :

- les espèces nocturnes ou cachées difficiles à observer ;
- les espèces difficiles à différencier morphologiquement ;
- les espèces halieutiques d'intérêt économique et patrimonial ;
- les espèces invasives et exotiques.

La mise au point et la validation de cette technique devrait permettre de compléter les outils traditionnels des biologistes (souvent fastidieux) et, par simple prélèvement d'eau, de fournir des données complémentaires. Cette technique nécessite cependant d'effectuer des comparaisons avec une base de données dans laquelle les espèces sont enregistrées. Qu'il s'agisse du plancton, du benthos ou des poissons, un énorme travail préparatoire est nécessaire pour que les analyses de l'ADN environnemental puissent révéler toute leur puissance. Au-delà de la dimension méthodologique, il convient de définir des indicateurs spécifiques à l'interprétation des données ADN (richesse spécifique, liste des espèces invasives, liste des espèces indicatrices du changement climatique entre autres).

9.6 SUIVI DES HUÎTRES

Le suivi des huîtres est tentant à bien des égards, notamment pour :

- évaluer la pression exercée par le collectage sur les stocks d'huîtres sauvages ;
- évaluer la pollution en micro- et nanoplastiques dans le milieu ;
- évaluer la qualité de l'eau.

Ces trois objectifs nécessitent la mise en œuvre de méthodes spécifiques (sur le terrain et au laboratoire), impliquant des travaux de recherches conséquents.

Pour le suivi des stocks d'huîtres sauvages, la méthode de terrain à développer devra notamment rendre l'effet observateur le plus faible possible en proposant un protocole d'échantillonnage standardisé permettant d'aboutir à une évaluation fiable du stock.

Utiliser les huîtres (sauvages ou élevées) comme des échantillonneurs du milieu est une opération séduisante, notamment puisque 1- les huîtres ont une activité intense de filtration de l'eau et 2- les huîtres sont présentes en continue dans le milieu. Mais ces raisons évidentes ne doivent pas gommer les difficultés inhérentes à la création d'un indicateur et de sa métrique.

9.7 QUALITÉ DES PERLES COMME PROXY ENVIRONNEMENTAL

Comme l'a montré Gardon et al. (2018), la physiologie des huîtres est affectée par la concentration en microplastiques dans l'eau. La qualité des perles pourrait donc elle aussi dépendre de la qualité de l'eau. La qualité des perles pourrait alors constituer un *proxy* intéressant pour la qualité de l'eau. Il faut malgré tout garder à l'esprit que la qualité des perles dépend d'autres facteurs (météo, événement climatique, qualité du travail de greffe, *etc.*) et que le protocole à développer devra tenir compte de cette complexité.



Figure 45 : Perles de différentes couleurs et au lustre parfait.

X - EXEMPLES DE PROGRAMMES DE SUIVIS ENVIRONNEMENTAUX

Dans cette partie, le lecteur trouvera plusieurs exemples de programmes de suivis environnementaux qui peuvent se distinguer les uns les autres par plusieurs éléments de contextes :

- l'activité aquacole/perlicole pratiquée dans la zone étudiée ;
- l'objectif poursuivi, même si on considère par défaut dans cette partie que les programmes de suivis sont destinés à détecter et évaluer les pressions et menaces d'origine aquacole/perlicole sur le milieu marin ;
- le contexte géomorphologique.

Chaque exemple fait aussi état des souhaits émis par des comités de gestion « imaginaires » ; ces souhaits ont un impact sur les programmes de suivi proposés.

AVERTISSEMENTS :

1- Ces exemples sont FICTIFS. Ils doivent être considérés comme une base de réflexion pour la mise en place de programmes de suivis réels et ne peuvent pas être pris « pour argent comptant ».

2- Cette partie n'apporte aucune précision sur le portage financier des programmes de suivi proposés. La question du portage est évoquée en partie 5 mais ne fait l'objet d'aucun développement particulier dans ce guide.

3- Les programmes de suivis proposés dans cette partie ne sont pas nécessairement exhaustifs au regard de toutes les menaces et pressions associées aux activités présentées (voir partie 7) ; la priorité est mise sur les menaces et pressions les plus justifiées par rapport aux usages aquacoles/perlicoles classiques.

4- Certains suivis physico-chimiques proposés dans cette partie pourront avantageusement être remplacés par des suivis de la charge sur le milieu, dans la mesure où une relation claire entre cette charge et la valeur d'un paramètre physico-chimique pourrait être préalablement établie (utilisation d'abaque charge-paramètre par exemple).

5- Si les résultats d'un programme de suivi montrent une détérioration significative de la qualité de l'environnement et que ce programme est déjà du niveau le plus élevé, l'action de gestion conseillée est une baisse ou un même un arrêt de la production.

10.1 EXPLOITATION AQUACOLE EN MER (PISCICULTURE OU CREVETTICULTURE EN CAGES)

Dans cet exemple fictif, on imagine la situation suivante :

- l'exploitation n'est pas encore en place ;
- elle utilisera des cages flottantes d'environ 8 mètres de diamètre et 6 mètres de profondeur, constituées de filets, amarrées sur le fond par un système de cordage et de corps-morts ;
- les cages seront installées dans le lagon (d'une île haute), dans une zone où les eaux sont correctement renouvelées ;
- la bathymétrie et la courantologie sont connues ; les cages sont à l'aplomb d'une zone plane et sableuse, d'une profondeur d'environ 20-30 m ; dans un rayon de 200 mètres, on trouve des récifs coralliens ;

- l'élevage sera nourri avec des granulés ;
- les cages ne seront pas toutes occupées avec des animaux au même stade de grossissement ;
- l'exploitant disposera d'une plateforme flottante à proximité ; cette plateforme sera fixe ;
- à terre, l'exploitation est composée d'un dock pour le stockage des aliments, le conditionnement des animaux pêchés (chambres froides, zone de lavage), stockage du carburant et du matériel ;
- l'exploitant utilise une petite embarcation motorisée pour les trajets entre les infrastructures terrestres et les cages.

Le comité de gestion souhaite disposer d'une évaluation des pressions et impacts sur le milieu marin causés par l'exploitation. Le comité estime que la priorité concerne les installations en mer (cages et plateforme) ; les installations terrestres ne feront donc pas l'objet d'un suivi. Puisque l'exploitation est installée dans une zone de pêche (de subsistance), le comité a exprimé le besoin particulier de disposer de données initiales concernant les populations de poissons sauvages, les organismes macrobenthiques (faune et flore) situés dans la zone d'influence de la ferme. Le comité de gestion souhaite disposer régulièrement d'informations sur l'évolution de l'état de la zone et construire progressivement des grilles de lecture lui permettant de prendre des décisions de gestion si elles s'avéraient nécessaires.

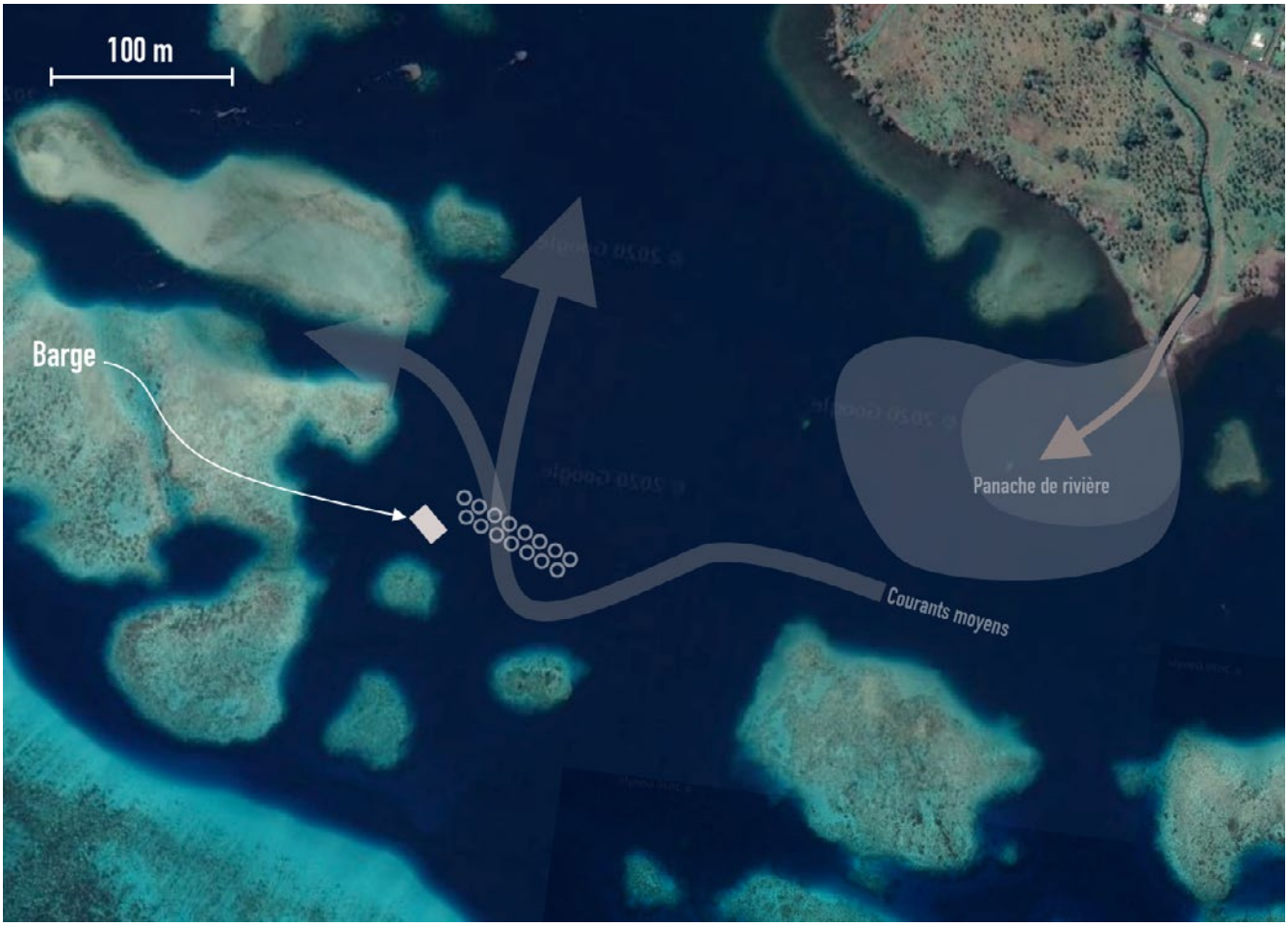


Figure 46 : Situation d'un projet fictif d'exploitation aquacole avec cages en mer.

10.1.1 Programme minimum proposé

Il ne s'agit pas d'un programme d'acquisition de connaissances scientifiques. Le programme répond à un besoin de gestion.

Les données zootechniques nécessaires au programme de suivi sont listées dans le Tableau 34. *A minima*, la fréquence de transmission de ces données aux autorités compétentes sera annuelle.

Données techniques	Besoins
Aliments distribués	Quantité totale annuelle (pour l'exploitation, par cage) (en kg et en kg/m^3) Quantité mensuelle par cage (en kg et en kg/m^3) Références et composition
Occupation des cages	Avec la fréquence la plus resserrée possible, par cage : - nombre d'individus (estimés) - tonnage estimé Durée moyenne d'un élevage par cage Nombre moyen d'élevages par cage
Production annuelle	Réelle : - par cage (en kg et en kg/m^3) - pour l'exploitation Prévue pour les années suivantes : - par cage (en kg et en kg/m^3) - pour l'exploitation
Incidents/accidents survenus sur l'exploitation : casse/perte, échappées, pollution, morbidité/ mortalité	Date, nature de l'événement, raisons connues, mesures prises en réponse à l'événement
Installations	Nombre total de cages Nombre de cages actives (calendrier d'occupation par cage) Caractéristique des cages (dimensions, taille des mailles, présence de liner, changement dans les pratiques de nettoyage)

Tableau 34 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi.

Pour les données environnementales, un programme de type *BACI* est à privilégier. Il s'appuie principalement sur le suivi des fonds meubles et le suivi des fonds durs à proximité. Les suivis de la qualité de l'eau ne sont pas identifiés comme pertinents pour un programme minimal en raison des fortes variabilités potentielles des paramètres hydrologiques (les coûts nécessaires à l'obtention d'une puissance statistique suffisante seraient hors de portée) et des difficultés d'interprétation qui en découlent.

On considère que la courantologie et la bathymétrie sont connues. Dans le cas contraire, elles doivent être réalisées préalablement (même grossièrement) afin 1- de s'assurer que la zone bénéficie d'un renouvellement des eaux suffisant et 2- de positionner correctement les stations de suivi. Si des données de modélisation hydrodynamiques sont disponibles, elles peuvent être utilisées pour placer les stations judicieusement en fonction des courants dominants/minoritaires/ contraires.

Avant de positionner les stations, il convient d'identifier les paramètres à suivre. Le lecteur pourra se reporter à la partie 8 du guide afin d'identifier les différentes pressions et menaces associées à ce type d'exploitation aquacole (et à la partie 9 pour avoir davantage d'explications sur les paramètres choisis pour le suivi).

Dans notre exemple, le programme de suivi est axé sur la principale pression : l'apport en matière organique (les autres pressions ne sont pas considérées comme suffisamment élevées pour impliquer un suivi). L'impact potentiel est une eutrophisation du milieu, avec une dégradation du substrat ; sur les fonds meubles, une modification éventuelle de la flore épigée et de la faune endogée ; sur les récifs, le développement d'algues.

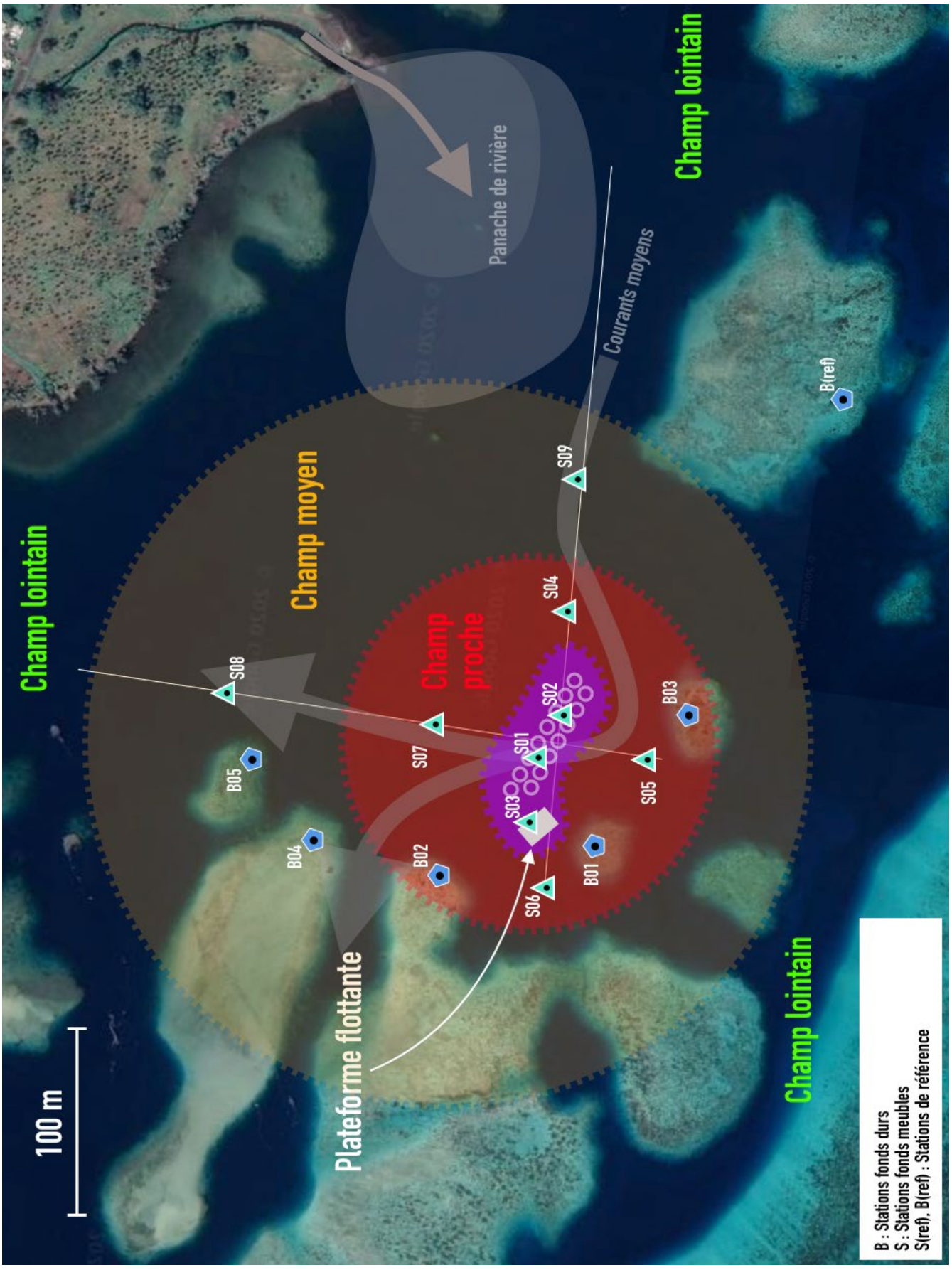


Figure 47 : Plan d'échantillonnage pour l'état initial et un programme de suivi régulier d'une exploitation aquacole avec cages en mer.

Le positionnement des stations se fait à « dire d'expert » et peut être ajusté en fonction des premiers résultats. Sous les installations (cages et plateformes), on pourra positionner plusieurs stations. Un programme de suivi minimal pourra s'appuyer :

- sur une moyenne raisonnable d'une station pour 10 cages (compte-tenu de la taille et de l'espacement des cages) ; ces stations seront situées directement à l'aplomb des cages (ou légèrement décalées, en raison du courant, pour se situer dans la zone probable de plus forte sédimentation) ;
- et d'une station située sous la plateforme.

Selon le tonnage nominal, il sera complété par exemple de 4 stations S dans le champ proche, puis 2 dans le champ moyen, positionnées en fonction de la direction des courants dominants (ou des résultats du modèle hydrologique).

Les récifs situés dans le champ proche et moyen seront suivis avec les stations B.

Le Tableau 35 présente un exemple de programme de suivi (état initial et suivi régulier sur le long terme) décliné selon différentes catégories de tonnage. Le Tableau 36 présente quelques exemples de suivis additionnels répondant à des besoins particuliers.

On distinguera deux phases : l'état initial réalisé idéalement sur deux ans avant installation de l'exploitation ; et le suivi sur le long terme. L'effort d'échantillonnage de l'état initial dépendra du tonnage nominal déclaré.

Sur les fonds meubles, plusieurs techniques sont utilisées pour le suivi des sédiments (→ voir partie 8 pour plus de détails sur les techniques, métriques, valeurs) :

- des enregistrements vidéo verticaux sur transects, réalisés en plongée : 3 transects de 25 mètres[100] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre) ;
- des observations visuelles en plongée, permettant de repérer :
  - d'éventuelles accumulations de cadavres ou de matière organique ;
  - un aspect anormal des sédiments de surface (coloration) ;
  - la présence de macro-algues (sans toutefois obtenir une quantification) ;
  - la présence de bactéries liées aux sulfures ;

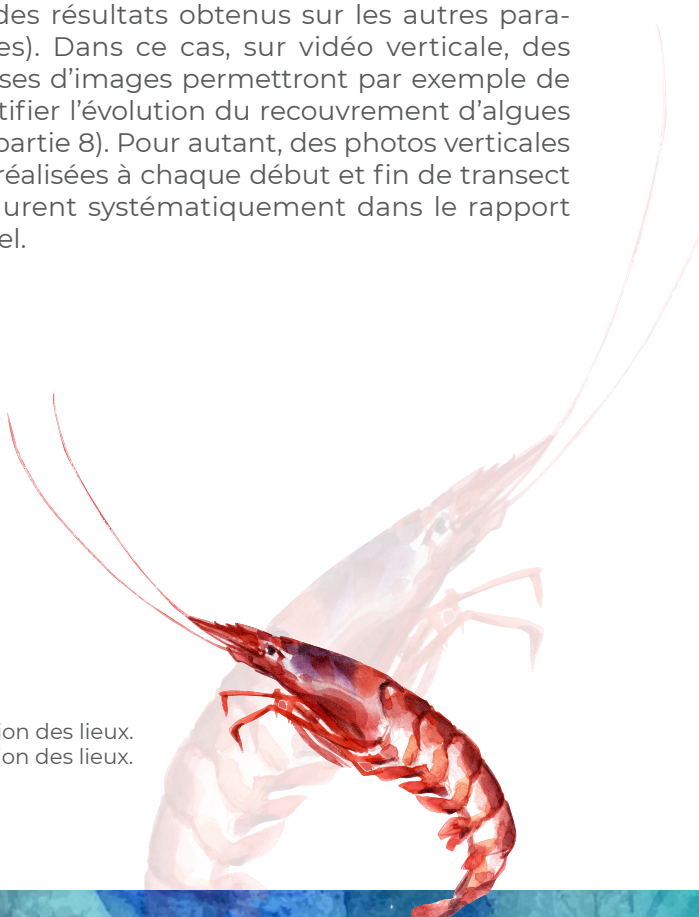
L'expert consignera ses observations dans son rapport et les documentera à l'aide de photographies.

- des prélèvements avec benne, depuis la surface, et permettant de collecter des sédiments afin de déterminer :
  - la granulométrie
  - le pourcentage de matière organique
- des prélèvements avec carottier (en plongée) afin de déterminer :
  - la couleur et l'odeur des sédiments de surface ainsi que l'aspect de la colonne sédimentaire (épaisseur des couches) ;
  - pour les exploitations dont le tonnage dépasse 100 tonnes, les potentiels redox (tous les 5 cm le long de la carotte).

Sur les fonds durs, le programme minimum comprend deux techniques :

- des enregistrements vidéo verticaux, réalisés en plongée, sur 3 transects de 25 mètres[101] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre).
- des relevés de type LIT ou PIT.

Afin de réduire les coûts, les enregistrements vidéos préconisés (autant sur fonds meubles que sur fonds durs) ne sont pas analysés ; ils sont simplement archivés ; ils seront analysés si une dérive est observée (à dire d'expert ou en fonction des résultats obtenus sur les autres paramètres). Dans ce cas, sur vidéo verticale, des analyses d'images permettront par exemple de quantifier l'évolution du recouvrement d'algues (voir partie 8). Pour autant, des photos verticales sont réalisées à chaque début et fin de transect et figurent systématiquement dans le rapport annuel.



101 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.
102 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.

Tableau 35 : Détails du programme de l'état initial et du suivi régulier pour une exploitation aquacole avec cages en mer.

ÉLEVAGE AVEC CAGES EN MER			Niveaux de suivi								
			niv 1 (inf. à 5 t)	**niv 2** (5 à 20 t)		**niv 3** (20 à 50 t)		**niv 4** (50 à 100 t)		**niv 5** (sup. à 100 t)	
Etat initial (minimum) (sur 2 ans)			Stations S	Stations S	Stations B	Stations S	Stations B	Stations S	Stations B	Stations S	Stations B
		Sur les installations	✓	✓		✓		✓		✓	
		Champ proche			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Champ moyen						✓	✓	✓	✓
		Stations de référence	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres									
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)	1 fois/an	1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre, de fecès ou aliment non consommé - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures	1 fois/an	1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Matière organique				1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
		Granulométrie						1 fois / 2 ans		1 fois / 2 ans	
	MSA	Recouvrement de la flore épigée (macroalgues et phanérogames)						1 fois/an		1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Redox								1 fois/an	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)			1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an
		Suivi des récifs - LIT/PIT faune macrobenthique et algues			1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an

ÉLEVAGE AVEC CAGES EN MER			Niveaux de suivi								
			niv 1 (inf. à 5 t)	**niv 2** (5 à 20 t)		**niv 3** (20 à 50 t)		**niv 4** (50 à 100 t)		**niv 5** (sup. à 100 t)	
Suivi régulier (minimum)			Stations S	Stations S	Stations B	Stations S	Stations B	Stations S	Stations B	Stations S	Stations B
		Sur les installations	✓	✓		✓		✓		✓	
		Champ proche			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Champ moyen						✓	✓	✓	✓
		Stations de référence	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres									
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)	1 fois/an	1 fois/an		1 fois/an		2 fois/an		3 fois/an	
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre, de fecès ou aliment non consommé - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures	1 fois/an	1 fois/an		1 fois/an		2 fois/an		3 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Matière organique				1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
		Granulométrie						1 fois / 2 ans		1 fois / 2 ans	
	MSA	Recouvrement de la flore épigée (macroalgues et phanérogames)						1 fois/an		1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Redox								1 fois/an	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)			1 fois/4 ans***		1 fois/4 ans***		1 fois/4 ans***		1 fois/4 ans***
		Suivi des récifs - LIT/PIT faune macrobenthique et algues			1 fois/4 ans***		1 fois/4 ans***		1 fois/4 ans***		1 fois/4 ans***

*** **Fréquence resserrée jusqu'à 1 fois/an** selon les résultats sur les fonds meubles

Tableau 36 : Exemple de relevés additionnels pour le programme de suivi d'une exploitation aquacole avec cages en mer.

Exemples de relevés additionnels
(si la zone est confinée par exemple, ou sur demande expresse du comité de gestion, ou encore pour acceptabilité sociale)

Compartiment	Techniques	Paramètres	Fréquence conseillée	Objectif	Sur les installations	Champ proche	Champ moyen	Stations de référence
Fonds meubles	Analyses des vidéos verticales ou MSA	Recouvrement de la flore épigée (macroalgues et phanérogames)	1 fois/an	Evaluer l'impact des modifications du substrat et de la qualité de l'eau	✓			✓
	Prélèvement avec benne	Faune endogée de fonds meubles	1 fois/an	Evaluer l'impact des modifications du substrat sur la faune et développement de *proxy*	✓			✓
		Zinc	1 fois (unique)	Déterminer l'étendue spatiale de l'enrichissement en matière organique dû au nourrissage	✓	✓	✓	✓
		Isotopes stables C et N	1 fois (unique)	Discriminer l'apport organique de l'exploitation de celui d'une autre source	✓	✓	✓	+ autre source suspectée
Fonds durs	En plongée	Suivi des récifs - analyse des enregistrements vidéos du programme minimum Compléments : - LIT/PIT faune macrobenthique et algues	1 fois/an	Evaluer l'impact des modifications de la qualité de l'eau sur la faune et la flore récifale		✓	✓	✓
Installation	En plongée	Populations de poissons autour des cages - enregistrement vidéo (et analyse) - UVC (point fixe)	1 fois/an	Evaluer l'effet DCP des cages	✓			✓
Colonne d'eau	Pièges à sédiments	Flux particulaire (matière organique)	1 fois (unique)	Evaluer les flux en matière organique provenant de l'exploitation et leur étendue spatiale afin d'affiner les limites des champs proches, moyens et lointains	✓	✓	✓	✓
	Profils verticaux	Oxygène dissous, Chlorophylle a, température, salinité	24 fois/an	Evaluer l'impact de l'exploitation sur la colonne d'eau	✓	✓	✓	✓

10.1.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion

Il est possible de définir des règles pour le lancement des mesures de gestion. Quelques exemples sont donnés dans le Tableau 37. Il est important de comprendre à ce niveau qu'il n'y a pas de valeurs seuils utilisables à proprement parler, mais qu'il s'agit d'une comparaison de l'évolution des valeurs des paramètres entre les stations impactées et la station de référence. La différence d'évolution entre les stations impactées et les stations de référence devra être significative. Les mesures de gestion comprennent des suivis additionnels, enquêtes et sanctions éventuelles.

10.1.3 Ajustements

Lorsque la profondeur d'un site dépasse 40 m, les relevés en plongée sont largement compromis[103]. Le recours à un ROV est possible mais probablement hors de budget (sauf peut-être pour les grands projets). Les observations en plongée pourront alors être remplacées par des prélèvements avec benne et les paramètres prioritaires seront la couleur, l'odeur et la concentration en matière organique. Pour les projets avec une production nominale supérieure ou égale à 50 tonnes, la granulométrie sera ajoutée.

			Exemple de déclenchement de mesures de gestion
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)	Sans objet.
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures	**Règle :** Si anomalie(s) détectée(s) (à dire d'expert), lancement : → d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant → de suivis additionnels : traitement des vidéos ; MSA.
	Prélèvement avec benne	Matière organique	**Règle :** si la concentration en matière organique des sédiments augmente dans le temps par rapport à la référence → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
		Granulométrie	**Règle :** si la granulométrie des sédiments évolue négativement dans le temps par rapport à la référence (augmentation des fines) → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)	**Règle :** Pour la couche de surface : si la couleur des sédiments s'assombrit dans le temps par rapport à la référence ou si l'odeur de soufre apparaît ou devient plus forte ; → déclenchement du suivi de niveau supérieur Pour la colonne sédimentaire : si le profil vertical sédimentaire montre une tendance à l'assombrissement global sur les 20 premiers cm
		Redox	**Règle :** si le potentiel redox des sédiments évolue négativement dans le temps par rapport à la référence (diminution du redox) → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)	Sans objet.

Tableau 37 : Exemple de mesures de gestion selon les résultats obtenus sur les différents paramètres pour une exploitation aquacole avec cages en mer.

103 Une profondeur importante reste pour autant un atout en termes de capacité de dilution des effluents.

Les relevés du programme minimum, s'ils montrent une évolution négative significative de l'état du substrat, peuvent servir de déclenchement pour les suivis additionnels ou pour une augmentation de la fréquence (x2) des suivis déjà en place. Ils devront bien entendu être accompagnés de mesure de gestion afin de remédier au problème détecté.

Au contraire, si les résultats obtenus sur les stations situées au plus proche des installations montrent une qualité stable et bonne pour les sédiments (hors événement climatique exceptionnel), campagne après campagne, les suivis en champs proche et moyen pourront être supprimés (mais bien sûr, les relevés sur les stations de référence ne seront pas arrêtés).

10.1.4 Valeur accordée à ce programme de suivi

Ce programme de suivi dispose d'un nombre de stations correct et d'une liste de paramètres qui doivent permettre de remplir les objectifs poursuivis et répondre aux attentes du comité de gestion. Pour autant, les fréquences indiquées ne permettent pas la détection rapide d'un déséquilibre. Un tel suivi, même s'il reste opérationnel, peut ne pas être suffisamment puissant, et donc en incapacité à détecter des baisses de qualités pour autant bien réelles. Pour améliorer la rapidité de détection d'anomalies, il est conseillé d'intensifier les fréquences des suivis ou d'adapter les campagnes à la connaissance des processus de sédimentation.

10.2 EXPLOITATION AQUACOLE À TERRE (SUIVI INDIVIDUEL)

Dans cet exemple fictif, on imagine la situation suivante :

- l'exploitation est déjà en place depuis plusieurs années (10 ans) ;
- les bassins sont installés sur la plaine d'un petit bassin-versant d'une île haute ;
- l'élevage est nourri avec des granulés ;
- les bassins sont alimentés en eau de mer par une pompe ; l'eau est captée *via* un tuyau, à 150 m de la côte (10 m de profondeur) ; un émissaire de rejet, unique, reçoit les eaux de vidange des bassins ; l'effluent est rejeté directement en bord de plage, sans aucun tuyau en mer **(ce qui est une mauvaise pratique)** ;
- l'exploitation comporte les installations suivantes : un laboratoire de conditionnement des crevettes pêchées, des chambres froides, un local destiné au stockage des aliments, un local pour le personnel, des toilettes ; les eaux de lavage sont récupérées et traitées (elles sont ensuite rejetées dans le système de collecte des eaux usées communales) ;
- l'exploitant déclare n'utiliser aucun produit dangereux à part de la Javel (pour le lavage des installations) et des hydrocarbures (carburant et lubrifiants) pour l'alimentation du groupe électrogène ;
- la production est stable tout au long de l'année avec un pic de production en décembre (pendant lequel la production est multipliée par 3) ;
- la bathymétrie et la courantologie de la zone marine sous influence de l'effluent sont connues ; dans un rayon de 250 mètres, on trouve des récifs coralliens (frangeants et intermédiaires).

Le comité de gestion veut savoir si la ferme a un impact sur le milieu marin. Il souhaite dans un premier temps obtenir un rapport détaillé de l'état « initial » de la zone, autant d'un point de vue physico-chimique que biologique. Bien entendu, le comité de gestion souhaite savoir si l'effluent de la ferme est bien conforme à la réglementation. Le comité de gestion a exprimé le besoin de disposer de données concernant les populations de poissons sauvages, les organismes macrobenthiques récifaux (mollusques, échinodermes, crustacés) et coraux situés dans la zone d'influence de la ferme.

10.2.1 Programme minimum proposé

Il ne s'agit pas d'un programme d'acquisition de connaissances scientifiques. Le programme répond à un besoin de gestion.

Les données zootechniques nécessaires au programme de suivi sont listées dans le Tableau 38. *A minima*, la fréquence de transmission de ces données aux autorités compétentes sera annuelle.

Pour les données environnementales, un programme de type *BACI* est impossible puisque l'exploitation est déjà en place. Pour autant, le positionnement des stations sera similaire à un plan de type BACI. Il s'appuie principalement sur le suivi de l'effluent et pour l'état initial (réel ou à date) sur les suivis des fonds meubles et des fonds durs à proximité. Les suivis de la qualité de l'eau (en mer) ne sont pas identifiés comme pertinents pour un programme minimal en raison des fortes variabilités potentielles des paramètres hydrologiques (les coûts nécessaires à l'obtention d'une puissance statistique suffisante seraient



Figure 48 : Situation d'un projet fictif d'exploitation avec des bassins de terre.

Données techniques	Besoins
Débit de l'effluent	Débit moyen annuel, débit maximum instantané, débit total
Aliments distribués	Quantité totale annuelle (pour l'exploitation, par bassin) (en kg et en kg/m³) Quantité mensuelle par bassin (en kg et en kg/m³) Références et composition
Occupation des bassins	*A minima*, avec la fréquence la plus resserrée possible, par bassin[104] : - nombre d'individus (estimés) - tonnage estimé Durée moyenne d'un élevage par bassin Nombre moyen annuel d'élevages par bassin
Production annuelle	Réelle : - par bassin (en kg et en kg/m³) - pour l'exploitation Prévue pour les années suivantes : - par bassin (en kg et en kg/m³) - pour l'exploitation
Incidents/accidents survenus sur l'exploitation (pollution, morbidité/mortalité)	Date, nature de l'événement, raisons connues mesures prises en réponse à l'événement
Installations	Nombre total de bassins, cuves, etc. et caractéristiques (volume, matériaux utilisés) Nombre de bassins actifs (calendrier d'occupation par bassin) Caractéristiques des bassin (dimensions, pratiques de nettoyage) Caractéristiques des bassins de décantation et dispositifs de remédiation

Tableau 38 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi.

104 Connaître la production prévue par bassin permet d'identifier la vidange qui pourrait provoquer la charge potentielle la plus forte sur le milieu extérieur.

hors de portée) et des difficultés d'interprétation qui en découlent.

On considère que la courantologie et la bathymétrie sont connues. Dans le cas contraire, elles doivent être réalisées (même grossièrement en cas de faible tonnage) afin de positionner correctement les stations de suivi. Si des données de modélisation hydrodynamiques sont disponibles, elles peuvent être utilisées pour placer les stations judicieusement en fonction des courants dominants/minoritaires/contraires.

Avant de positionner les stations, il convient d'identifier les paramètres à suivre. Le lecteur pourra se reporter à la partie 8 du guide afin d'identifier les différentes pressions et menaces associées à ce type d'exploitation aquacole (et à la partie 9 pour avoir davantage d'explications sur les paramètres choisis pour le suivi).

Dans notre exemple, le programme de suivi est axé sur la principale pression : l'apport en matière organique et en nutriments au niveau de l'effluent (les autres pressions ne sont pas considérées comme suffisamment élevées pour impliquer un suivi). L'impact potentiel est une eutrophisation du milieu, avec une dégradation du sédiment ; sur les fonds meubles, une modification éventuelle de la flore épigée et de la faune endogée ; sur les récifs, le développement d'algues et le recouvrement des coraux par les sédiments. Lorsque la dispersion des eaux de *process* n'est pas suffisante, des épisodes temporaires de blooms algaux (eaux vertes) sont possibles.

Le positionnement des stations se fait à « dire d'expert » et peut être ajusté en fonction des premiers résultats. Un programme de suivi minimal pourra s'appuyer :

- sur une station de relevé dans l'effluent non dilué ; c'est-à-dire avec une qualité d'eau telle que celle rejetée dans le milieu extérieur à l'exploitation ;
- sur une radiale de 3 stations de suivi des fonds meubles en champ proche.

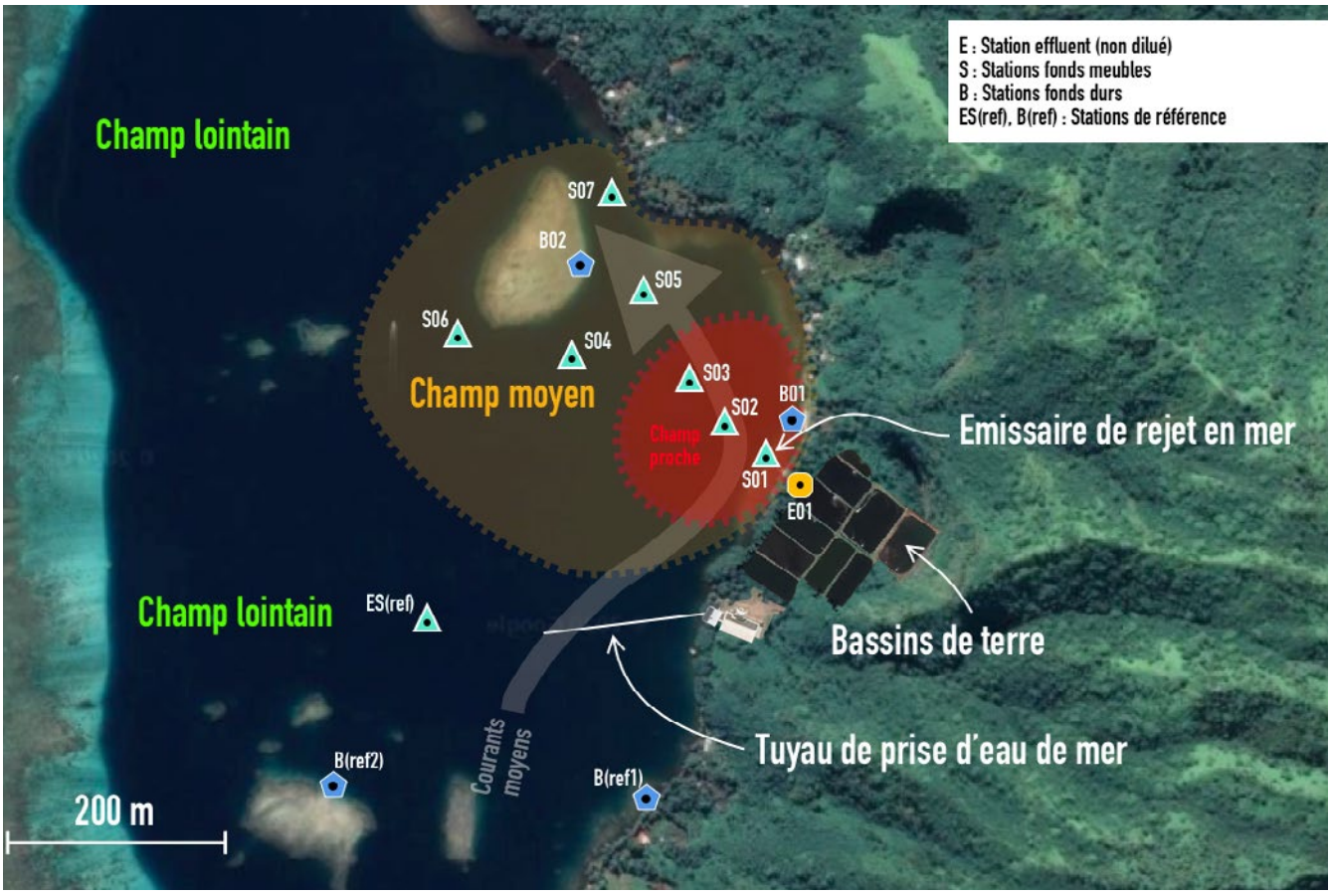


Figure 49 : Plan d'échantillonnage pour l'état initial et un programme de suivi régulier d'une exploitation aquacole avec cages en mer.

Selon le tonnage nominal, il sera complété :

- en champ proche, d'une station de suivi des fonds durs (récif frangeant) (station B01) ;
- en champ moyen, de stations de suivi des fonds meubles (stations S), positionnées en fonction de la direction des courants dominants (ou des résultats du modèle) et d'une station de suivi des fonds durs (station B02).

L'effort d'échantillonnage des programmes dépend du tonnage nominal déclaré.

Les Tableau 39 et Tableau 40 présentent un exemple de programmes de suivi déclinés selon différentes catégories de tonnage. Les tableaux présentent quatre programmes :

- le programme minimum de l'état initial avant installation (dans le cas où l'exploitation n'est pas en place) ;
- le programme minimum de l'état initial si l'exploitation est déjà en place ;
- le programme minimum du suivi régulier ;
- et enfin quelques exemples de suivis additionnels répondant à des besoins particuliers.

L'état initial est réalisé idéalement sur deux ans. La différence principale entre les programmes minimums de l'état initial et du suivi régulier réside dans le fait que le suivi régulier minimum ne contient pas nécessairement de suivi des fonds durs et des fonds meubles tous les ans. En effet, si les résultats des suivis dans l'effluent sont conformes aux exigences réglementaires, les suivis en mer (fonds durs et fonds meubles) ne sont réalisés que tous les 4 ans (mais peuvent être resserrés jusqu'à une fois par an sur décision des autorités compétentes, notamment en fonction des résultats hydrologiques). Les conditions sont listées dans le Tableau 42.

Ces conditions strictes ont pour objectif assumé d'encourager les exploitants à mettre en place des systèmes d'amélioration de la qualité de leur effluent (bassin de décantation, filtres, système de remédiation) afin de rejeter une eau dont la qualité est identique (voire meilleure) à celle de la station de référence.

Même si les conditions sont respectées, dans une volonté de contrôle de la qualité du milieu naturel ou pour des raisons d'acceptabilité sociale, et selon le tonnage, les autorités compétentes pourront exiger de la part de l'exploitant l'exécution des suivis fonds durs et fonds meubles avec une fréquence annuelle.

Dans l'effluent, les paramètres suivants sont mesurés : MES (matière en suspension), azote total, phosphore total, pH et température ; avec au minimum une seule mesure par an ; cette mesure est effectuée au moment où les conditions sont potentiellement les moins favorables à la qualité de l'effluent :

- pour une exploitation sans aucun bassin de décantation : au moment de la vidange la plus intense au plus fort de la production ;
- pour une exploitation avec bassin de décantation ou autre système d'amélioration de la qualité de l'effluent (filtre) : moment à définir en fonction des caractéristiques du système.

La fréquence du suivi hydrologique s'intensifie avec le tonnage : 1 fois par an (0 à 20 t), 3 fois/an (20 à 50 t), 6 fois/an (50 à 100 t), 12 fois par an (plus de 100 t).

Sur les fonds meubles, plusieurs techniques sont utilisées pour le suivi des sédiments et des autres substrats (→ voir partie 8 pour plus de détails sur les techniques, métriques, valeurs) :

- des enregistrements vidéo verticaux sur transects, réalisés en plongée : 3 transects de 25 mètres[105] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre) ;
- des observations visuelles en plongée, permettant de repérer :
  - d'éventuelles accumulations de cadavres ou de matière organique ;
  - un aspect anormal des sédiments de surface (coloration) ;
  - la présence de macro-algues (sans toutefois obtenir une quantification) ;
  - la présence de bactéries liées aux sulfures ;

L'expert consignera ses observations dans son rapport et les documentera à l'aide de photographies.

- des prélèvements avec benne, depuis la surface, et permettant de collecter des sédiments afin de déterminer :
  - la granulométrie
  - le pourcentage de matière organique
- des prélèvements avec carottier (en plongée) afin de déterminer :
  - la couleur et l'odeur des sédiments de surface ainsi que l'aspect de la colonne sédimentaire (épaisseur des couches) ;
  - pour les exploitations dont le tonnage dépasse 100 tonnes, les potentiels redox (tous les 5 cm le long de la carotte).

105 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.

Sur les fonds durs, le programme minimum comprend deux techniques :

- des enregistrements vidéo verticaux, réalisés en plongée, sur 3 transects de 25 mètres[106] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre).
- des relevés de type LIT ou PIT.

Afin de réduire les coûts, les enregistrements vidéos préconisés (autant sur fonds meubles que sur fonds durs) ne sont pas analysés ; ils sont simplement archivés ; ils seront analysés si une dérive est observée (à dire d'expert ou en fonction des résultats obtenus sur les autres paramètres). Dans ce cas, sur vidéo verticale, des analyses d'images permettront par exemple de quantifier l'évolution du recouvrement d'algues (voir partie 8). Pour autant, des photos verticales sont réalisées à chaque début et fin de transect et figurent systématiquement dans le rapport annuel.

Selon contexte ou les attentes du comité du gestion, des relevés additionnels peuvent compléter le suivi minimum régulier. Le Tableau 40 en liste quelques-uns ainsi que les objectifs associés à chacun d'entre eux.



106 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.

Tableau 39 : Détails du programme pour l'état initial (sans et avec exploitation) pour une exploitation aquacole à terre.

EXPLOITATION À TERRE (individuelle)			Niveaux de suivi													
			niv 1 (inf. à 5 t)		niv 2 (5 à 20 t)			niv 3 (20 à 50 t)			niv 4 (50 à 100 t)			niv 5 (sup. à 100 t)		
État initial (minimum) sans exploitation (sur 2 ans)			Stations E	Stations S	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B
		Dans l'effluent														
		Champ proche		✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓
		Champ moyen										✓	✓		✓	✓
		Stations de référence	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres														
Eau	Prélèvement	MES	1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an		
		Azote total	1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an		
		Phosphore total	1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an		
		pH	1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an		
		Température	1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an		
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)		1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre, de fecès ou aliment non consommé - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures		1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)				1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Matière organique							1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Granulométrie										1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Redox													1 fois/an	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)					1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an
		Suivi des récifs - LIT/PIT faune macrobenthique et algues					1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an

EXPLOITATION À TERRE (individuelle)			Niveaux de suivi													
			niv 1 (inf. à 5 t)		niv 2 (5 à 20 t)			niv 3 (20 à 50 t)			niv 4 (50 à 100 t)			niv 5 (sup. à 100 t)		
Etat initial (minimum) avec exploitation déjà en place (sur 2 ans)			Stations E	Stations S	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B
		Dans l'effluent	✓		✓			✓			✓			✓		
		Champ proche		✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓
		Champ moyen										✓	✓		✓	✓
		Stations de référence	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres														
Eau	Prélèvement	MES	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
		Azote total	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
		Phosphore total	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
		pH	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
		Température	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)		1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			2 fois/an	
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures		1 fois/an		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			2 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)				1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Matière organique							1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Granulométrie										1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Redox													1 fois/an	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)					1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an
		Suivi des récifs - LIT/PIT faune macrobenthique et algues					1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an

* pendant la vidange de bassin la plus intense de l'année

** dont une fois pendant la vidange de bassin la plus intense de l'année

Tableau 40 : Programme minimum pour le suivi régulier et exemple de relevés additionnels pour le programme de suivi d'une exploitation aquacole à terre.

EXPLOITATION À TERRE (individuelle)			Niveaux de suivi													
			niv 1 (inf. à 5 t)		**niv 2** (5 à 20 t)			**niv 3** (20 à 50 t)			**niv 4** (50 à 100 t)			**niv 5** (sup. à 100 t)		
			Stations E	Stations S	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B	Stations E	Stations S	Stations B
Suivi régulier (minimum)		Dans l'effluent	✓		✓			✓			✓			✓		
		Champ proche		✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓
		Champ moyen										✓	✓		✓	✓
		Stations de référence	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres														
Eau/effluent	Prélèvement	MES	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
		Azote total	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
		Phosphore total	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
	Sonde à main	pH	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
		Température	1 fois/an*		1 fois/an*			3 fois/an**			6 fois/an**			12 fois/an**		
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)		1 fois/4 ans***		1 fois/4 ans***			1 fois/2 ans***			1 fois/an			2 fois/an	
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures		1 fois/4 ans***		1 fois/4 ans***			1 fois/2 ans***			1 fois/an			2 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)				1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***	
	Prélèvement avec benne	Matière organique							1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***	
	Prélèvement avec benne	Granulométrie										1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Redox													1 fois/4 ans***	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)					1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***
		Suivi des récifs - LIT/PIT faune macrobenthique et algues					1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***			1 fois/4 ans***

* pendant la vidange de bassin la plus intense de l'année

** dont une fois pendant la vidange de bassin la plus intense de l'année

*** **Fréquence resserrée à 1 fois/an** selon les résultats hydrologiques

Exemples de relevés additionnels
(si la zone est confinée par exemple, ou sur demande expresse du comité de gestion, ou encore pour acceptabilité sociale)

Compartiment	Techniques	Paramètres	Fréquence conseillée	Objectif	Dans l'effluent	Champ proche	Champ moyen	Stations de référence
Fonds meubles	Analyses des vidéos verticales ou MSA	Recouvrement de la flore épigée (macroalgues et phanérogames)	1 fois/an	Evaluer l'impact des modifications du substrat et de la qualité de l'eau		✓		✓
	Prélèvement avec benne	Faune endogée de fonds meubles	1 fois/an	Evaluer l'impact des modifications du substrat sur la faune et développement de *proxy*		✓		✓
		Zinc	1 fois (unique)	Déterminer l'étendue spatiale de l'enrichissement en matière organique dû au nourrissage	✓	✓	✓	✓
		Isotopes stables C et N	1 fois (unique)	Discriminer l'apport organique de l'exploitation de celui d'une autre source	✓			+ autre source suspectée
Fonds durs	En plongée	Suivi des récifs - analyse des enregistrements vidéos du programme minimum Compléments : - LIT/PIT faune macrobenthique et algues	1 fois/an	Evaluer l'impact des modifications de la qualité de l'eau sur la faune et la flore récifale		✓	✓	✓
Eau	Profils verticaux	Oxygène dissous, Chlorophylle a, température, salinité	24 fois/an	Evaluer l'impact de l'exploitation sur la colonne d'eau	✓	✓	✓	✓

10.2.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion

La première mesure de gestion concerne les suivis conditionnels (voir 10.2.1). Quelques autres exemples de déclenchement de mesure de gestion sont donnés dans Tableau 41. Pour la plupart des paramètres, il n'y a pas de valeurs seuils utilisables à proprement parler : il s'agit d'une comparaison de l'évolution des valeurs des paramètres entre les stations potentiellement impactées et la station de référence. La différence d'évolution entre les stations impactées et les stations de référence devra être significative.

			Exemple de déclenchement de mesures de gestion
Suivis de base pouvant impliquer des mesures de gestion :			
Eau/effluent	Prélèvement dans l'effluent	MES	**Règle :** si les MES dans l'effluent sont non conformes* : → la fréquence des suivis fonds meubles et fonds durs passe de 4 ans à 1 an. → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. + suivis additionnels : faune endogée, flux particulaires, oxygène dissous, Chlorophylle a, *etc*.
		Azote total	**Règle :** si l'Azote total dans l'effluent est non conformes : → la fréquence des suivis fonds meubles et fonds durs passe de 4 ans à 1 an. → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. + suivis additionnels : faune endogée, flux particulaires, oxygène dissous, Chlorophylle a, etc.
		Phosphore total	**Règle :** si le Phosphore total dans l'effluent est non conforme → la fréquence des suivis fonds meubles et fonds durs passe de 4 ans à 1 an. → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. + suivis additionnels : faune endogée, flux particulaires, oxygène dissous, Chlorophylle a, etc.
		pH	**Règle :** si le ou |pH(E)-pH(Ref)| > 4 unités de pH → la fréquence des suivis fonds meubles et fonds durs passe de 4 ans à 1 an ; c'est déjà le cas si |pH(E)-pH(Ref)|>2 ; → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. + suivis additionnels : faune endogée, flux particulaires, oxygène dissous, Chlorophylle a, etc.
		Température	**Règle :** si le ou |T(E)-T(Ref)| > 4°C → la fréquence des suivis fonds meubles et fonds durs passe de 4 ans à 1 an ; c'est déjà le cas si |T(E)-T(Ref)| > 3 ; → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. + suivis additionnels : faune endogée, flux particulaires, oxygène dissous, Chlorophylle a, etc.
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)	Sans objet.
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures	**Règle :** Si anomalie(s) détectée(s) (à dire d'expert), lancement : → d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant → de suivis additionnels : traitement des vidéos ; MSA.
	Prélèvement avec benne	Matière organique	**Règle :** si la concentration en matière organique des sédiments augmente dans le temps par rapport à la référence → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
		Granulométrie	**Règle :** si la granulométrie des sédiments évolue négativement dans le temps par rapport à la référence (augmentation des fines) → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)	**Règle :** Pour la couche de surface : si la couleur des sédiments s'assombrit dans le temps par rapport à la référence ou si l'odeur de soufre apparaît ou devient plus forte ; → déclenchement du suivi de niveau supérieur Pour la colonne sédimentaire : si le profil vertical sédimentaire montre une tendance à l'assombrissement global sur les 20 premiers cm → déclenchement du suivi de niveau supérieur
		Redox	**Règle :** si le potentiel redox des sédiments évolue négativement dans le temps par rapport à la référence (diminution du redox) → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)	Sans objet.
			* voir détails dans le texte.

Tableau 41 : Exemple de mesures de gestion selon les résultats obtenus sur les différents paramètres pour une exploitation aquacole à terre.

Pour les relevés hydrologiques (dans l'eau et l'effluent), quelques valeurs seuils sont utilisables pour le déclenchement des suivis additionnels, d'éventuelles enquêtes ou sanctions (Tableau 42).

Deux types de seuils sont utilisables pour les MES, l'azote total et le phosphore total :

- Seuil de concentration instantanée : la concentration mesurée est comparée avec une valeur absolue de concentration à ne pas dépasser ; en l'état actuel des connaissances, cette concentration est établie sur la base des données bibliographiques (voir partie 6) ;
- Seuils de flux annuel : en mesurant plusieurs fois dans l'année des concentrations dans l'effluent, à différents moments du *process* zootechnique, et en connaissant les débits de l'effluent, il est possible d'estimer le flux annuel et de le comparer au flux annuel admissible ; en l'état actuel des connaissances, ce flux annuel admissible n'est pas connu ; il serait utile de lancer des travaux de recherche pour déterminer ce flux (dans différentes conditions de renouvellement des masses d'eau).

10.2.3 Ajustements

Lorsque la profondeur d'un site dépasse 40 m, les relevés en plongée sont largement compromis[107]. Le recours à un ROV est possible mais probablement hors de budget (sauf peut-être pour les grands projets). Les observations en plongée pourront alors être remplacées par des prélèvements avec benne et les paramètres prioritaires seront la couleur, l'odeur et la concentration en matière organique.

En cas de suspicion de dysfonctionnement d'une exploitation (ferme d'élevage ou écloserie) provoquant une pollution chronique de l'effluent avec des substances dangereuses, les autorités compétentes pourront ajouter au programme de suivi le dosage de ces substances.

Enfin, si les autorités compétentes estiment que cela est nécessaire, une inspection visuelle le long du tuyau de captage pourra être programmée afin de détecter d'éventuelles anomalies sédimentaires par exemple.

10.2.4 Valeur accordée à ce programme de suivi

Ce programme de suivi s'appuie sur des relevés hydrologiques dans l'effluent réalisés (au minimum) une seule fois dans l'année, au moment où l'effluent est potentiellement dans sa qualité la plus faible. On peut penser que cette stratégie

Paramètre	Règles de déclenchement de l'intensification des suivis fonds meubles et fonds durs	Règle de déclenchement des suivis additionnels, enquêtes, sanctions
MES	Concentrations MES(Effluent) > MES(Ref) + 10 %	**Par défaut :** Concentration en MES(Effluent) > seuil de concentration en MES (ex : 25 mg/L ; voir partie 8.4.2.1 pour les valeurs guides) **Ou encore :** Flux annuel de MES > seuil de flux (MES)*
Azote total	Concentrations Ntot(Effluent) > Ntot(Ref) + 10 %	**Par défaut :** Concentration en Ntot(Effluent) > valeur seuil (ex : 20 µg/L ; voir partie 8.4.2.2 pour les valeurs guides) **Ou encore :** Flux annuel de Ntot(Effluent) > seuil de flux (Ntot)*
Phosphore total	Concentrations Ptot(Effluent) > Ptot(ref) + 10 %	**Par défaut :** Concentration en Ptot(Effluent) > valeur seuil (ex : 2 µg/L ;voir partie 8.4.2.2 pour les valeurs guides) **Ou encore :** Flux annuel de Ptot(Effluent) > seuil de flux (Ptot)*
pH	|pH(Effluent)-pH(Ref)| > 2	|pH(Effluent)-pH(Ref)| > écart max de pH (par exemple 4 unités de pH)
Température	T(Effluent)-T(Ref) > 3	T(Effluent)-T(Ref) > écart max de température (par exemple 4°C)

** ces seuils de flux annuels maximums ne sont pas connus à ce jour en Polynésie française.*

Tableau 42 : Règles de déclenchement de l'intensification des suivis fonds meubles et fonds durs (passage de tous les 4 ans à tous les ans), et règles de déclenchement des suivis additionnels, enquêtes et sanctions éventuelles pour une exploitation aquacole à terre.

107 Une profondeur importante reste pour autant un atout en termes de capacité de dilution des effluents.

conservatrice est désavantageuse pour l'exploitant. Avec plusieurs relevés par an, d'autres métriques peuvent être utilisées (médiane, percentile 80, maximum). Ces métriques permettent d'accéder à une vision plus complète de la pression exercée par l'exploitation, mais impliquent également des coûts plus élevés, notamment si tous les paramètres hydrologiques sont testés. Pourtant, la littérature sur le sujet évoque clairement le danger représenté par les vidanges rapides (*flush*). Pouvoir les repérer (si elles existent) sans la coopération de l'exploitant est une opération impossible (elle nécessiterait un effort d'échantillonnage bien trop intense). Il est donc particulièrement utile de travailler en amont au respect des bonnes pratiques zootechniques.

Ce programme de suivi dispose d'un maillage de stations plutôt conséquent et d'une liste de paramètres qui doivent permettre de remplir les objectifs poursuivis et répondre aux attentes du comité de gestion. Pour autant, les fréquences indiquées ne permettent pas la détection rapide d'un déséquilibre. Un tel suivi, même s'il reste opérationnel, peut ne pas être suffisamment puissant, et donc en incapacité à détecter des baisses de qualités pour autant bien réelles. Pour améliorer la rapidité de détection d'anomalies, il est possible d'intensifier les fréquences des suivis sur les fonds meubles ou d'adapter encore plus les campagnes à la connaissance des processus de sédimentation.

10.3 ÉCLOSERIE

Les écloseries de crevettes et poissons forment un cas particulier des exploitations aquacoles à terre. Le lecteur pourra donc se reporter à la partie 10.2 pour plus de détails. Les écloseries présentent malgré tout des spécificités (voir partie 7.3.3) qu'il est essentiel de prendre en compte dans le déploiement d'un programme de suivi.

Un des enjeux principaux concerne les risques génétiques et sanitaires. Pour autant, la mise en place de suivis en milieu naturel ne sont pas pertinents, d'une part puisqu'il s'agit de risques (et pas de pressions) et ensuite parce que des suivis sanitaires et génétiques en milieu naturel sont particulièrement complexes à mettre en place. Il s'agira donc, pour les exploitants d'écloserie, de se conformer aux bonnes pratiques, avec entre autres :

pour le risque sanitaire :

- la qualification des eaux en entrée d'exploitation en termes de pathogènes ;
- la qualification des géniteurs (afin d'éviter toute transmission verticale) ;
- la qualification des alevins (avant leur départ) ;
- la qualification des algues et des aliments utilisés ;
- la mise en place et le respect des systèmes de quarantaines ;
- l'usage de pédiluves, rotoluves, *etc.*

pour le risque génétique :

- le contrôle des effluents (absence de larves ou juvéniles) ;
- la diversification des géniteurs (afin d'éviter l'appauvrissement génétique en cas d'échappée).

Les indicateurs du suivi sanitaire sont donc, entre autres, composés des diagnostics réalisés sur les juvéniles sortis d'écloserie. A défaut d'obtenir les diagnostics à des maladies connues, l'écloseur conservera des échantillons de juvéniles, pouvant alors être vérifiés *a posteriori* (par histologie et biologie moléculaire). Il devient alors possible de savoir si l'écloserie est bien la source des pathogènes observés et si ces pathogènes ont pu être transmis vers d'autres lieux d'élevage (éradication et quarantaine sont alors envisageables). Bien entendu, dans l'écloserie, la source des pathogènes pourra être identifiée et traitée (comm. pers. G. Remoissenet).

Pour le risque génétique, des suivis peuvent également être mis en place, notamment l'identification des stocks sauvages et l'identification des lots d'élevage. En cas de fuite, ils permettront de constater l'étendue de cette fuite. En parallèle, la mise en place d'un système de renouvellement des stocks de géniteurs permettra d'éviter la réduction de la variabilité génétique des stocks dans le lagon (comm. pers. G. Remoissenet).

10.4 EXPLOITATION PERLICOLE – SUIVI INDIVIDUEL

Dans cet exemple fictif, on imagine la situation suivante :

- l'exploitation est déjà en place depuis plusieurs années (15 ans) ;
- elle est installée à environ 300 m du bord de mer d'une île haute ;
- elle comporte 13 lignes de 200 m réparties en deux zones (A et B) ;
- un fare greffe est installé sur le bord du platier récifal, avec une zone de nettoyage (surpresseur), une petite cuisine, des toilettes (sans cuve) ; les eaux grises et noires sont rejetées directement dans le milieu **(ce qui est une mauvaise pratique !)** ;
- une zone de stockage d'hydrocarbures (carburant et lubrifiant du surpresseur) ;

- une zone de stockage sauvage des lignes non utilisées sur le platier ;
- l'exploitant déclare n'utiliser aucun produits dangereux (à part des hydrocarbures pour une embarcation) ; les hydrocarbures sont bien gérés (stockés à terre avec bac de rétention) ;
- la bathymétrie et la courantologie de la zone marine sous influence sont connues ; une carte des biocénoses benthiques à proximité a été réalisée.

Le comité de gestion veut savoir si la ferme a un impact sur le milieu marin. Le comité de gestion souhaite par ailleurs disposer régulièrement d'informations sur l'évolution de l'état de la zone et construire progressivement une grille de lecture lui permettant de prendre des décisions de gestion si elles s'avéraient nécessaires. Le comité de gestion est conscient des difficultés logistiques inhérentes à un tel programme de suivi.

Le comité de gestion a exprimé le besoin de disposer de données concernant les populations de poissons sauvages situés dans la zone d'influence de la ferme, émettant des craintes par rapports à des modifications de ces populations ; ainsi que la santé des récifs situés à proximité du fare greffe, compte tenu des rejets réguliers depuis le fare ; il a aussi émis le souhait de disposer d'informations sur la consommation de plastique par la ferme et disposer d'informations pour savoir si l'exploitation opte pour des nouveaux matériaux ; le comité de gestion juge également nécessaire de faire un suivi de la conformité des installations afin d'éviter les sur-densités de nacres).

Remarque importante

dans cet exemple, il est question d'un suivi individuel, c'est-à-dire un suivi à l'échelle d'une seule ferme perlicole ; mais on peut imaginer qu'il s'agisse d'un suivi imposé à chaque ferme perlicole. Par pragmatisme, le programme de suivi présenté est réduit au strict minimum en termes de paramètres suivis et de fréquence d'échantillonnage. Pour autant, d'un point de vue strictement scientifique, si le programme de suivi devait se limiter à évaluer les pressions et évaluer/détecter les impacts sur le milieu marin, certains paramètres préconisés ici pourraient être considérés comme « hors sujet ». C'est le cas par exemple des inspections visuelles sur les lignes, susceptibles de repérer des étages multiples (une pratique interdite). Ces inspections ont cependant l'intérêt de faire respecter la réglementation et d'éviter d'augmenter la charge sur les lagons.

Un autre exemple de programme de suivi perlicole est proposé dans la partie suivante. Il est traité à une autre échelle, celle d'un atoll (voir partie 10.5). Il permet d'appréhender d'autres pressions/menaces liées à l'activité perlicole.

10.4.1 Suivi minimum proposé

Il ne s'agit pas d'un programme d'acquisition de connaissances scientifiques. Le programme répond à un besoin de gestion.

Les données zootechniques nécessaires au programme de suivi sont listées dans le Tableau 43. *A minima*, la fréquence de transmission de ces données aux autorités compétentes sera annuelle.

Données techniques	Besoins
Achats	Nombre de bouées achetées (neuf ou occasion) ; perdues ; rapportées à terre et mises au rebut ; Longueurs et types de cordages achetés ; perdus ; rapportés à terre et mises au rebut ; Longueurs et types de grillages achetés ; perdus ; rapportés à terre et mises au rebut ; Nombre de kangaroos achetés ; perdus ; rapportés à terre et mis au rebut ; Nombre de collecteurs achetés ; perdus ; rapportés à terre et mis au rebut ; *etc.*
Evénements survenus sur l'exploitation	Date, nature de l'événement, mesures prises en réponse à l'événement Il peut s'agir d'événements très divers : pollution, casses, événement météo intense, absence de houle, efflorescence (date, couleur de l'eau, surface estimée dans la concession (en %)), *etc.*
Episodes de morbidité/mortalité	Date, nature de l'événement, raisons connues, mesures prises en réponse à l'événement
Installations et cheptel	Nombre total de lignes Nombre total de nacres

Tableau 43 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi.

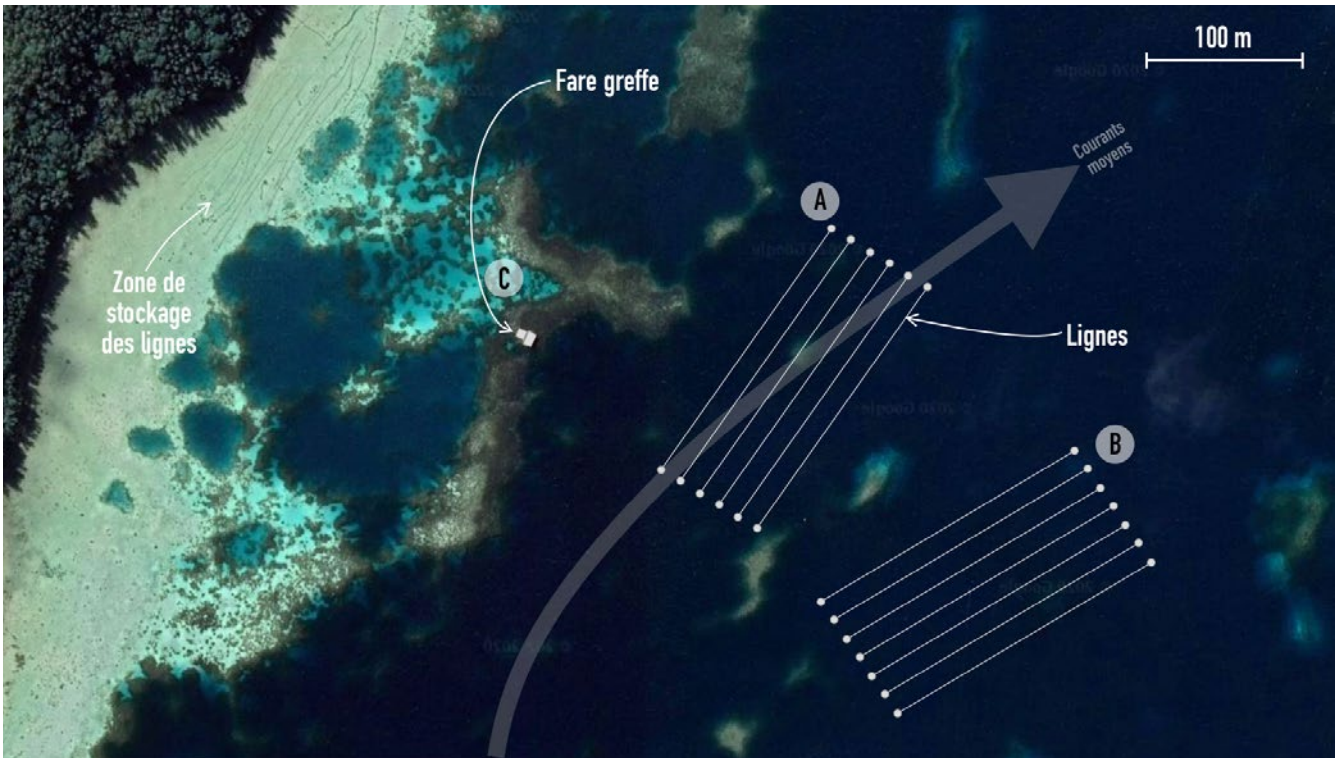


Figure 50 : Situation d'un projet fictif d'exploitation perlicole.

Pour les données environnementales, un programme de type *BACI* est impossible puisque l'exploitation est déjà en place. Pour autant, le positionnement des stations sera similaire à un plan de type BACI. Il s'appuie principalement sur les suivis des fonds meubles et des fonds durs à proximité. Les suivis de la qualité de l'eau ne sont pas identifiés comme pertinents pour un programme minimal en raison des fortes variabilités potentielles des paramètres hydrologiques (les coûts nécessaires à l'obtention d'une puissance statistique suffisante seraient hors de portée) et des difficultés d'interprétation qui en découlent. On considère que la courantologie et la bathymétrie sont connues. Dans le cas contraire, elles doivent être réalisées (même grossièrement) afin de positionner correctement les stations de suivi. Si des données de modélisation hydrodynamique sont disponibles, elles peuvent être utilisées pour placer les stations judicieusement en fonction des courants dominants/minoritaires/contraires. Avant de positionner les stations, il convient d'identifier les paramètres à suivre. Le lecteur pourra se reporter à la partie 8 du guide afin d'identifier les différentes pressions et menaces associées à ce type d'exploitation aquacole (et à la partie 9 pour avoir davantage d'explications sur les paramètres choisis pour le suivi).

Dans notre exemple, le programme de suivi minimum est axé sur les conséquences éventuelles des apports en matière organique (nettoyage des installations et pseudofèces). L'impact potentiel étant une eutrophisation du milieu, avec une dégradation du sédiment ; sur les fonds meubles, une modification éventuelle de la flore épigée et de la faune endogée ; sur les récifs, le développement d'algues. Les suivis additionnels concernent, entre autres, la pollution par les plastiques, proposant des relevés qui pourraient être intégrés dans un suivi à plus large échelle (voir exemple en partie 10.5).

Le positionnement des stations se fait à « dire d'expert » et peut être ajusté en fonction des premiers résultats. Un programme de suivi minimal pourra s'appuyer sur :

- une station de relevé sous le fare greffe ;
- une station par groupe de lignes (A et B) ;
- aux abords du fare, deux stations de suivi des fonds durs ;
- dans le champ lointain, les stations de référence.

Compte-tenu des caractéristiques de cette activité (extractives) et des contraintes logistiques liées au contexte, le suivi de la qualité de l'eau n'est pas jugé pertinent dans un cadre strict de suivi des pressions et des impacts à cette échelle. On préférera axer le suivi sur les compartiments en capacité d'intégrer les variations du milieu sur le long terme : les sédiments et le biote.

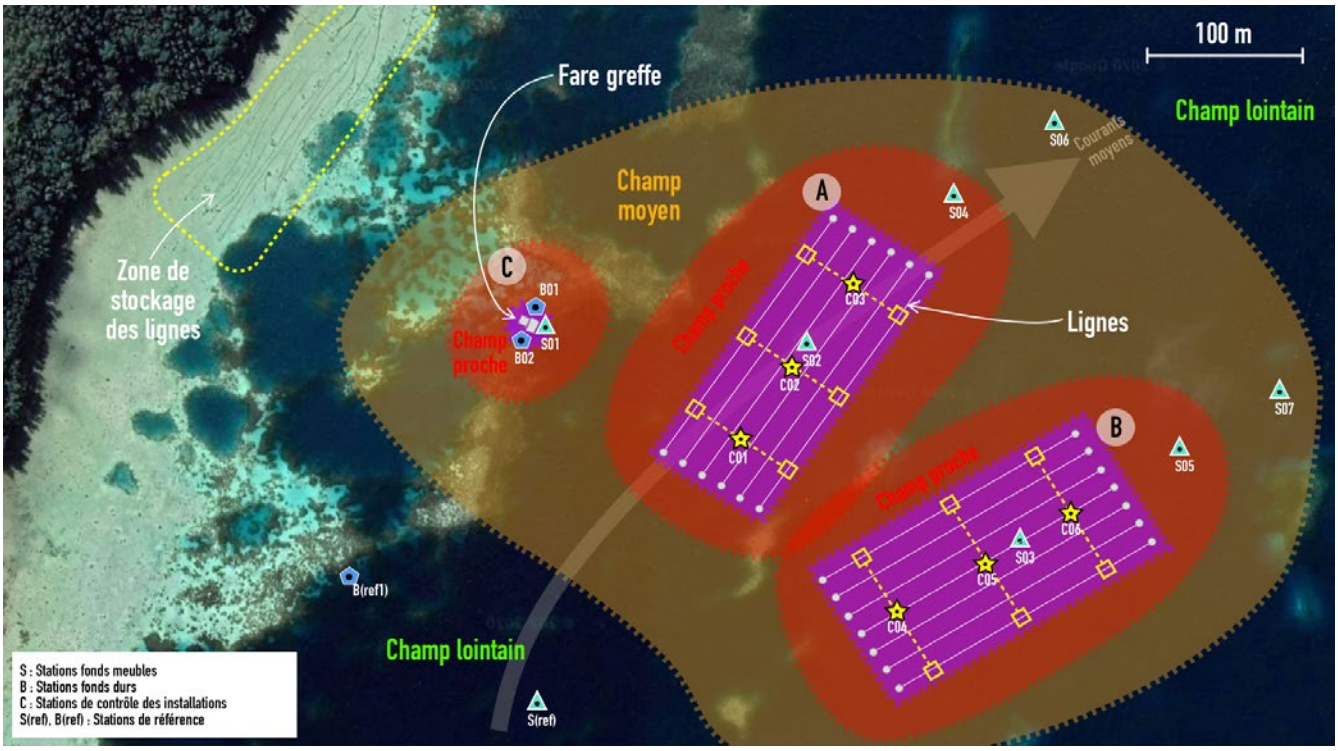


Figure 51 : plan d'échantillonnage pour l'état initial et un suivi régulier sur le long terme d'une exploitation perlicole.

Selon le degré de confinement de la zone d'exploitation, il sera complété :

- en champ proche, de stations de suivi des fonds durs (récif frangeant) (stations B) ;
- en champs proche et moyen, de stations de suivi des fonds meubles (stations S), positionnées en fonction de la direction des courants dominants (ou des résultats du modèle).

Selon les pratiques de l'exploitant, comme par exemple le stockage de cordages sur le platier **(ce qui est une mauvaise pratique !)**, des stations de suivi peuvent être ajoutées.

L'effort d'échantillonnage des programmes dépend du degré de confinement de la zone, en distinguant trois niveaux (voir Tableau 44).

	Prod. < 1000 perles/ha	**Prod. comprise entre 1001 et 2500 perles/ha**	**Prod. > 2500 perles / ha**
Atoll ouvert ou zone à fort renouvellement	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Atoll semi-ouvert ou zone à renouvellement correct	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 3
Atoll fermé ou zone à faible renouvellement	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3

Tableau 44 : Niveaux de suivi pour les exploitations perlicoles individuelles en fonction du degré de confinement et de la production.

La Figure 51 présente un exemple de programme de suivi décliné selon différents niveaux. Le tableau est par ailleurs coupé en deux parties :

- le programme minimum de l'état initial ou le programme minimum du suivi régulier ;
- quelques exemples de suivis additionnels répondant à des besoins particuliers.

Sur les fonds meubles, plusieurs techniques sont utilisées pour le suivi des sédiments et des autres substrats (→ voir partie 8 pour plus de détails sur les techniques, métriques, valeurs) :

- des enregistrements vidéo verticaux sur transects, réalisés en plongée : 3 transects de 25 mètres[108] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre) ;
- des observations visuelles en plongée, permettant de repérer :
  - d'éventuelles accumulations de cadavres ou de matière organique due au nettoyage des installations ou aux pseudofèces ;
  - un aspect anormal des sédiments de surface (coloration) ;
  - la présence de macro-algues (sans toutefois obtenir une quantification) ;
  - la présence de déchets plastiques (cordages, bouées percées, fil de nylon, *etc.*);

L'expert consignera ses observations dans son rapport et les documentera à l'aide de photographies.

- des prélèvements avec benne, depuis la surface, permettant de collecter des sédiments afin de déterminer :
  - la granulométrie
  - le pourcentage de matière organique
- des prélèvements avec carottier (en plongée) afin de déterminer :
  - la couleur et l'odeur des sédiments de surface ainsi que l'aspect de la colonne sédimentaire (épaisseur des couches) ;
  - pour les exploitations situées dans des zones très confinées (donc fragiles), les potentiels redox (tous les 5 cm le long de la carotte).

Sur les fonds durs, le programme minimum comprend une seule technique : des enregistrements vidéo verticaux, réalisés en plongée, sur 3 transects de 25 mètres[109] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre).

Afin de réduire les coûts, les enregistrements vidéos préconisés (autant sur fonds meubles que sur fonds durs) ne sont pas analysés ; ils sont simplement archivés ; ils seront analysés si une dérive est observée (à dire d'expert ou en fonction des résultats obtenus sur les autres paramètres). Dans ce cas, sur vidéo verticale, des analyses d'images permettront par exemple de quantifier l'évolution du recouvrement d'algues (voir partie 8). Pour autant, des photos verticales sont réalisées à chaque début et fin de transect et figurent systématiquement dans le rapport annuel.



108 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.
109 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.

Tableau 45 : Détails du programme de suivi régulier pour une exploitation perlicole individuelle.

PERLICULTURE Exploitation individuelle			Niveaux de suivi								
			niveau 1			niveau 2			niveau 3		
			Stations C	Stations S	Stations B	Stations C	Stations S	Stations B	Stations C	Stations S	Stations B
État initial (minimum) ou **Suivi régulier (minimum)**		Sur les installations	✓	✓		✓	✓		✓	✓	
		Champ proche					✓	✓		✓	✓
		Champ moyen								✓	
		Stations de référence		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres									
Installations	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo des installations*	1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an		
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de déchets en plastique		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)					1 fois/an			1 fois/an	
		Redox								1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Matière organique								1 fois/an	
		Granulométrie								1 fois / 5 ans	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)						1 fois/an			1 fois/an

* sauf pour l'état initial avant installation

Exemples de relevés additionnels
(si la zone est confinée par exemple, ou sur demande expresse du comité de gestion, ou encore pour acceptabilité sociale)

Compartiment	Techniques	Paramètres	Fréquence conseillée	Objectif	Sur les installations	Champ proche	Champ moyen	Stations de référence
Installations	En plongée	Populations de poissons autour des lignes - enregistrement vidéo (et analyse) - UVC (point fixe)	1 fois/an	Évaluer l'effet DCP des lignes	✓			✓
Fonds meubles	Analyses des vidéos verticales ou MSA	Recouvrement de la flore épigée (macroalgues et phanérogames)	1 fois/an	Évaluer l'impact des modifications du substrat et de la qualité de l'eau	✓			✓
	Prélèvement avec benne	Faune endogée de fonds meubles	1 fois/an	Évaluer l'impact des modifications du substrat sur la faune et développement de *proxy*	✓			✓
Fonds durs	En plongée	Suivi des récifs - analyse des enregistrements vidéos du programme minimum Compléments : - LIT/PIT faune macrobenthique et algues	1 fois/an	Évaluer l'impact des modifications de la qualité de l'eau sur la faune et la flore récifale		✓		✓
Eau	Prélèvement d'eau vertical (filet)	Concentration en plastique	1 fois/an	Évaluation de la pollution plastique ; relevé individuel participant à une évaluation globale à l'échelle de la zone	✓			
	Prélèvements d'eau (tournant)	Populations phytoplanctoniques	365 jours/an	Compréhension des phénomènes d'efflorescences (recherche) ; relevé individuel participant à une évaluation globale à l'échelle de la zone	✓			

10.4.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion

La première mesure de gestion concerne les suivis conditionnels (voir 10.2.1). Quelques autres exemples de déclenchement de mesure de gestion sont donnés dans le Tableau 46. Pour la plupart des paramètres, il n'y a pas de valeurs seuils utilisables à proprement parler : il s'agit d'une comparaison de l'évolution des valeurs des paramètres entre les stations potentiellement impactées et la station de référence. La différence d'évolution entre les stations « impact » et les stations « contrôle » devra être significative.

10.4.3 Ajustements

Lorsque la profondeur d'un site dépasse 40 m, les relevés en plongée concernant les sédiments sont largement compromis[110]. Les observations en plongée sur les installations et les zones avec une profondeur accessible doivent malgré tout être maintenues.

Si un programme de suivi plus global existe à l'échelle de l'atoll ou de l'île, il est envisageable de supprimer le suivi des stations de référence et utiliser celles du programme global (voir partie 10.5).

10.4.4 Valeur accordée à ce programme de suivi

Dans leur configuration minimum, les programmes de niveau 1, 2 et 3 sont financièrement acceptables et ont l'avantage de pousser l'exploitant à la mise en place de bonnes pratiques, notamment si l'application de sanctions est juridiquement possible.

			Exemple de déclenchement de mesures de gestion
Installations	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo des installations	**Règle :** Si anomalie(s) détectée(s) (à dire d'expert) > lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant + mises en demeure de remettre les installations en conformité
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)	Sans objet.
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de déchets en plastique	**Règle :** Si anomalie(s) détectée(s) (à dire d'expert), lancement : → d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant → de suivis additionnels : traitement des vidéos ; MSA.
	Prélèvement avec benne	Matière organique	**Règle :** si la concentration en matière organique des sédiments augmente dans le temps par rapport à la référence → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
		Granulométrie	**Règle :** si la granulométrie des sédiments évolue négativement dans le temps par rapport à la référence (augmentation des fines) → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)	**Règle :** Pour la couche de surface : si la couleur des sédiments s'assombrit dans le temps par rapport à la référence ou si l'odeur de soufre apparaît ou devient plus forte ; → déclenchement du suivi de niveau supérieur Pour la colonne sédimentaire : si le profil vertical sédimentaire montre une tendance à l'assombrissement global sur les 20 premiers cm → déclenchement du suivi de niveau supérieur
		Redox	**Règle :** si le potentiel redox des sédiments évolue négativement dans le temps par rapport à la référence (diminution du redox) → lancement d'une enquête sur les pratiques de l'exploitant. → déclenchement du suivi de niveau supérieur + suivis additionnels au cas par cas
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)	Sans objet.

Tableau 46 : Exemple de mesures de gestion selon les résultats obtenus sur les différents paramètres pour une exploitation perlicole individuelle.

110 Une profondeur importante reste pour autant un atout en termes de capacité de dilution des effluents.

10.5 SUIVI PERLICOLE À L'ÉCHELLE D'UN ATOLL

Dans cet exemple fictif (voir Figure 52), on imagine la situation suivante :

- l'atoll mesure environ 25 km de long et 8 km de large ; il est en grande partie ouvert avec une influence océanique forte ;
- l'activité principale sur cet atoll est la perliculture ;
- il comporte 17 concessions perlicoles dédiées à l'élevage de nacres ou la perliculture ; les concessions occupent au total une surface d'environ 20 % de la surface totale de l'atoll (ce qui dépasse le plafond écologique actuel mais qui correspond malheureusement à une réalité pour certains atolls) ; toutes les concessions sont équipées de lignes ; le nombre total de lignes est estimé à 700 ; les concessions sont regroupées en 4 zones (A, B, C et D) ;
- dans la plupart des concessions perlicoles, on trouve un abri sur pilotis construit sur une *karena* ; il abrite en général un fare greffe, une zone de nettoyage avec un surpresseur, une petite cuisine, des toilettes (sans cuve) ; les eaux grises et noires sont rejetées directement dans le milieu **(ce qui est une mauvaise pratique !)** ; certaines fermes disposent d'un fare greffe à terre avec une marina ;
- en raison des faibles performance de collectage, l'atoll reçoit régulièrement des nacres venant d'un autre atoll ;
- les exploitants n'utilisent aucun produits dangereux (à part les hydrocarbures) ;
- les exploitants utilisent des petites embarcations motorisées pour les trajets dans le lagon ;
- la bathymétrie et la courantologie de l'atoll sont connues ; le renouvellement des masses d'eau est considéré comme assez bon.

10.5.1 Suivi minimum proposé

On imagine dans le traitement de cet exemple qu'aucun programme de suivi n'est mené à l'échelle individuelle sur les différentes concessions[111]. Le programme de suivi à déployer n'est donc pas la juxtaposition de multiples programmes de suivi individuels. Il est conçu à une échelle beaucoup plus large : celle de l'atoll. Un exemple de suivi perlicole à l'échelle d'une exploitation individuelle est proposé en partie 10.4.

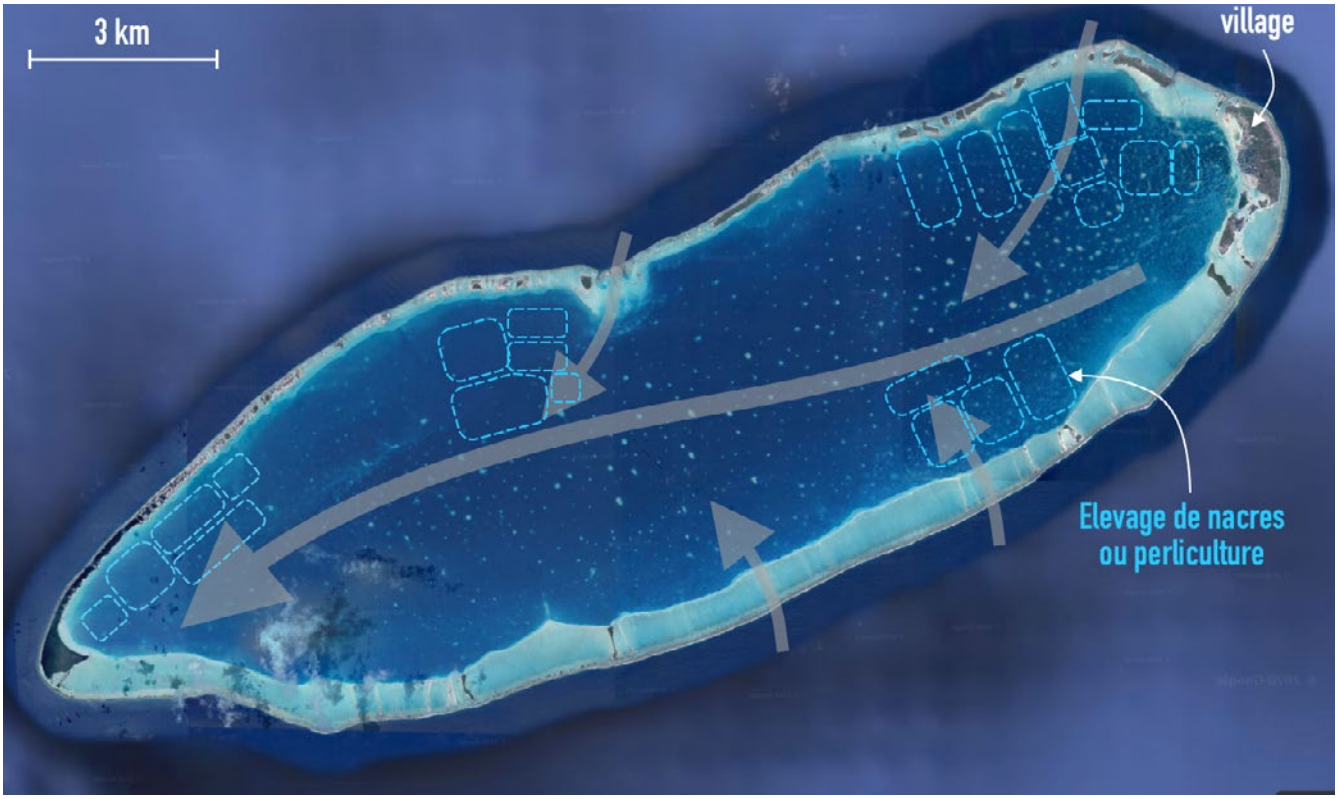


Figure 52 : Zone perlicole fictive sur laquelle un programme de suivi doit être déployé.

111 Si au contraire des programmes de suivi étaient en place sur chacune des concessions, les données issues des programmes individuels pourraient venir alimenter le suivi à l'échelle de l'atoll.

Il est à ce jour difficile de savoir si un atoll comprenant 20 % de sa surface en élevage de nacres voit sa qualité environnementale se dégrader année après année en raison de l'activité perlicole[112]; il n'est d'ailleurs pas plus facile de savoir ce qu'il en est des atolls pour lesquels les plafonds écologiques[113] existant ne sont pas atteints. Le programme de suivi présenté ici doit servir à répondre à cette question : suivre l'évolution de l'état de la qualité du milieu marin à l'échelle de l'atoll et donc aider à la mise en place de mesure de gestion. Son échelle large le rapproche d'un programme de suivi de type patrimonial.

Ce programme de suivi est typiquement un programme conçu et porté par la collectivité (Gouvernement de la Polynésie française) et qui s'inscrirait probablement dans une démarche visant à déployer le même programme sur d'autres atolls. Le programme décrit ici tient compte de cette réalité potentielle, proposant une solution pragmatique.

L'objectif est donc de fournir une image globale de l'état de santé du milieu marin de l'atoll.

Il est donc important de considérer le programme présenté dans cet exemple comme étant un élément d'un programme plus vaste qui serait mené sur plusieurs atolls.

Même s'il contribuera à une augmentation des connaissances, il ne s'agit pas d'un programme d'acquisition de connaissances scientifiques. Le programme répond à un besoin de gestion.

Les données zootechniques nécessaires au programme de suivi sont listées dans le Tableau 47. La connaissance de ces données implique la mise en place d'un système de déclaration obligatoire de la part de tous les exploitants (ce système n'est pas décrit dans ce guide). Ces données pourront être confrontées aux résultats des suivis environnementaux du programme.

Données techniques	Besoins
Importations de matériel professionnel destiné à l'élevage des nacres et à la perliculture	Nombre de bouées (taille, matériau) Longueurs et types de cordages (matériau) Longueurs et types de grillages Nombre de kangaroos Nombre de collecteurs (type, marque)
Evénements survenus sur les exploitations	Date, nature de l'événement, mesures prises en réponse à l'événement Il peut s'agir d'événements très divers : pollution, casses, événement météo intense, absence de houle, efflorescence (date, couleur de l'eau, surface estimée dans la concession (en %)), *etc.*
Episodes de morbidité/ mortalité	Date, nature de l'événement, raisons connues, mesures prises en réponse à l'événement
Cheptel et production	Nombre total de lignes Nombre total de nacres Nombre total de perles Exportation de nacres (nombre, destination) Importation de nacres (nombre, provenance)

Tableau 47 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi.

112 Sauf bien sûr en raison de la pollution plastique qui, elle, ne fait aucun doute lorsque les exploitants laissent se dégrader les installations.

113 Surface maximum cumulée occupée les concessions : 5 % pour un atoll fermé, 8 % pour un atoll semi-ouvert, et 10 % pour un atoll ouvert.

Pour les données environnementales, un programme de type *BACI* est impossible puisque pour la plupart des atolls, les exploitations sont déjà en place. L'objectif étant prioritairement de qualifier globalement l'état du milieu marin pour l'atoll, les notions de champs proche, moyen et lointain sont moins utiles ici pour structurer le programme. Pour chaque station, on pourra simplement dire si elle est positionnée en zone de concession ou hors zone de concession. Il est impossible de déterminer *a priori* si les stations hors zone de concession pourront être considérées comme hors influence perlicole ou si le recours aux résultats d'un programme de suivi situé dans un atoll non perlicole sera nécessaire pour définir une référence. Idéalement, ce programme de suivi est donc accompagné d'un programme de suivi (de niveau 3 ; voir Tableau 49). Le programme de suivi concerne :

- les fonds meubles ;
- les fonds durs ;
- la colonne d'eau.

La Figure 53 montre le positionnement des différentes stations de suivi dans l'atoll. Dans chacune des zones en exploitation, le réseau s'appuie sur une station unique de suivi de la qualité de l'eau et des sédiments et une station unique de suivi de la qualité des populations récifales. Cela peut paraître peu mais l'objectif de ce programme de suivi n'est pas de détecter et quantifier finement la pression exercée par tel ou tel groupe de concessions perlicoles. Pour autant, disposer d'une station par groupe de concessions permet d'emblée d'obtenir un effort d'échantillonnage « proportionnel » à l'intensité de la pression. Globalement, une moyenne de 4 stations S (fonds meubles et colonne d'eau) et 4 stations B (fonds durs) par tranche de 100 km^2 paraît être une bonne moyenne.

Dans le cas présent, sur 8 stations, 4 sont situées en zone de concessions, alors que celles-ci occupent 20 % de la surface globale de l'atoll. Le positionnement des stations est donc clairement orienté afin de diriger l'effort d'échantillonnage vers les zones potentiellement impactées (ce parti pris est évidemment discutable). Les résultats du programme de suivi, présentés par exemple sous la forme d'une note globale à l'échelle de l'atoll, pourront être traités de différentes manières :

- en tenant compte de ce biais dans l'échantillonnage, et en pondérant les résultats obtenus sur chaque station, faisant peser les stations impact pour 20 % de la note finale ; et 80 % pour les stations hors zone de concession ;



Figure 53 : Proposition de positionnement des différentes stations de suivi d'un atoll perlicole.

- ou bien en ne tenant pas compte de ce biais et en estimant que les stations situées en zone potentiellement impactée « pèsent » autant que les stations situées en zone hors concession.

Contrairement au programme de suivi individuel perlicole (décrit en partie 10.4), on considère ici que le suivi de la qualité de l'eau est pertinent[114], malgré la nature extractive de l'activité et les contraintes logistiques liées au contexte : il est probable qu'un tel programme soit en effet porté/financé par la collectivité et puisse bénéficier de moyens financiers plus importants qu'un suivi individuel (porté plus probablement par l'exploitant[115]).

On considère que la courantologie et la bathymétrie ont déjà été réalisées.

Le Tableau 48 présente un exemple de programme de suivi décliné selon différents niveaux. Le tableau est par ailleurs coupé en deux parties :

- le programme minimum ;
- quelques exemples de suivis additionnels répondant à des besoins particuliers.

Selon les conditions, 3 niveaux d'intensité de suivi (Tableau 49) sont possibles, permettant d'ajuster l'effort d'échantillonnage à la pression subie par l'atoll. Pour les atolls ayant subi un *crash*, le niveau de suivi est automatiquement de niveau 3.

ATOLL PERLICOLE (ou zone perlicole)			Niveaux de suivi					
			Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3	
Suivi régulier (minimum)			Stations S	Stations B	Stations S	Stations B	Stations S	Stations B
		Dans les concessions	✓		✓	✓	✓	✓
		Hors concession	✓		✓	✓	✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres						
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence d'espèces envahissantes - présence de déchets en plastique	1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)	1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
	Analyses des vidéos verticales ou relevés MSA	Recouvrement de la flore épigée (macroalgues et phanérogames)			1 fois/an		1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)			1 fois/an		1 fois/an	
		Redox					1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Matière organique					1 fois/an	
		Granulométrie					1 fois/an	
		Faune endogée de fonds meubles					1 fois/an	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)		1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an
Eau	Prélèvement d'eau vertical (filet)	Concentration en plastique	1 fois/an		1 fois/an		1 fois/an	
	Prélèvements d'eau (tournant)	Populations phytoplanctoniques					365 fois/an	
	Profils verticaux	Oxygène dissous, Chlorophylle a, température, salinité, turbidité					12 fois/an	

Exemples de relevés additionnels (si la zone est confinée par exemple, ou sur demande expresse du comité de gestion, ou encore pour acceptabilité sociale)						
Compartiment	Techniques	Paramètres	Objectif		Dans les concessions	Hors concession
Installations	En plongée	Populations de poissons autour des lignes - enregistrement vidéo (et analyse) - UVC (point fixe)	1 fois/an	Evaluer l'effet DCP des lignes	✓	✓
Fonds durs	En plongée	Suivi des récifs - analyse des enregistrements vidéos du programme minimum Compléments : - LIT/PIT faune macrobenthique et algues	1 fois/an	Evaluer l'état de la faune et la flore récifale	✓	✓

Tableau 48 : Détails du programme de suivi régulier pour un atoll perlicole.

114 Idéalement, ces suivis devraient se faire en continu, de façon automatisée.
115 La question du financement des programmes de suivi de la qualité du milieu marin n'est pas traitée dans ce guide et les portages ne sont cités qu'à titre d'exemple.

	Surface de l'atoll occupé en concession		
	Moins de 1 %	**Entre 1 et 3 %**	**Plus de 3 %**
Atoll ouvert	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Atoll semi-ouvert	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 3
Atoll fermé	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3

Tableau 49 : Niveaux de suivi pour les atolls perlicoles.

Sur les fonds meubles, plusieurs techniques sont listées pour le suivi des sédiments (→ voir partie 8 pour plus de détails sur les techniques, métriques, valeurs) :

- des observations visuelles en plongée, permettant de repérer :
  - d'éventuelles accumulations de cadavres ou de matière organique due au nettoyage des installations ou aux pseudofèces ;
  - un aspect anormal des sédiments de surface (coloration) ;
  - la présence de macro-algues (sans toutefois obtenir une quantification → un autre suivi leur est dédié) ;
  - la présence d'espèces envahissantes ;
  - la présence de déchets plastiques (cordages, bouées percées, fil de nylon, *etc.*) ;

L'expert consignera ses observations dans son rapport et les documentera à l'aide de photographies.

- des enregistrements vidéo verticaux sur transects, réalisés en plongée : 3 transects de 25 mètres[116] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre) ;
- les analyses de ces vidéos afin d'obtenir une évolution quantifiée de la couverture algale (avec éventuellement un recours à une technique de type MSA : *Middle Scale Approach*, si plus adaptée) ;
- des prélèvements avec benne[117], depuis la surface, permettant de collecter des sédiments afin de déterminer :
  - la granulométrie
  - le pourcentage de matière organique
  - la couleur et l'odeur ;
  - la faune endogée ;
- le prélèvement de carottes de sédiments (les 20 premiers centimètres) afin de déterminer les potentiels redox (tous les 5 cm le long de la carotte).

Sur les fonds durs, le programme minimum comprend une seule technique : des enregistrements vidéo verticaux, réalisés en plongée, sur 3 transects de 25 mètres[118] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre).

Afin de réduire les coûts, les enregistrements vidéos préconisés (autant sur fonds meubles que sur fonds durs), selon le niveau de suivi, ne sont pas forcément analysés ; ils sont alors simplement archivés et analysés si une dérive est observée (à dire d'expert ou en fonction des résultats obtenus sur les autres paramètres). Dans ce cas, sur vidéo verticale, des analyses d'images permettront par exemple de quantifier l'évolution du recouvrement d'algues (voir partie 8). Pour autant, des photos verticales sont réalisées à chaque début et fin de transect et figurent systématiquement dans le rapport annuel.

116 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.
117 Lorsque les fonds sont constitués de gravats coralliens, l'utilisation d'une benne ne convient pas. La constitution de l'échantillon se fera en plongée.
118 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.

Les trois niveaux de programme comportent un suivi de la pollution par le plastique. Pour le suivi de niveau 3 (le plus intense), d'autres suivis sont ajoutés :

- par prélèvement : les populations phytoplanctoniques en cas d'efflorescences, avec un système permettant de disposer d'un historique (de 6 jours) avant l'efflorescence (lot de 7 contenants tournants → voir partie 8 pour plus de détails) ;
- avec une sonde CTD, pour obtenir des profils sur les paramètres suivants :
  - Oxygène dissous ;
  - Chlorophylle a ;
  - Turbidité ;
  - Température.

Ces deux derniers suivis sont très gourmands en termes de ressources humaines car ils nécessitent des interventions nombreuses pour être opérationnels ; compte-tenu des moyens disponibles, il semble que de tels suivis ne soient envisageables que sur peu d'atolls (donc en priorité les atolls de niveau 3 ; voir Tableau 49).

Selon la volonté et les moyens de la collectivité, des suivis additionnels sont envisageables. Les suivis sur fonds durs sont en effet réduits au plus élémentaire avec des enregistrements de vidéos verticales sur transects de 25 m, sans analyses et sans aucun autre relevé *in situ*. Des relevés *in situ* pourront être ajoutés :

- LIT ou PIT pour le suivi de la faune et la flore macrobenthiques sur fonds durs ;
- Des comptages de poissons.

Des comptages de poissons peuvent également être ajoutés afin de quantifier l'effet des lignes qui peuvent agir comme un dispositif de concentration de poissons.

10.5.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion

Dans le cadre de ce programme, les mesures de gestion qui peuvent être adoptées à la lumière des résultats obtenus sont plutôt de l'ordre de grandes orientations en matière de politique environnementale : détermination des plafonds écologiques, lancement de programmes de lutte contre la pollution plastique, *etc*. Contrairement aux autres exemples développés dans ce guide, ce paragraphe ne donnera donc pas de règle de déclenchement.

10.5.3 Ajustements

Lorsque la profondeur d'un site dépasse 40 m, les relevés en plongée concernant les sédiments sont largement compromis[119]. Dans ces conditions, ces relevés seront remplacés par des prélèvements avec benne :

- avec le suivi de l'odeur et de la couleur des sédiments (pour les atolls en Niveau 1) ;
- avec le suivi de l'odeur et de la couleur des sédiments, ainsi que la concentration en matière organique (pour les atolls en Niveau 2) ;

Ce programme pourrait par ailleurs intégrer la collecte de nacres destinés aux analyses sanitaires du réseau REPANUI.

10.5.4 Valeur accordée à ce programme de suivi

Le programme de suivi de niveau 1 est largement moins informatif que le programme de niveau 3. Si tous deux ont pour objectif de fournir une image de l'état du milieu marin de l'atoll, le programme de niveau 3 est beaucoup plus complet et répondra mieux à la question posée. Pour autant, le programme de niveau 1 constitue un système de vigilance de base qui pourrait permettre de repérer quelques dysfonctionnements du milieu naturel et provoquer une éventuelle intensification du programme (passage en niveau 2 ou 3) ou la mise en place de suivis spécifiques (suivis d'espèces envahissantes par exemple).

10.6 COMPLEXE AQUACOLE À TERRE

Dans cet exemple fictif (voir Figure 54), on imagine la situation suivante :

- sur une île haute, en bord de mer, une zone non aménagée est destinée à recevoir un ensemble de projets aquacoles variés sur une surface d'environ 40 ha ;
- la zone est découpée en plusieurs lots qui abriteront chacun des activités aquacoles différentes : crevetticulture, pisciculture, élevage de bénitiers, élevage d'holothuries, fabrication d'aliments destinés à l'aquaculture ; des lots sont encore non attribués ;
- chaque lot contiendra donc des installations aquacoles ainsi que des bâtiments variés pouvant accueillir des employés (et éventuellement du public) ;

119 Une profondeur importante reste pour autant un atout en termes de capacité de dilution des effluents.

- les effluents d'élevage et les eaux usées (humaines) seront séparées : les effluents (d'élevage) seront destinés à être rejetés en mer, alors que les autres eaux usées seront traitées puis collectées dans le réseau communal ;
- les effluents des différents lots seront collectés, traités puis rejetés au travers d'un émissaire de rejet à 300 m au large et à 10 m de profondeur (c'est-à-dire au niveau du substrat) ;
- les différents lots seront alimentées en eau de mer grâce à un captage situé à 700 m au large, et à 35 m de profondeur ;
- des produits dangereux seront utilisés sur le site (dont la liste est connue) et pourront éventuellement se retrouver dans l'effluent global ;
- la bathymétrie et la courantologie de la zone marine située en aval du projet sont connues.

Le comité de gestion souhaite connaître l'état de la zone marine (la baie n°1) dans les futurs champs proche et moyen autour de l'émissaire de rejet, avant construction du complexe aquacole. La baie n°1 est en effet une zone de pêche vivrière. Le comité souhaite par ailleurs savoir si le complexe a un impact sur le milieu marin. Le projet étant de grande dimension, le comité de gestion estime que le programme de suivi régulier devra fournir des informations complètes et à une fréquence permettant de réagir rapidement en cas d'anomalie. La qualité de l'effluent global fera évidemment l'objet d'une attention toute particulière. La fourniture d'un rapport est attendue tous les ans, au minimum.

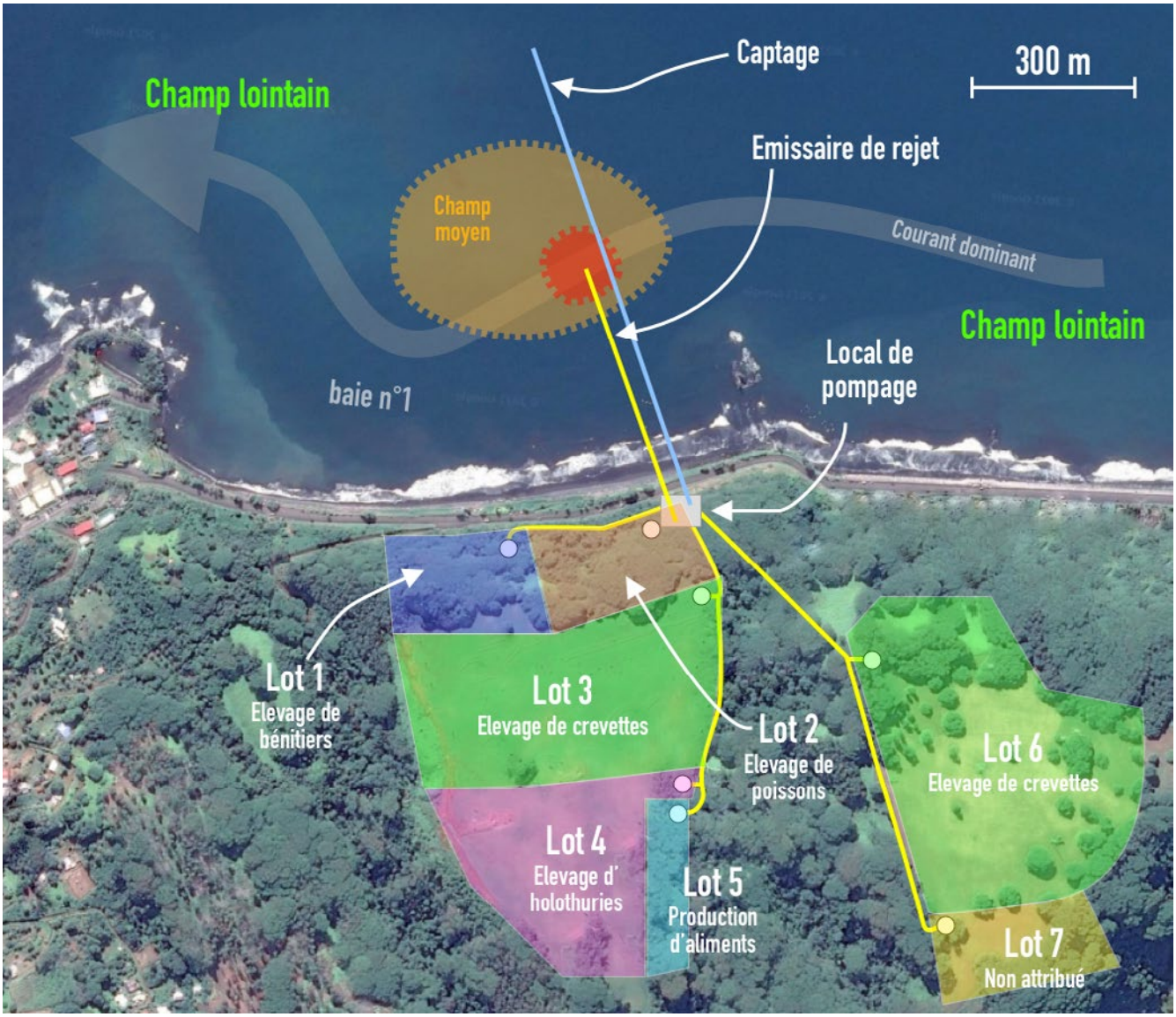


Figure 54 : Plan de masse d'un gros projet aquacole terrestre.

10.6.1 Suivi minimum proposé

Le programme de suivi répond à un besoin de gestion (il ne s'agit pas d'un programme de recherche).

Même si la taille diffère, l'organisation globale d'un tel complexe ressemble sur le principe à celle d'une exploitation aquacole avec des bassins de terre (ferme crevetticole) ou d'une écloserie de crevettes/poissons avec des cuves à terre. Mais les rejets des différentes exploitations sont ici collectés puis rejetés en un seul point, à distance de la côte et en profondeur. Le lecteur pourra se reporter à la partie 8 du guide afin d'identifier les différentes pressions et menaces en fonction des activités pratiquées au sein du complexe. Le lecteur pourra aussi consulter la partie 9 pour avoir davantage d'explications sur les paramètres choisis pour le suivi.

On fait ici abstraction des éventuels systèmes de filtration/remédiation utilisés par les différentes exploitations et de leur performance en considérant le complexe comme une « boîte noire » potentiellement défaillante et dont on suit les rejets (pressions) de l'effluent principal et les éventuels impacts.

Le complexe n'étant pas encore construit, il est tout à fait possible de mettre en place un suivi de type BACIPS (voir partie 6.2). Dans la zone à suivre, les biotopes principalement représentés sont les fonds meubles et les récifs frangeants.

Les données zootechniques nécessaires au programme de suivi sont listées dans le Tableau 50. *A minima*, la fréquence de transmission de ces données aux autorités compétentes sera annuelle.

Données techniques	Besoins
Débit de l'effluent principal	Débit moyen annuel, débit maximum instantané, débit total
Débits des effluents secondaires	Débit moyen annuel, débit maximum instantané, débit total
Aliments distribués sur chaque lot	Quantité totale mensuelle et annuelle (pour l'exploitation) (en kg et kg/m^3) Composition
Occupation des bassins principaux et des cuves principales	*A minima*, avec la fréquence la plus resserrée possible, par installation[120] : - nombre d'individus (estimés) - tonnage estimé
Production annuelle sur chaque lot	Réelle : - par installation (en kg et kg/m^3) (ex : par bassin) - pour l'exploitation Prévue pour les années suivantes : - par installation (en kg et kg/m^3) (ex : par bassin, par cuve) - pour l'exploitation
Incidents/accidents survenus sur l'exploitation (pollution)	Date, nature de l'événement, mesures prises en réponse à l'événement
Episodes de morbidité/mortalité	Date, nature de l'événement, raisons connues, mesures prises en réponse à l'événement
Installations	Nombre total de bassins, cuves, *etc.* et caractéristiques (volume, matériaux utilisés) Nombre de bassins actifs et cuves actives (calendrier d'occupation par bassin) Caractéristiques des bassins (dimensions, pratiques de nettoyage) Caractéristiques des bassins de décantation et dispositifs de remédiation

Tableau 50 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi.

120 Connaître la production prévue par installation permet d'identifier la vidange qui pourrait provoquer la charge potentielle la plus forte dans l'effluent principal.

L'effluent d'un tel complexe étant la somme des effluents secondaires, le lecteur pourra se reporter à la partie 8 du guide afin d'identifier les différentes pressions et menaces associées aux exploitations aquacoles prévues dans le plan d'occupation du complexe (et à la partie 9 pour avoir davantage d'explications sur les paramètres choisis pour le suivi).

Dans notre exemple, le programme de suivi est axé sur la principale pression : l'apport en matière organique et en nutriments (les autres pressions ne sont pas considérées comme suffisamment élevées pour impliquer un suivi). L'impact potentiel est une eutrophisation du milieu, avec une dégradation du sédiment et du substrat ; sur les fonds meubles, une modification éventuelle de la flore épigée et de la faune endogée ; sur les récifs, le développement d'algues au détriment des coraux.

Idéalement, le positionnement des stations devrait se faire sur la base des résultats d'une modélisation hydrodynamique. En l'absence de modélisation, le positionnement est fait à « dire d'expert » et peut être ajusté en fonction des premiers résultats du suivi. Un programme de suivi minimal pourra s'appuyer :

- sur une station de relevé dans l'effluent non dilué (EP01) ; c'est-à-dire avec une qualité d'eau telle que celle rejetée dans le milieu extérieur au complexe ;
- sur une deux radiales positionnées en croix à la sortie de l'émissaire de rejet sur les fonds meubles en champ proche et en champ moyen ;
- et sur plusieurs stations (4) de suivis des fonds durs, sur le récif frangeant.

Trois niveaux de programmes sont proposés ; ils sont dépendants du tonnage cumulé d'aliment distribué sur le complexe et du degré de renouvellement des eaux (Tableau 51). Bien entendu, le niveau peut être adapté aux enjeux.



Figure 55 : Plan d'échantillonnage pour l'état initial et un programme de suivi régulier d'une exploitation aquacole avec cages en mer.

	Tonnage cumulé d'aliment distribué sur le complexe		
	Moins de 200 tonnes	**200 à 300 tonnes**	**Plus de 300 tonnes**
Fort renouvellement	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Renouvellement moyen	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 3
Faible renouvellement	Niveau 3	Niveau 3	Niveau 3

Tableau 51 : Niveaux de suivi pour les complexes aquacoles terrestres.

Les Tableau 52 et Tableau 53 présentent un exemple de programmes de suivi déclinés selon les différents niveaux. Les tableaux présentent :

- le programme minimum de l'état initial ;
- le programme minimum du suivi régulier ;
- et quelques exemples de suivis additionnels répondant à des besoins particuliers.

Outre le fait que l'effluent n'existe pas pendant l'état initial, la différence principale entre le programme de suivi régulier et celui de l'état initial réside dans les fréquences pour les relevés hydrologiques. Pendant l'état initial, les relevés hydrologiques sont trimestriels, afin d'obtenir une image plus précise de la variabilité des valeurs pour les différents paramètres. Ils seront annuels pendant le suivi régulier.

Dans l'effluent, les paramètres suivants sont mesurés : MES (matière en suspension), azote total, phosphore total, pH et température ; avec des fréquences mensuelle, bimensuelle ou hebdomadaire selon le niveau de suivi ; les métriques suivantes peuvent utilement être calculées : maximum, percentile 80, médiane, moyenne.

Sur les fonds meubles, plusieurs techniques sont utilisées pour le suivi des sédiments et des autres substrats (→ voir partie 8 pour plus de détails sur les techniques, métriques, valeurs) ; selon le niveau de suivi :

- des enregistrements vidéo verticaux sur transects, réalisés en plongée : 3 transects de 25 mètres[121] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre) ;
- les analyses de ces vidéos ou des comptages de type MSA *(Middle Scale Approach)* pour un suivi de l'évolution de la couverture algale (seulement si des algues sont observées) ;
- des observations visuelles en plongée, permettant de repérer :
  - d'éventuelles accumulations de cadavres ou de matière organique ;
  - un aspect anormal des sédiments de surface (coloration) ;
  - la présence de macro-algues (sans toutefois obtenir une quantification) ;
  - la présence de bactéries liées aux sulfures ;

L'expert consignera ses observations dans son rapport et les documentera à l'aide de photographies.

- des prélèvements avec benne, depuis la surface, et permettant de collecter des sédiments afin de déterminer :
  - la granulométrie ;
  - le pourcentage de matière organique ;
  - la couleur et l'odeur ;
  - faune endogée ;
- pour les exploitations dont le tonnage dépasse 100 tonnes, le prélèvement de carottes de sédiments (les 20 premiers centimètres) afin de déterminer les potentiels redox (tous les 5 cm le long de la carotte).

Sur les fonds durs, le programme minimum comprend une seule technique : des enregistrements vidéo verticaux, réalisés en plongée, sur 3 transects de 25 mètres[122] par station (avec une largeur filmée de 1 mètre).

121 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.
122 Cette longueur peut parfaitement être adaptée selon la configuration des lieux.

Afin de réduire les coûts, les enregistrements vidéos préconisés (autant sur fonds meubles que sur fonds durs) ne sont pas analysés ; ils sont simplement archivés ; ils seront analysés si une dérive est observée (à dire d'expert ou en fonction des résultats obtenus sur les autres paramètres). Dans ce cas, sur vidéo verticale, des analyses d'images permettront par exemple de quantifier l'évolution du recouvrement d'algues (voir partie 8). Pour autant, des photos verticales sont réalisées à chaque début et fin de transect et figurent systématiquement dans le rapport annuel.

Afin de contrôler l'état du tuyau de l'émissaire de rejet, le programme peut être complété avec un suivi de type inspection visuelle en plongée assorti de son rapport d'expertise (photographie et vidéo).

Idéalement, le suivi de la qualité de l'eau en entrée sur le site (station C01) est conseillé.

Selon le contexte ou les attentes du comité du gestion, des relevés additionnels peuvent compléter le suivi minimum régulier. Le Tableau 53 en liste quelques-uns ainsi que les objectifs associés à chacun d'entre eux.

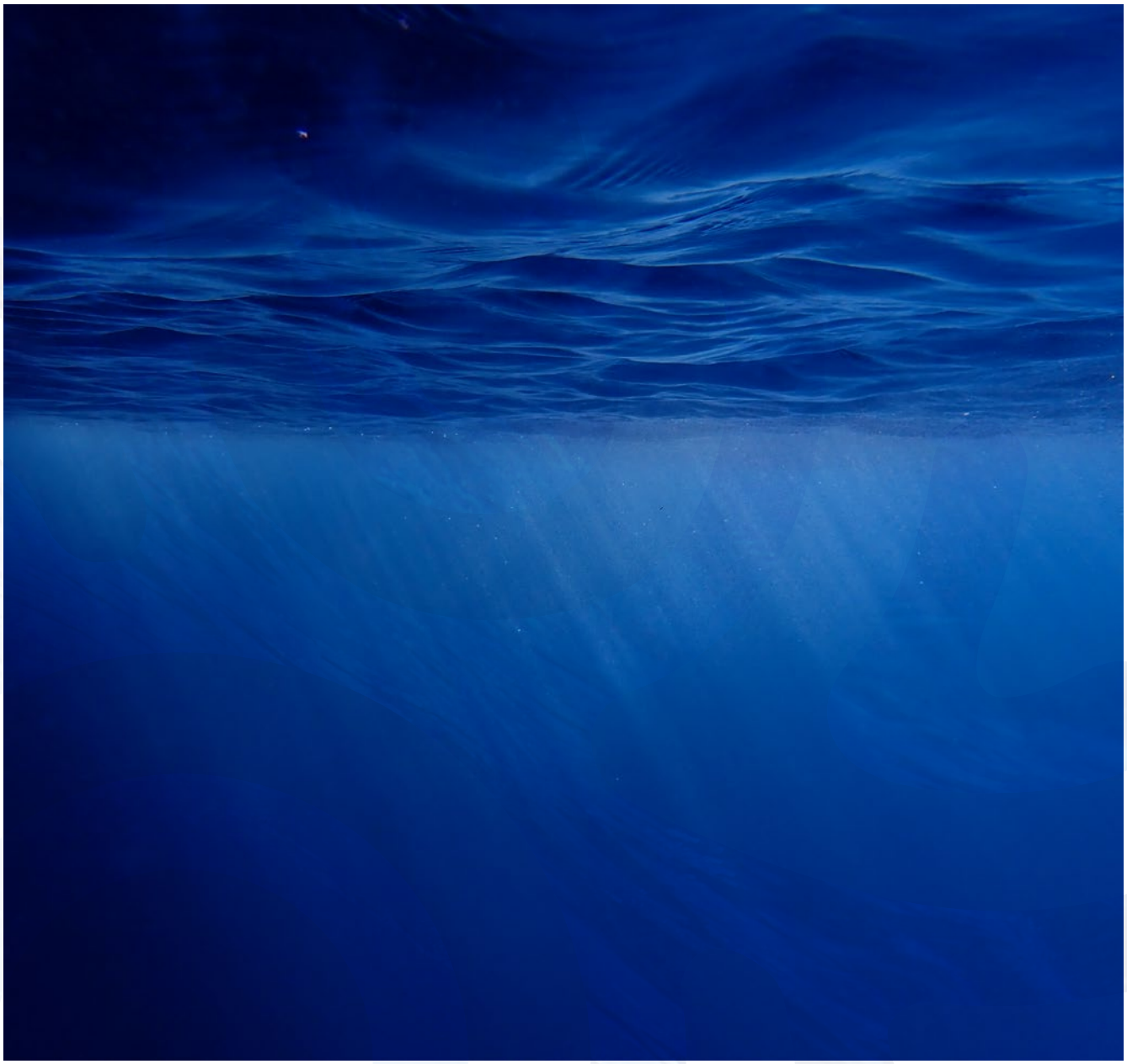


Tableau 52 : Détails du programme pour l'état initial et du suivi régulier minimum pour un complexe aquacole.

COMPLEXE AQUACOLE À TERRE			Niveaux de suivi								
			Niveau 1			Niveau 2			Niveau 3		
			Stations EP	Stations S	Stations B	Stations EP	Stations S	Stations B	Stations EP	Stations S	Stations B
État initial (minimum)		Champ proche		✓	✓		✓	✓		✓	✓
		Champ moyen		✓	✓		✓	✓		✓	✓
		Stations de référence		✓	✓		✓	✓		✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres									
Eau	Prélèvement	MES		4 fois/an			4 fois/an			4 fois/an	
		Azote total		4 fois/an			4 fois/an			4 fois/an	
		Phosphore total		4 fois/an			4 fois/an			4 fois/an	
		pH		4 fois/an			4 fois/an			4 fois/an	
		Température		4 fois/an			4 fois/an			4 fois/an	
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Matière organique		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Granulométrie		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Faune endogée de fonds meubles								1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Redox		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Analyses des vidéos verticales ou MSA	Recouvrement de la flore épigée (macroalgues et phanérogames)		1 fois/an**			1 fois/an**			1 fois/an**	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an

** seulement si un développement algal est observé

Suivi régulier minimum			Stations EP	Stations S	Stations B	Stations EP	Stations S	Stations B	Stations EP	Stations S	Stations B
		Dans l'effluent	✓			✓			✓		
		Champ proche		✓	✓		✓	✓		✓	✓
		Champ moyen		✓	✓		✓	✓		✓	✓
		Stations de référence	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Compartiment	Techniques	Paramètres									
Eau	Prélèvement	MES	12 fois/an*	1 fois/an*		26 fois/an*	1 fois/an*		52 fois/an*	1 fois/an*	
		Azote total	12 fois/an*	1 fois/an*		26 fois/an*	1 fois/an*		52 fois/an*	1 fois/an*	
		Phosphore total	12 fois/an*	1 fois/an*		26 fois/an*	1 fois/an*		52 fois/an*	1 fois/an*	
		pH	12 fois/an*	1 fois/an*		26 fois/an*	1 fois/an*		52 fois/an*	1 fois/an*	
		Température	12 fois/an*	1 fois/an*		26 fois/an*	1 fois/an*		52 fois/an*	1 fois/an*	
Fonds meubles	Inspection visuelle en plongée	Enregistrement vidéo du substrat (vidéo verticale du substrat sur transect)		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Observations visuelles : - accumulation de cadavre ou de matière organique - aspect des sédiments de surface (zone colorée) - présence de macro-algues - présence de bactéries liées aux sulfures		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec carottier (en plongée)	Odeur des sédiments de la couche de surface Aspect de la colonne sédimentaire (couleur et épaisseur des différentes couches sur les 20 premiers cm)		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Redox		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
	Prélèvement avec benne	Matière organique		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Granulométrie		1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an	
		Faune endogée de fonds meubles								1 fois/an	
	Analyses des vidéos verticales ou MSA	Recouvrement de la flore épigée (macroalgues et phanérogames)		1 fois/an*			1 fois/an*			1 fois/an*	
Fonds durs	En plongée	Enregistrement vidéo sur récif (vidéo verticale)			1 fois/an			1 fois/an			1 fois/an

* dont une fois au moment le plus critique pour la qualité de l'eau, compte-tenu du fonctionnement du complexe

** seulement si un développement algal est observé

COMPLEXE AQUACOLE À TERRE

Exemples de relevés additionnels
(si la zone est confinée par exemple, ou sur demande expresse du comité de gestion, ou encore pour acceptabilité sociale)

Compartiment	Techniques	Paramètres	Fréquence conseillée	Objectif	Dans l'effluent	Champ proche	Champ moyen	Stations de référence	Sur installation
Fonds meubles	Prélèvement avec benne	Zinc	1 fois (unique)	Déterminer l'étendue spatiale de l'enrichissement en matière organique	✓	✓	✓	✓	
		Isotopes stables C et N	1 fois (unique)	Discriminer l'apport organique du complexe de celui d'une autre source	✓			+ autre source suspectée	
Fonds durs	En plongée	Suivi des récifs - analyse des enregistrements vidéos du programme minimum Compléments : - LIT/PIT faune macrobenthique et algues	1 fois/an	Evaluer l'impact des modifications de la qualité de l'eau sur la faune et la flore récifale		✓	✓	✓	
Eau	Profils verticaux	Oxygène dissous, Chlorophylle a, température, salinité	24 fois/an	Evaluer l'impact de l'exploitation sur la colonne d'eau	✓	✓	✓	✓	
Tuyau de l'émissaire de rejet	Inspection visuelle en plongée	Relevé vidéo le long du tuyau de l'émissaire	1 fois/an	Evaluer l'état du tuyau					✓

Tableau 53 : Exemple de relevés additionnels pour le programme de suivi d'un complexe aquacole terrestre

10.6.2 Règles de déclenchement des mesures de gestion

Lorsque les résultats, notamment de l'effluent, ne sont pas conformes aux objectifs fixés, les principales mesures de gestion consistent en des enquêtes afin de déterminer les éventuels dysfonctionnements qui pourraient exister sur les différents lots, la fréquence de suivi de l'effluent principal étant largement plus élevée que celle des effluents secondaires. En cas de suspicion, des suivis peuvent être mis en place sur les différents effluents (ou sur un en particulier), ainsi que des sanctions.

Deux types de seuils sont utilisables pour les MES, l'azote total et le phosphore total :

- Seuil de concentration instantanée : la concentration mesurée est comparée avec une valeur absolue de concentration à ne pas dépasser ; en l'état actuel des connaissances, cette concentration est établie sur la base des données bibliographiques ;
- Seuils de flux annuel : en mesurant plusieurs fois dans l'année des concentrations dans l'effluent, et en connaissant les débits de cet effluent, il est possible d'estimer le flux annuel et de le comparer au flux annuel admissible ; en l'état actuel des connaissances, ce flux annuel admissible n'est pas connu ; il serait utile de lancer des travaux de recherche pour déterminer ce flux (dans différentes conditions de renouvellement des masses d'eau).

10.6.3 Ajustements

La collectivité pourra, pendant les travaux de construction, déployer un programme de suivi afin notamment de s'assurer que l'érosion est maitrisée (suivi des MES ou pièges à sédiment). Lorsque la profondeur d'un site dépasse 40 m, les relevés en plongée sont largement compromis[123]. Le recours à un ROV est possible.

En cas de suspicion de dysfonctionnement d'une exploitation (ferme d'élevage ou écloserie) provoquant une pollution chronique de l'effluent avec des substances dangereuses, les autorités compétentes pourront ajouter au programme de suivi le dosage de ces substances et effectuer des contrôles supplémentaires au niveau de son émissaire propre.

Enfin, si les autorités compétentes estiment que cela est nécessaire, une inspection visuelle le long du tuyau de captage et de l'émissaire de rejet pourra être programmée afin de détecter d'éventuelles anomalies sédimentaires par exemple.

Campagne après campagne, les données accumulées permettront de définir de façon de plus en plus fine les caractéristiques pour l'effluent. Idéalement, l'effluent doit être identique en qualité à celle de l'eau pompée. Un complexe aquacole de cette taille doit pouvoir réussir sur ce point, notamment en proposant des systèmes de remédiation.

123 Une profondeur importante reste pour autant un atout en termes de capacité de dilution des effluents.

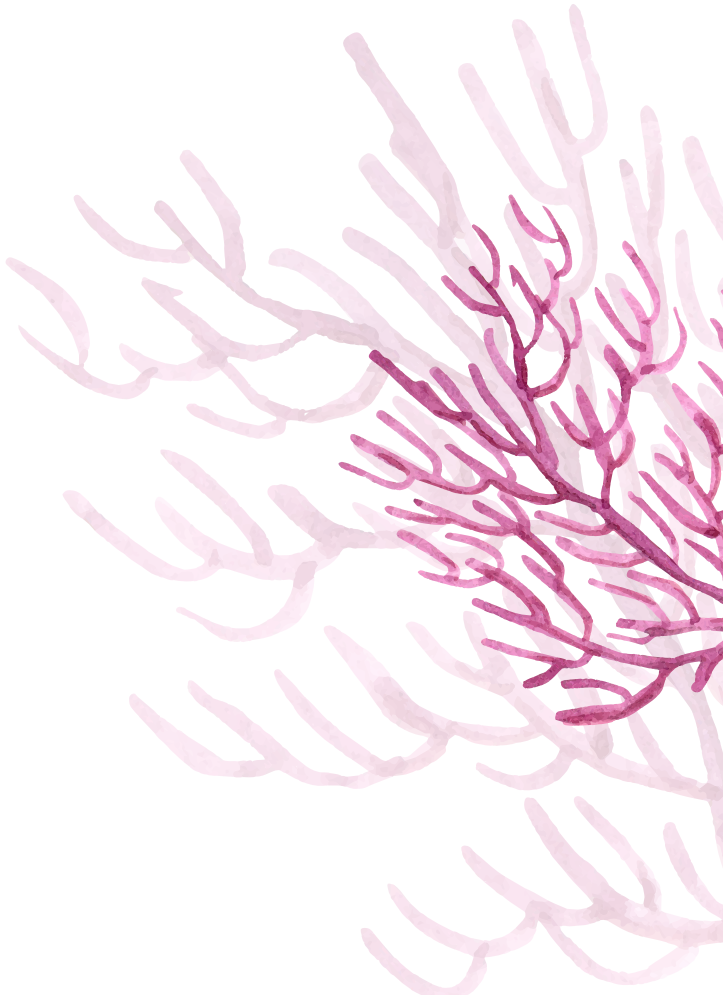
Paramètre de l'effluent principal	Règle de déclenchement des enquêtes
MES	**Par défaut :** Concentration en MES(Effluent) > seuil de concentration en MES (ex : 25 mg/L ; voir partie 8.4.2.1 pour les valeurs guides) **Ou encore :** Flux annuel de MES > seuil de flux (MES)*
Azote total	**Par défaut :** Concentration en Ntot(Effluent) > valeur seuil (ex : 20 µg/L ; voir partie 8.4.2.2 pour les valeurs guides) **Ou encore :** Flux annuel de Ntot(Effluent) > seuil de flux (Ntot)*
Phosphore total	**Par défaut :** Concentration en Ptot(Effluent) > valeur seuil (ex : 2 µg/L ;voir partie 8.4.2.2 pour les valeurs guides) **Ou encore :** Flux annuel de Ptot(Effluent) > seuil de flux (Ptot)*
pH	|pH(Effluent)-pH(Ref)| > écart max de pH (par exemple 2 unités de pH)
Température	T(Effluent)-T(Ref) > écart max de température (par exemple 3°C)

** ces seuils de flux annuels maximums ne sont pas connus à ce jour.*

Tableau 54 : Règles de déclenchement de l'intensification des suivis fonds meubles et fonds durs (4 ans à 1 an), et règles de déclenchement des suivis additionnels, enquêtes et sanctions éventuelles pour une exploitation aquacole à terre.

10.6.4 Valeur accordée à ce programme de suivi

Ce programme de suivi dispose d'un maillage de stations plutôt conséquent et d'une liste de paramètres qui doivent permettre de remplir les objectifs poursuivis et répondre aux attentes du comité de gestion, notamment en raison des enjeux associés à un tel projet.



Archiver les données récoltées et les valoriser sont des opérations capitales. Pour toute organisation, un système d'information structuré et adapté aux besoins est un enjeu critique. Dans cette partie, la description d'un système est proposée. Ce système peut malgré tout être allégé en fonction des moyens disponibles mais quelques pièges à éviter sont mentionnés.

11.1 LES DONNÉES VALENT DE L'OR

Les données récoltées sur le terrain doivent être archivées le plus vite possible. Les coûts associés à leur récolte étant élevés, la perte de données, pour quelques raisons que ce soit, n'est pas envisageable. Les données ont par ailleurs une valeur inestimable puisqu'elles constituent des séries temporelles contenant notamment la description de l'état initial.

Pour ces raisons, les autorités compétentes devront **faire figurer dans les arrêtés d'autorisation l'ensemble de la procédure de livraison des données**, précisant les formats informatiques (CSV), le formatage des données (organisation des fichiers : lignes, colonnes, métadonnées), la nomenclature des fichiers (noms des fichiers), les délais de transmission après récolte, la durée minimale de conservation des données brutes par le producteur de données. Chaque jeu de données devra pouvoir être tracé sur sa provenance (exploitation ou zone concernées) et sa temporalité (période concernée).

Les données devront faire l'objet de sauvegardes pour éviter toute perte (par dégradation des serveurs informatiques, mauvaise manipulation, *etc.*). Dès leur réception, les données devront être dupliquées et placées sur au moins deux serveurs différents **situés dans des lieux différents**. L'usage de *Clouds* sécurisés est vivement conseillé. Un seul *Cloud* n'est pas suffisant s'il est le seul lieu de sauvegarde.

Pendant une période à définir par l'administration, les feuilles de relevés de terrain devront être conservées par les prestataires en charges de la collecte.

11.2 LE SYSTÈME D'INFORMATION : COMPOSITION

Le système de gestion et de valorisation des données contient les éléments suivants :

- les données récoltées ;
- les référentiels (noms d'espèces, catégories, noms des sites, nom des stations, *etc.*) ;
- les outils permettant de saisir ou d'importer de nouvelles données ;
- les outils permettant de valoriser les données : produire des tableaux, des graphiques, des cartes, des synthèses ;
- les outils permettant d'exporter les données.

Un système d'information peut être « physiquement éclaté » avec les référentiels d'un côté et les données de l'autre.

11.3 CARACTÉRISTIQUES IDÉALES DU SYSTÈME

Un système idéal est à la fois :

- simple d'utilisation : la saisie des données, leur extraction et leur visualisation sont aisément réalisables ;
- riche dans ses modes de visualisation : tableaux, graphiques, cartes ;
- évolutif : de nouvelles données (de nature différente des données stockées) peuvent être saisies et valorisées immédiatement ;
- efficient : le système répond rapidement et entièrement aux besoins ;
- fiable : les données contenues dans la base ont été vérifiées ;
- sécurisé : les données ne peuvent pas être modifiées par n'importe qui ;
- stable : le système de stockage et de visualisation « ne plante pas » ;
- ouvert : le système est accessible à tous les intéressés, les données sont présentées de façon compréhensible pour tous les utilisateurs, et les données peuvent être exportées facilement sous un format standard (CSV par exemple).

Les coûts de mise en œuvre et de maintenance d'un tel système peuvent être prohibitifs. Il convient alors de faire des compromis et les bons choix technologiques.

11.4 EXEMPLE D'ORGANISATION

D'un point de vue très pratique, un système efficace peut ressembler à celui illustré sur la Figure 56. Dans ce type de système, les données brutes (mais propres) sont envoyées par le producteur de données aux autorités compétentes. Immédiatement, les sauvegardes sont réalisées dans les *clouds*. Les données sont ensuite vérifiées. En cas de problème (mauvais formatage, non-respect des référentiels, aberrations, *etc.*), les autorités demandent au producteur des données d'effectuer les corrections nécessaires dans le jeu de données. Une fois validées, les données sont intégrées dans le système de valorisation. Elles sont alors accessibles à tous les intéressés.

La qualité des données détermine leur degré d'exploitabilité et de réutilisation. Un système d'information environnemental doit s'en préoccuper dès l'origine en mettant en place des processus lors de l'acquisition des données (procédure AQCQ[124] de relevés de terrain), mais aussi *a posteriori* pour la qualification des données. Ces traitements peuvent être lourds et engager des ressources importantes et spécialisées. Ils sont cependant indispensables pour s'assurer qu'en aval les données puissent être diffusées et retravaillées sereinement. Les données suivent un processus qui leur accorde, au cours de leur vie, différents niveaux de qualité. Ce processus va de contrôles simples au moment de la saisie, jusqu'à la soumission à des experts pour l'obtention d'une qualification de la donnée à « bonne

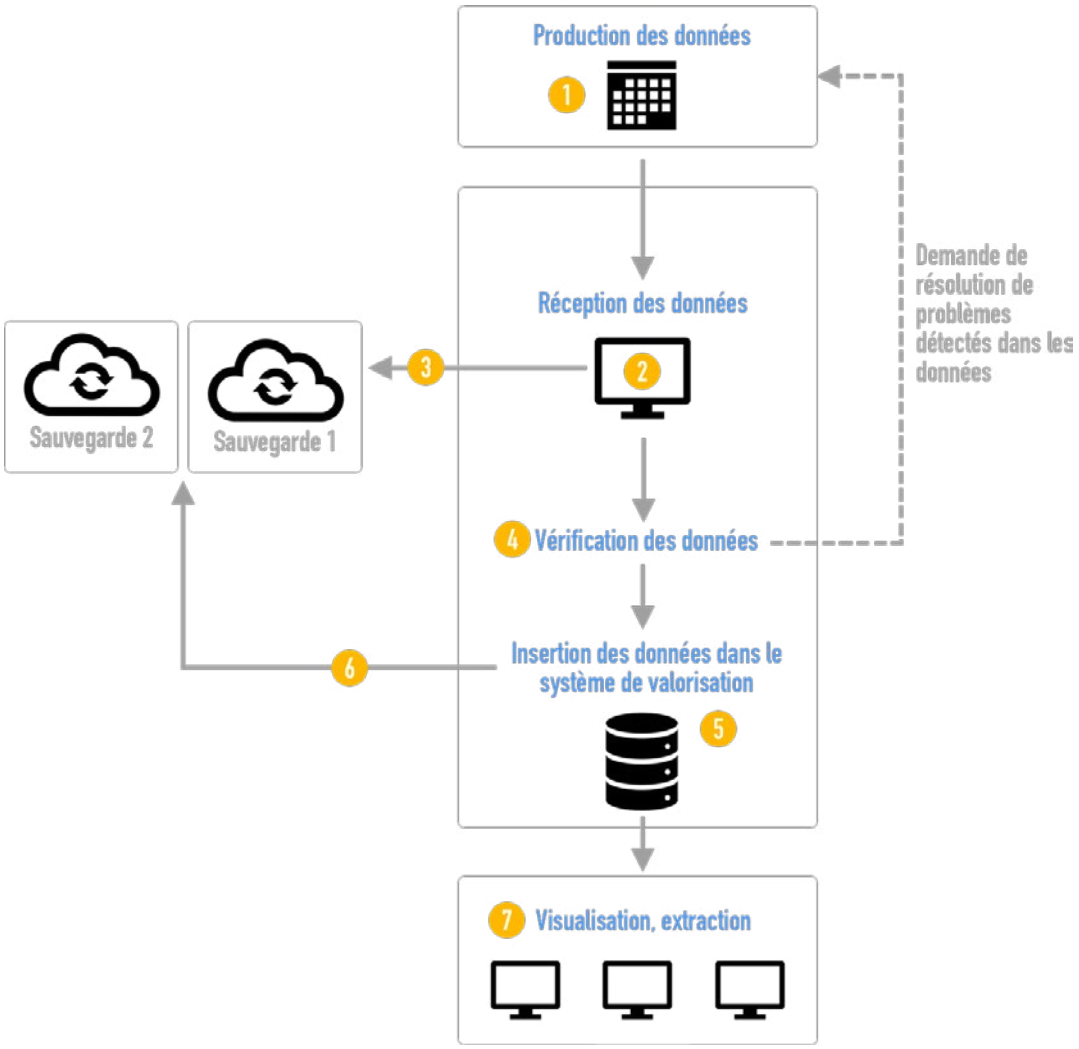


Figure 56 : Exemple d'organisation du flux de données dans le système d'information.

124 AQCQ : Analyse de la Qualité et Contrôle de la Qualité.

», « douteuse » ou « mauvaise » (par exemple). Le processus complet peut prendre du temps ; il reste cependant indispensable.

L'interopérabilité est une exigence majeure pour la mise en place de systèmes d'information environnementaux. Il s'agit de s'assurer que le système peut correctement communiquer avec d'autres systèmes suivant des protocoles normalisés. Cette notion couvre plusieurs réalités, mais elle doit au moins pouvoir être prise en compte par les éléments suivants :

- le partage des référentiels (à l'échelle territoriale, voire internationale) ;
- la mise en place d'interfaces normalisées, qui permettent d'interroger ou de mettre à disposition les données vers d'autres systèmes et ce de manière transparente et immédiate ; ceci passe, notamment, par des services web utilisant des formats d'échanges partagés entre les différents acteurs.

La mise en place d'un tel système nécessite une méthodologie et une organisation de type « projet ». Une concertation entre le ou les informaticiens d'un côté et les utilisateurs de l'autre est nécessaire. Elle est rendue possible par la constitution de groupes de travail et de pilotage, réunissant ces deux mondes et permettant de formaliser les échanges. Ceux-ci seront ensuite repris comme exigences de réalisation du système. Ces différentes instances de pilotage seront actives durant toute la vie du système ; elles suivront sa définition, son développement puis sa mise en production et enfin son exploitation. Ces étapes sont un passage obligé pour valider toute évolution du système et sont pilotées par un chef de projet.

Les besoins généraux et particuliers doivent être exprimés, puis formalisés dans des cahiers des charges et des spécifications. Ces cahiers des charges sont le résultat des réflexions et des compromis trouvés entre les informaticiens et les experts thématiciens. Les thématiciens sont les maîtres d'ouvrage ; les informaticiens, les maîtres d'œuvre.

Sur la base des cahiers des charges, le développement informatique peut démarrer. En fin de développement, le système est présenté aux thématiciens, qui ont pour mission de s'assurer de son adéquation aux besoins exprimés initialement et de son bon fonctionnement.
Une fois mis en production (c'est-à-dire après la phase de test), le système doit être régulièrement maintenu afin d'y intégrer de nouvelles fonctionnalités et de nouvelles données. L'effort doit donc être poursuivi et des ressources humaines doivent continuellement être associées au système afin de le faire vivre et de le pérenniser. Un système sans « équipe d'exploitation » périclitera rapidement et les données risquent d'être perdues. Cette équipe doit être spécialisée et dédiée à cette tâche, elle doit assurer un support et une expertise aux utilisateurs pour donner une crédibilité au système en facilitant la prise en main et l'accès. Il est conseillé qu'elle soit le passage obligé pour l'intégration de nouvelles données en garantissant une structuration de qualité dans le système.

11.5 BIEN CHOISIR SON SYSTÈME D'INFORMATION

Le système idéal est avant tout celui qui répond le mieux aux besoins des utilisateurs. La première étape est donc d'identifier correctement les utilisateurs du système et leurs besoins spécifiques. Un système qui « peut tout faire » risque d'être trop complexe à utiliser et à maintenir et finalement sera délaissé. Les premières phases du projet (évaluation du besoin) permettent d'éviter ce genre de pièges en identifiant des priorités et en faisant correspondre la technologie aux utilisateurs (et non l'inverse).

Disposer de moyens conséquents pour construire un système idéal de gestion n'est pas toujours acquis et il est parfois nécessaire de mettre en place un système plus léger. Malgré tout, autant que faire se peut, il est conseillé de faire tendre les caractéristiques du système vers celles du système idéal décrit précédemment.

11.6 DES PIÈGES À ÉVITER

Il convient d'éviter quelques pièges qui limitent ou empêchent une bonne gestion des données. Une vigilance particulière devra être portée sur les points suivants :

- Identifier clairement une personne référente, c'est-à-dire responsable de l'intégration des données dans la base de données ;
- éviter l'exploitation des données sans vérification préalable de leur qualité ;
- utiliser des logiciels permettant la visualisation

des données *via* un réseau : intranet ou internet ; éviter les solutions où les données sont stockées sur une machine en dehors d'un réseau et dont le disque dur peut à tout moment être détruit ; prévoir des solutions de sauvegardes régulières ;

- protéger les données en évitant notamment de rendre accessible en écriture la base de données à toute personne connectée au réseau ;
- les données stockées sont les données brutes ; ces données ne doivent pas être agrégées et stockées dans la base de données ; c'est le logiciel d'exploitation des données qui effectuent ces opérations d'agrégation et traitement des données brutes, idéalement, à la volée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITÉES DANS LE GUIDE

A

Afd. 2018. Rapport final du projet RESCCUE en Polynésie française.

Aminot, A., and R. Kérouel. 2004. Hydrologie des écosystèmes marins - Paramètres et analyses. Ifremer.

Anzecc, and Armcanz. 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality - Volume 1, The guidelines. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand.

Asc. 2019. ASC Bivalve Standard - Version 1.1.

Assemblée de la Polynésie, française. 2017. LOI DU PAYS n° 2017-16 du 18 juillet 2017 réglementant les activités professionnelles liées à la production et la commercialisation des produits perliers et nacriers en Polynésie française.

Aubert, A., A. Aschenbroich, J. C. Gaertner, O. Latchere, P. Archambault, and N. Gaertner-Mazouni. 2019. Assessment of carrying capacity for bivalve mariculture in subtropical and tropical regions: the need for tailored management tools and guidelines.

B

Beliaeff, B., G. Bouvet, T. Laugier, and J. M. Fernandez. 2011. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie.

Borja, A. 2004. The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools Marine Pollution Bulletin 48:405-408.

Bouvet, G., and C. Moritz. 2020. Avant-projet sommaire en vue de la rédaction d'un guide pour le suivi de la qualité du milieu marin sous influence aquacole et perlicole en Polynésie française.

Bruitparif. 2020. Bruit et biodiversité. Centre d'évaluation technique de l'environnement sonore en Ile-de-France.

C

Canada, Fisheries and Oceans. 2003. A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems. Volume 1. Far-field environmental effects of marine finfish aquaculture (B.T. Hargrave); Ecosystem level effects of marine bivalve aquaculture (P. Cranford, M. Dowd, J. Grant, B. Hargrave and S. McGladdery); Chemical use in marine finfish aquaculture in Canada: a review of current practices and possible environmental effects (L.E. Burridge).

Clua, E., P. Legendre, L. Vigliola, F. Magron, M. Kulbicki, S. Sarramegna, P. Labrosse, and R. Galzin. 2006. Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.

Coggan, R., J. Populus, J. White, K. Sheehan, F. Fitzpatrick, and S. Piel. 2007. Review of standards and protocols for seabed habitat mapping (MESH).

Creocean. 2010. Directive Cadre sur l'Eau : eaux de transitions - Evaluation de la qualité écologique de la macrofaune benthique - Suivi des lagunes méditerranéennes en région Languedoc Roussillon et PACA, camapgne 2009.

Cromey, C. J., T. D. Nickell, and K. D. Black. 2002. DEPOMOD - modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. Aquaculture 214, 211-239.

D

Della Patrona, L. 2012. Devenir des effluents de la crevetticulture au sein des mangroves de Nouvelle Calédonie : effets sur la communauté des invertébrés benthiques (méiofaune). Ifremer.

Della Patrona, L., P. Brun, and A. Herbland. 2007. Les sols des fonds de bassins et leur gestion durant les assecs.

E

El Helwe, Y. 2006. Recherche d'indicateurs des effluents d'élevage des crevettes dans le lagon de la Nouvelle Calédonie.

Environnement et Gouvernements, locaux. 2012. Programme de gestion environnementale pour l'industrie aquacole des poissons de mer en cage au Nouveau-Brunswick.

F

Fao. 2009. Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture Requirements, practices, effectiveness and improvements. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 527.

Fenua, Environnement. 2019. Réalisation d'un dossier de demande d'autorisation d'exploiter une activite d'élevage de crevettes (l. Stylirostris) au titre de la nomenclature des icpe de 2eme classe. Rubrique ICPE n°2131 : cultures et élevages aquatiques à terre - la capacité de production étant supérieure à 5t/an mais inferieure ou egale à 100t/an). S.A. Aquapac – Teahupoo seafarm.

Fenua Environnement. 2019. Réalisation d'un dossier de demande d'autorisation d'exploiter une activite d'élevage de crevettes (l. Stylirostris) au titre de la nomenclature des icpe de 2eme classe. Rubrique ICPE n°2131 : cultures et élevages aquatiques à terre - la capacité de production étant supérieure à 5t/an mais inferieure ou egale à 100t/an). S.A. Aquapac – Teahupoo seafarm.

Fisheries and Oceans Canada. 2003. A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems. Volume 1. Far-field environmental effects of marine finfish aquaculture (B.T. Hargrave); Ecosystem level effects of marine bivalve aquaculture (P. Cranford, M. Dowd, J. Grant, B. Hargrave and S. McGladdery); Chemical use in marine finfish aquaculture in Canada: a review of current practices and possible environmental effects (L.E. Burridge).

G

Gaertner-Mazouni, N., and T. Rodriguez. 2017. Note de synthèse relative aux interactions Perliculture – Environnement. Rapport réalisé dans le cadre du projet RESCCUE, Communauté du Pacifique CPS.

Gaertner-Mazouni, N., T. Rodriguez, and J. C. Gaertner. 2018. Caractérisation des macro-déchets immergés au sein du lagon des iles Gambier : étude sur l'opportunité et la faisabilité de leur collecte. Projet RESCCUE, Communauté du Pacifique-CPS (2015-2018).

Gardon, T., C. Reisser, C. Soyez, V. Quillien, and G. Le Moullac. 2018. Microplastics Affect Energy Balance and Gametogenesis in the Pearl Oyster Pinctada margaritifera. Environ. Sci. Technol. 2018, 52, 9, 5277–5286.

Geode. 2012. Guide méthodologique - Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion.

Global Aquaculture, Alliance. 2014. Aquaculture Facility Certification - Finfish, Crustacean and Mollusk - Hatcheries and Nurseries - Best Aquaculture Practices Certfication Standards, Guidelines.

GT DCE Réunion "Benthos de substrats meubles", . 2017. Fascicule technique pour la mise en oeuvre du réseau de contrôle de surveillance DCE "Benthos de Substrats Meubles" à La Réunion.

H

Hill, J., and C. Wilkinson. 2004. Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs.

I

IFC - Groupe Banque Mondiale. 2007. Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour l'aquaculture.

Ifremer. 2018a. Fiche paramètre - Paramètre biologique / Phytoplancton. Ifremer.

---. 2018b. Fiche paramètre - Paramètre hydrologique / Transparence. Ifremer.

Ifremer. 2005. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE

ISO 16665:2014, . 2014. Qualité de l'eau — Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles.

J

Jean, M., S. Gonzalez-Rizzo, P. Gauffre-Autelin, S.K. Lengger, S. Schouten, and O. Gros. 2015. Two New Beggiatoa Species Inhabiting Marine Mangrove Sediments in the Caribbean. PLoS One.

Lemonnier, H., and S. Faninoz. 2006. Effects of water exchange rate on effluent and sediment characteristics and on partial nitrogen budget in semi-intensive shrimp ponds in New Caledonia. Aquaculture Research 37(9): 938-948.

L

Lemonnier, H., J. L. Martin, R. Brizard, and J. Herlin. 2003. Effect of water exchange rate on waste production in semi-intensive shrimp ponds during the cold season in New Caledonia. Journal of the World Aquaculture Society 34(1): 40-49.

Lemonnier, H., Y. Thomas, A. Legrand, J. L. Martin, and A. Herbland. 2006. Impact de la crevetticulture calédonienne sur l'environnement : état des lieux, recherche de traceurs des effluents et définition d'un programme de recherche pluriannuel.

Lemonnier, Hugues. 2008. Lagoon water quality and shrimp farming: a state of knowledge.

Lucien-Brun, H., H. Rey-Valette, V. Defaux, and E. Rotsaert. 2018a. Elaboration du Schéma directeur de l'aquaculture en Polynésie française - Rapport final - Tome 2 : diagnostic et hiérarchisation des filières.

---. 2018b. Elaboration du Schéma directeur de l'aquaculture en Polynésie française - Rapport final – tome 1 : Schéma directeur. Poseidon.

Luseo Pacific, Creocean, Pae Tai Pae Uta, and Aquaculture N. C. 2019. Rapport sur la qualite physico-chimique attendue de l'eau des rejets issus des productions aquacoles - Creation d'un lotissement destine aux activites aquacoles et biomarines sur la zone d'activite de Faratea, ile de tahiti.

M

Martin, J. L., Y. Veran, O. Guelorget, and D. Pham. 1998. Shrimp rearing: Stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds. Aquaculture, 164:135-149.

Ministère de la culture et de l'environnement de Polynésie, française. 2018. Arrêté n°6314/MCE/ENV du 17 juillet 2018 autorisant la société d'Aquaculture d'Opunohu à exploiter un élevage de crevettes, commune de Moorea-Maiao, établissement de la 2ème classe des ICPE.

Molnar, N. 2012. Impact des effluents de la crevetticulture sur la dynamique de la matière organique benthique et leurs implications sur les processus biogéochimiques dans une mangrove (Nouvelle-Calédonie).

Muxica, I., A. Borja, and J. Bald. 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive.

N

Nova Scotia, . 2020. Standard operating procedures for the environmental monitoring of marine aquaculture in Nova Scotia.

P

Polynésie, française. 2017. Code de l'environnement de la Polynésie française.

R

Remoissenet, G., J. Chung, B. Le Maréchal, M. Maamaatuaiahutapu, and D. Rarahu. 2010. Le centre technique aquacole (CTA) VAIA de Vaira : un outil de production au service du développement aquacole polynésien. Ministère des ressources marines - Service de la Pêche Piha Rava'ai.

Remoissenet, G., C. C. C. Wabnitz, N. Grand-Piitman, V. Sachet, and L. Yan. 2015. Guide de collectage de bénitiers.

S

Saillenfait, A. M. 2015. Les phtalates - Point sur la réglementation en vigueur.

Scotia, Nova. 2020. Standard operating procedures for the environmental monitoring of marine aquaculture in Nova Scotia.

Sebert, L. 2013. Optimisation technique et économique des traitements contre le parasite N*eobenedenia melleni* dans les élevages de P*latax orbicularis* en Polynésie française.

Service environnement du Nouveau Brunswick. 2013. Environmental Management Program for Land Based Finfish Aquaculture in New Brunswick.

Smith, D. M., M. A. Burford, S. J. Tabrett, S. J. Irvin, and L. Ward. 2002. The effect of feeding frequency on water quality and growth of black tiger shrimp (Penaeus monodon). Aquaculture 207, 125-136.

Soproner. 2018. Suivi environnemental relatif à l'exploitation d'une ferme pilote de pisciculture sur la commune de Touho - Rapport annuel 2018.

T

Thomas, Y. 2005. Modélisation des flux de nutriments azotés et phosphorés en sortie des bassins d'élevage de crevettes L. stylirostris en Nouvelle-Calédonie et recherche d'indicateurs des effluents d'élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie.

Thomas, Y., C. Courties, Y. El Helwe, Alain Herbland, and H. Lemonnier. 2010. Spatial and temporal extension of eutrophication associated with shrimp farm wastewater discharges in the New Caledonia lagoon Marine Pollution Bulletin.

U

UPF. 2019. Rapport final : QUALITE des milieux de production et SANTE des cheptels aquatiques en élevage (QUALISANT). Ifremer.

W

Weitzman, J., L. Steeves, J. Bradford, and R. Filgueira. 2019. Far-Field and Near-Field Effects of Marine Aquaculture. Elsevier Ltd.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES CONSULTÉES POUR LA PRÉPARATION DE CE DOCUMENT

A

A2EP, and Secal. 2008. Suivi environnemental relatif à l'aménagement de la ZAC Panda - Cahier des charges.

A statistical tool for setting water quality guidelines and testing water quality targets. 2006. S. Tennakoon, B. Farthing and N. Marsh. 2006 post.

Adjeroud, M., and L. Cadoret. Zone portuaire de Papeete - Peuplements benthiques et ichtyologiques - situation en 1994 - Proposition de suivi écologique.

Adjeroud, M., Y. Chancerelle, M. Schrimm, T. Perez, D. Lecchini, R. Galzin, and B. Salvat. 2005. "Detecting the effects of natural disturbances on coral assemblages in French Polynesia: A decade survey at multiple scales." Aquat. Living Resour. 18: 111-123.

Adjeroud, M., C. Lo, Y. Chancerelle, and L. Cadoret. 1998. Zone portuaire de Papeete - Peuplement benthiques et ichtyologiques - situation en 1997 - variabilité interannuelle 1994-1995-1996-1997.

Afd. 2018a. Rapport final du projet RESCCUE en Polynésie française.

AFD. 2018. Rapport final du projet RESCCUE en Polynésie française.

AGRRA. 2005. Field Guide to Indicators of Coral Reef Health.

Alban, F., and J. Boncoeur. 2007. Propositions concernant les indicateurs socio-économiques à mettre en oeuvre dans le cadre des projets PAMPA et GAIUS.

Amand, M., D. Pelletier, J. Ferraris, and M. Kulbicki. 2004. "A step toward the definition of ecological indicators of the impact of fishing on the fish assemblage of the Abore reef reserve (New Caledonia)." 17: 139-149.

Aminot, A., and R. Kérouel. 2004a. Hydrologie des écosystèmes marins - Paramètres et analyses. Ifremer.

Analyse Eco Régionale : identification des aires prioritaires pour la conservation de la biodiversité et des ressources naturelles marines. 2005. C. Gabrié. 2005.

Andrade, H., J. C. Massabuau, S. Cochrane, P. Ciret, D. Tran, Mohamedou Sow, and L. Camus. 2016. High Frequency Non-invasive (HFNI) Bio-Sensors As a Potential Tool for Marine Monitoring and Assessments.

Andral, B., V. Derolez, V. Orsoni, and C. Tomasino. 2006. Directive Cadre sur l'Eau - Mise en œuvre du programme de contrôle de surveillance - District Corse - Eaux côtières et de transition - Propositions techniques.

Andréfouët, S., Torres-Pulizza, D. Dosdane, M., Kranenburg, C., Murch, B., Muller-Karger, F.E., Robinson, J.A. 2005. Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie. IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa.

Anonyme. 2013a. Bénitiers - Fiche technique d'aquaculture en Nouvelle-Calédonie. SPC.

---. 2013b. Livre vert sur une stratégie européenne en matière de déchets plastiques dans l'environnement. Commission Européenne.

---. 2015. Atelier « Takaroa » L'environnement et la filière perlicole - Restitution finale POLYPERL – 3 novembre 2015.

ANZECC, and ARMCANZ. 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality - Volume 1, The guidelines. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand.

Anzecc, and Armcanz. 2000a. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality - Volume 1, The guidelines. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand.

Application de la typologie régionale pour la caractérisation de l'état écologique des cours d'eau en France. 2006. A. Chandesris, H. Pella, B. Villeneuve and N. Mengin. 2006.

Aquaterra. 2007. Suivi environnemental relatif à l'aménagement de la ZAC Dumbéa sur Mer - Cahier des charges.

Asc. 2019a. ASC Bivalve Standard - Version 1.1.

---. 2019k. ASC Shrimp Standard - version 1.1.

---. 2019o. ASC Tropical Marine Finfish Standard - Version 1.0.

Assemblée de la Polynésie, française. 2017a. LOI DU PAYS n° 2017-16 du 18 juillet 2017 réglementant les activités professionnelles liées à la production et la commercialisation des produits perliers et nacriers en Polynésie française.

Aubert, A., A. Aschenbroich, J. C. Gaertner, O. Latchere, P. Archambault, and N. Gaertner-Mazouni. 2019a. Assessment of carrying capacity for bivalve mariculture in subtropical and tropical regions: the need for tailored management tools and guidelines.

Australian, Governement. 2007. Biophysical assessment of the reefs of Keppel Bay : a baseline study.

---. 2009a. Annual report (economic) of Great Barrier Reef marine Park Authority 2008-09.

---. 2009b. Water quality guidelines for the Great Barrier Reef Marine Park.

B

Bargetto, Julie. 2008. Elaboration d'un système d'information sur les récifs coralliens accessible sur internet.

Batti, A., and C. Depraetere. 2007. Panorama des methodes d'analyse de l'erosion dans un contexte insulaire.

Beenaerts, N., and E. Vanden Berghe. 2005. "Comparative Study of Three Transect Methods to Assess Coral Cover, Richness and Diversity." Western Indian Ocean J. Mar. Sci. 4 (1): 29-37.

Beliaeff, B., G. Bouvet, T. Laugier, and J. M. Fernandez. 2011a. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie.

Beliaeff, B., E. Coutures, L. Wantiez, and P. Dumas. 2009a. Prototype de de tableau de bord – Nouvelle-Calédonie/Grand Nouméa. Document interne PAMPA/WP1/Synth/1.

Beliaeff, B., and G. Le Moullac. 2017. Perliculture en Polynésie française - Enjeux économiques, scientifiques et techniques.

Beliaeff, B., and D. Pelletier. 2010a. A general framework for indicator design and use in environmental management with case studies - final draft.

Belin, C., D. Claisse, A. Daniel, E. Fleury, L. Miossec, J. C. Piquet, and M. Ropert. 2015. Qualité du Milieu Marin Littoral Synthèse Nationale de la Surveillance 2013 - Edition Ifremer 2015.

Beveridge, M. C. M. 1985. Pisciculture en cage et enclos. Modèles de charge biotique et impact écologique.

Billé, R., and J. B. Marre. 2019. Mécanismes économiques et financiers pour la résilience au changement climatique.

Blasco, F., P. Saenger, and E. Janodet. 1996. "Mangroves as indicators of coastal change." Catena 27: 167-168.

Borja, A. 2004a. The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools. Marine Pollution Bulletin 48:405-408.

Bouvet, G., and C. Moritz. 2020a. Avant-projet sommaire en vue de la rédaction d'un guide pour le suivi de la qualité du milieu marin sous influence aquacole et perlicole en Polynésie française.

Boyer, J. N., and H. O. Briceño. 2006. 2006 annual report of the water quality monitoring project for the water quality protection program of the florida keys national marine sanctuary. Southeast Environmental Research Center Florida International University.

Bozec, Y. M., M. Kulbicki, E. Chassot, and D. Gascuel. 2005. "Trophic signature of coral reef fish assemblages: Towards a potential indicator of ecosystem disturbance." 18: 103-109. https://doi.org/10.1051/alr:2005013.

Brodie, J. 2009. Connectivity and Risk: Tracing materials from the upper catchment to the reef.

Brodie, J., C. Christie, D. Haynes, S. Morris, M. Ramsay, J. Waterhouse, and H. Yorkston. 2001. Catchment management and the Great Barrier Reef.

Bruitparif. 2020a. Bruit et biodiversité. Centre d'évaluation technique de l'environnement sonore en Ile-de-France.

Buchet, R. 2010. Directive Cadre sur l'Eau : Etat des lieux des travaux DCE relatifs aux masses d'eau littorales dans les Départements d'Outre Mer - Typologie, suivi et mode d'évaluation de l'état des Masses d'Eau Côtières (MEC) et des Masses d'Eau de Transition (MET).

Burford, M. A., S. D. Costanzo, W. C. Dennison, C. J. Jackson, A. B. Jones, A. D. McKinnon, N. P. Preston, and L. A. Trott. 2003. A synthesis of dominant ecological processes in intensive shrimp ponds and adjacent coastal environments in NE Australia. Marine Pollution Bulletin.

C

Cairns, John, Paul V. McCormick, and B. R. Niederlehner. 1993. "A proposed framework for developing indicators of ecosystem health." Hydrobiologia 263 (1): 1-44. https://doi.org/10.1007/BF00006084. http://dx.doi.org/10.1007/BF00006084.

Callahan, M. 2007. Coral reef evaluation and monitoring project : 2006 executive summary EPA steering Commitee meeting.

Callier, M., C. J. Byron, Bengtson D. A., Cranford P. J., S. F. Cross, U. Focken, H. M. Jansen, P. Kamermans, A. Kiessling, T. Landry, F. O'Beirn, E. Petersson, R. B Rheault, Ø. Strand, K. Sundell, T. Svåsand, G. H. Wikfors, and C. W. Mckindsey. 2018. Attraction and repulsion of mobile wild organisms to finfish and shellfish aquaculture: a review Reviews in Aquaculture - December 2018, Volume 10, Issue 4, Pages 924-949

Canada, Fisheries and Oceans. 2003a. A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems. Volume 1. Far-field environmental effects of marine finfish aquaculture (B.T. Hargrave); Ecosystem level effects of marine bivalve aquaculture (P. Cranford, M. Dowd, J. Grant, B. Hargrave and S. McGladdery); Chemical use in marine finfish aquaculture in Canada: a review of current practices and possible environmental effects (L.E. Burridge).

Carr, R. S., M. Nipper, and G. S. Plumlee. A survey of marine contamination from mining-related activities on Marinduque Island, Philippines: Porewater toxicity and chemistry - Abstract.

Chabanet, P., M. Adjeroud, S. Andrefouet, Y. M. Bozec, J. Ferraris, J. A. Garcìa-Charton, and M. Schrimm. 2005. "Human-induced physical disturbances and their indicators on coral reef habitats: A multi-scale approach." 18: 215-230.

Charifi, M., A. Miserazzi, M. Sow, M. Perrigaults, P. Gonzalez, P. Ciret, S. Benomar, and J. C. Massabuau. 2018. Noise pollution limits metal bioaccumulation and growth rate in a filter feeder, the Pacific oyster Magallana gigas.

Charifi, Mohcine, Mohamedou Sow, P. Ciret, Soumaya Benomar, and J. C. Massabuau. 2017. The sense of hearing in the Pacific oyster, Magallana gigas.

Charles, Mahé, and T. Rodriguez. 2015. Présentation projet RESCCUE - Séminaire de restitution POLYPERL - 3/11/2015.

Chary, K. 2018. Combination of farm, hydrodynamic and particle tracking models to plan the development of environmentally sustainable aquaculture projects in Mayotte Island.

---. 2019. Analyse environnementale intégrée pour le développement d'une aquaculture durable : Scénarios de pisciculture marine dans le lagon de Mayotte. Thèse de doctorat. Université de Montpellier.

Chou, C. L., K. Haya, L. A. Paon, L. Burridge, and J. D. Moffatt. 2002. Aquaculture-related trace metals in sediments and lobsters and relevance to environmental monitoring program ratings for near-field effects. Marine Pollution Bulletin. Vol. 44.

Clean Water Team (CWT) 2004. Turbidity Fact Sheet, FS-3.1.5.0(Turb). in: The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment, Version 2.0. 2004. Division of Water Quality, California State Water Resources Control Board (SWRCB), Sacramento, CA.

Clua, E., P. Legendre, L. Vigliola, F. Magron, M. Kulbicki, S. Sarramegna, P. Labrosse, and R. Galzin. 2006. Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.

Coggan, R., J. Populus, J. White, K. Sheehan, F. Fitzpatrick, and S. Piel. 2007a. Review of standards and protocols for seabed habitat mapping (MESH).

Communautés, européennes. 2000. Directive 2000/60/ce du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

---. 2005a. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive - Environmental Quality Standards (EQS) - Substance Data Sheet - 33 substances.

---. 2005c. Informal background document related to the commission documents on priority substances (com (2006) 397 final and com (2006) 398 final) review of 14 substances listed in decision 2455/2001/ec to be evaluated in the framework of Article 16(3) of directive 2000/60/ec (water framework directive).

---. 2008a. Directive 2008/56/ce du parlement européen et du conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre «stratégie pour le milieu marin»).

---. 2008b. Directive 2008/105/ce du parlement européen et du conseil du 16 décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE. Journal officiel des Communautés européennes.

Copin-Montégut, G. Physique et Chimie Marines / contenus en sels et salinité de l'eau de mer.

Coral Reef Evaluation & Monitoring - Florida Keys National Marine Sanctuary. 2009. N. Diersing. 2009.

Cornuet, N. 2004. Une nouvelle approche des relations entre les communautés de poissons et les caractéristiques de l'habitat en milieu corallien : Analyse multi-échelle des relations entre l'hétérogénéité spatiale de l'habitat, la richesse spécifique et la structure des peuplements.

Cps. 2019. Appel d'offres relatif à l'élaboration d'un guide pour le suivi du milieu marin soumis aux activités aquacoles et perlicoles en Polynésie Française (RFP19-079).

Creocean. 2010a. Directive Cadre sur l'Eau : eaux de transitions - Evaluation de la qualité écologique de la macrofaune benthique - Suivi des lagunes méditerranéennes en région Languedoc Roussillon et PACA, camapgne 2009.

Criobe. 2012. Mise en œuvre d'un reseau de suivi des émissaires profonds de la station d'epuration collective de Punaauia (Taapuna).

Crisp. 2006. Comparison of different UVC methodologies for assessing the effect of MPAs on reef fish abundance in Fiji. CRISP-IRD / USP Workshop.

Critères de qualité des eaux de surface destinées à des fins récréatives telles que la baignade - Projet Koniambo.

Cromey, C. J., T. D. Nickell, and K. D. Black. 2002a. DEPOMOD - modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. Aquaculture 214, 211-239.

Crosby, P., and G. R. Gibson. 1995. A Coral Reef Symposium on Practical, Reliable, Low Cost Monitoring Methods for Assessing the Biota and Habitat Conditions of Coral Reefs. Office of Ocean and Coastal Resource Management, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD.

Crosby, P., and E. S. Reese. 1996. A Manual for Monitoring Coral Reefs With Indicator Species: Butterflyfishes as Indicators of Change on Indo Pacific Reefs. Office of Ocean and Coastal Resource Management, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD.

Cugley, John. 2007. Overview of marine water quality for the AMLRNRM region. Unpublished report provided for AMLRNRM Board state of environment reporting.

D

Dalto, A. G., A. Gremare, A. Dinet, and D. Fichet. 2006. Muddy-bottom meiofauna responses to metal concentrations and organic enrichment in New Caledonia South-West Lagoon.

Daniel, A., and L. Lampert. 2016. Consignes pour le prélèvement d'échantillons d'eau en vue de mesures hydrologiques Document de méthode hydrologie. Version 2. Ifremer.

Dauer, Daniel M. 1993. Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic Structure. Marine Pollution Bulletin, Volume 26. No 5.

David, G., J. B. Herrenschmidt, E. Mirault, and A. Thomassin. 2007. Valeur sociale et economique des recifs coralliens du pacifique insulaire.

Day, J., T. Chopin, and J. A. Cooper. 2015. Comparative study of the aquaculture environmental monitoring programs for marine finfish in canada and other jurisdictions: time to go beyond sediment related impact monitoring and consider appropriate tools for water column and ecosystem related impact monitoring.

De'ath, G. 2004. Water Quality Monitoring: From River To Reef.

---. 2007. The Spatial, Temporal and Structural Composition of Water Quality of the Great Barrier Reef, and Indicators of Water Quality and Mapping Risk. Australian Institute of Marine Science.

De'ath, G., and K. E. Fabricius. 2008. Water quality of the Great Barrier Reef: distributions, effects on reef biota and trigger values for the protection of ecosystem health. Final Report to the Great Barrier Reef Marine Park Authority. Australian Institute of Marine Science, Townsville.

Della Patrona, L. 2012a. Devenir des effluents de la crevetticulture au sein des mangroves de Nouvelle Calédonie : effets sur la communauté des invertébrés benthiques (méiofaune). Ifremer.

Della Patrona, L., P. Brun, and A. Herbland. 2007a. Les sols des fonds de bassins et leur gestion durant les assecs.

Dennison, William C., Robert J. Orth, Kenneth A. Moore, J. Court Stevenson, Virginia Carter, Stan Kollar, Peter W. Bergstrom, and Richard A. Batiuk. 1993. "Assessing Water Quality with Submersed Aquatic Vegetation." BioScience 43 (2): 86-94. https://doi.org/10.2307/1311969. http://www.jstor.org/stable/1311969.

Department of Environment and Conservation, N. S. W. Australia. 2005. Marine water quality objectives for nsw ocean waters - north coast. Department of Environment and Conservation NSW Australia.

Department of Natural Resources and Water, Queensland. 2007. Freshwater : casestudy / ambient (routine) monitoring.

Developing marine indicators for National Parks in Canada.

Diazabakana, A., T. Binet, K. Prunera, and M. Charles. 2017. Etude de faisabilite des mecanismes de financement envisages pour accompagner les changements de pratiques perlicoles et agricoles en polynesie française.

Direction de l'Environnement, and Creocean. 2015a. L'état de l'environnement en Polynésie française.

Direction des Affaires Vétérinaires Alimentaires et, Rurales. 2009. Suivi des pesticides dans les eaux douces de Nouvelle-Calédonie de 2003 à 2009.

Diren. 2017. Réseau de Surveillance du milieu lagonaire de Tahiti 2017 - Rapport final.

Diversity indexes. 2004. Jari Oksanen. 2004.

Dominique, L., B. Yeeting, P. Labrosse, and J. P. Gaudechoux. 2005. Ciguatera - Un guide pratique.

Done, T. J., and R. E. Reichelt. 2008. "Integrated coastal zone and fisheries ecosystem management: generic goals and performance indices." http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/1051-0761%281998%298%5BS110%3AICZAFE%5D2.0.CO%3B2.

Donovan, M. K., T. C. Adam, A. A. Shantz, K. E. Speare, K. S. Munsterman, M. M. Rice, R. J. Schmitt, S. J. Holbrook, and D. E. Burkepile. 2020. Nitrogen pollution interacts with heat stress to increase coral bleaching across the seascape.

Drewry, J. J., W. Higham, and C. Mitchell. 2009. Water quality objectives and targets in the Mackay Whitsunday region to protect water quality to the Great Barrier Reef. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia.

DRM. 2019. Détermination des études complémentaires à réaliser dans le cadre d'un Point zéro environnemental du lagon de Hao avant le démarrage de l'activité aquacole. COMPTE RENDU DE REUNION.

Drmm. 2017. Gestion durable du milieu d'élevage et de la santé des cheptels aquacoles (GEDMA).

Duke, N. C. 2007. Typologies et Biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie. ZONECO.

Duke, N. C., P. Lawn, C. M. Roelfsema, S. Phinn, K. N. Zahmel, D. Pedersen, C. Harris, N. Steggles, and C. Tack. 2003. Assessing historical change in coastal environments. Port Curtis, Fitzroy River Estuary and Moreton Bay regions.Historical Coastlines Project: Marine Botany Group, Centre for Marine Studies, The University of Queensland, Brisbane.

Dupouy, C., A. Minghelli-Roman, M. Despinoy, R. Röttgers, J. Neveux, S. Ouillon, C. Pinazo, and M. Petit. 2008. "MODIS/Aqua chlorophyll monitoring of the New Caledonia lagoon: the VALHYBIO project."

Développement, Istom Mission Jeune Expert - Innovation, and Aquaculture Recherche en. 2019. Evaluation Et Proposition De Critères Et Indicateurs Appropriés Et Proposition De Procédures Et De Seuils En Vue D'élaborer Des Arrêtés-types Des Icpe 2eme Classe Aquacoles En Polynésie Française.

E

El Helwe, Y. 2006a. Recherche d'indicateurs des effluents d'élevage des crevettes dans le lagon de la Nouvelle Calédonie.

Emmanuelli, E. 2006 2006. Suivi des aires marines protégées de Moorea : mise en place d'un protocole de suivi impliquant des volontaires.

English, S., C. Wilkinson, and V. Baker. 1997. Survey Manual for tropical marine resources. A.I.M.S. Townsville ed.

Ennouri, R., S. Mili, and H. Missaoui. Assessment of metallic element contaminants in sediment of four tunisian fish farms (eastern mediterranean).

Environmental Protection, Agency. 2007. Queensland Water Quality Guidelines, March 2006, with 2007 Minor Updates.

Environnement et Gouvernements, locaux. 2012a. Programme de gestion environnementale pour l'industrie aquacole des poissons de mer en cage au Nouveau-Brunswick.

F

Fabricius, K. E. 2007. Conceptual Model of the effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs of the GBR. Unpublished report to MTSRF, Cairns.

FAO. 2009a. Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture Requirements, practices, effectiveness and improvements. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 527.

Fenua, Environnement. 2019a. Réalisation d'un dossier de demande d'autorisation d'exploiter une activite d'élevage de crevettes (l. Stylirostris) au titre de la nomenclature des icpe de 2eme classe. Rubrique ICPE n°2131 : cultures et élevages aquatiques à terre - la capacité de production étant supérieure à 5t/an mais inferieure ou egale à 100t/an). S.A. Aquapac – Teahupoo seafarm.

Fenua Environnement. 2018. Synthèse simplifiée des analyses des rejets d'effluents d'Aquapac – Rapports CAIRAP 2018.3360 -1-1 à 4.

Ferraris, J. 2001. Méthodologie pour la typologie des flottilles de pêche.

Ferraris, J., and G. Bouvet. 2002. Indicateurs et ressources vivantes en milieu corallien - Atelier PNEC - Nouvelle-Calédonie - juillet 2002.

Fezzardi, D., F. Massa, P. Avila-Zaragoza, F. Rad, G. Yucel-Gier, H. Deniz, M. Hadj Ali Salem, H. Auadh Hamza, and S. Ben Salem. 2011. Indicators for the sustainable development of finfish Mediterranean aquaculture: highlights from the InDAM Project. Studies and Reviews. FAO.

Fichez, R. 2000. Caractéristiques physico-chimiques des eaux dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie.

Fisheries and Oceans, Canada. 2018. AAR Monitoring Standard 2018.

Fisheries and Oceans Canada. 2003a. A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems. Volume 1. Far-field environmental effects of marine finfish aquaculture (B.T. Hargrave); Ecosystem level effects of marine bivalve aquaculture (P. Cranford, M. Dowd, J. Grant, B. Hargrave and S. McGladdery); Chemical use in marine finfish aquaculture in Canada: a review of current practices and possible environmental effects (L.E. Burridge).

Fisheries, Victoria, and Dpi. 2006. Guidelines for Environmental Baseline Surveys and Ongoing Monitoring of Aquaculture Fisheries Reserves in Port Phillip and Western Port.

Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Fish, and Nova Southeastern University Oceanographic Wildlife Research Institute and the National Coral Reef Institute. 2005. Southeast Florida Coral Reef Evaluation and Monitoring Project - 2004 Year 2 Final Report.

Follin, Y., and V. Liao. 2020. Rapport technique et financier sur le réseau de surveillance RESOLAG. PROTEGE (CPS).

Fougerouse, A. 2015. Risque sanitaire et actions de veille sanitaire : bilan et évolution. Polyperl.

Francoeur, Magali. 2009. L'élevage de la crevette : une menace pour les mangroves?

Francour, P., D. Pelletier, L. Wantiez, D. Mouillot, P. Charbonnel, P. Dumas, P. Le Direac'h, P. Chabanet, B. Lenfant, and B. Preuss. 2008. Métriques biodiversité et ressources. Document interne PAMPA/WP2/Meth/1. Version du 26 mai 2008.

G

Gabrie, C., and B. Salvat. 1988. Analyses des études et des stations prospectées en zone lagonaire du port de Papeete (passe de Papeete et passe de Taunoa) entre 1968 et 1988.

Gaertner-Mazouni, N. 2015. Fonctionnement écologique des élevages et interaction avec l'environnement : rôle du biofouling (Powerpoint) - programme POLYPERL.

Gaertner-Mazouni, N., and T. Rodriguez. 2017a. Note de synthèse relative aux interactions Perliculture – Environnement. Rapport réalisé dans le cadre du projet RESCCUE, Communauté du Pacifique CPS.

Gaertner-Mazouni, N., T. Rodriguez, and J. C. Gaertner. 2018a. Caractérisation des macro-déchets immergés au sein du lagon des iles Gambier : étude sur l'opportunité et la faisabilité de leur collecte. Projet RESCCUE, Communauté du Pacifique-CPS (2015-2018).

Gamp, E., D. Pelletier, D. Mouillot, L. Bigot, L. Wantiez, M. Léopold, B. Preuss, J. A. Tomasini, A. S. Barnay, and H. Jimenez. 2008. Indicateurs biodiversité et ressources : Tableaux objectifs-effets-métriques. Document interne PAMPA/WP2/Meth/2. Version du 26 mai 2008.

Gardon, T., C. Reisser, C. Soyez, V. Quillien, and G. Le Moullac. 2018. Microplastics Affect Energy Balance and Gametogenesis in the Pearl Oyster Pinctada margaritifera. Environ. Sci. Technol. 2018, 52, 9, 5277–5286.

Garrigue, C., and S. Virly. 2006. Reseau d'observation Des Recifs Coralliens (RORC) - Activités entreprises en 2006 : Rapport final.

Gattuso, J. P., and R. W. Buddemeier. 2002. "Coral Reefs: an Ecosystem Subject to Multiple Environmental Threats." Encyclopedia of Global Environmental Change (T. Mum Ed.) 2 (The Earth system: biological and ecological dimensions of global environmental change): 232-241.

Gavine, F., and L. McKinnon. 2002. Environmental Monitoring of Marine Aquaculture in Victorian Coastal Waters: A Review of Appropriate Methods. Technical Report No. 46. Marine and Freshwater Resources Institute, Victoria.

Geode. 2012a. Guide méthodologique - Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion.

Global Aquaculture, Alliance. 2014a. Aquaculture Facility Certification - Finfish, Crustacean and Mollusk - Hatcheries and Nurseries - Best Aquaculture Practices Certfication Standards, Guidelines.

---. 2016. Aquaculture Facility Certification - Mollusk Farms - Best Aquaculture Practices Certification Standards, Guidelines.

---. 2017. Aquaculture Facility Certification - Finfish and Crustacean Farms Best Aquaculture Practices Certification Standards, Guidelines.

---. 2019a. Recirculating land-based hatcheries and nurseries - Bap guidance to monitoring requirements against appendix a – bap effluent water quality criteria - Finfish, crustacean and mollusk hatcheries and nurseries standards.

Gouvernement de Polynésie française. 2019. ARRETE n° 13967 MCE/ENV du 21 décembre 2018 autorisant la société Mitirapa Blue Pearl Shrimp (MBPS) à installer et exploiter un élevage de crevettes, commune de Taiarapu-Ouest, établissement de la deuxième classe des installations classées pour la protection de l'environnement.

Gouvernement de Polynésie française. 2017. ARRETE n° 1259 CM du 31 juillet 2017 relatif aux conditions d'exercice des activités de producteur d'huîtres perlières ou de producteur de produits perliers en Polynésie française.

Government of, Australia, and Fisheries Department of. 2013. Aquaculture management and environmental monitoring plan (memp) guidance statement.

Grandperrin, R., B. Richer de Forges, and J. M. Auzende. 1997. Ressources marines de Nouvelle-Calédonie : le programme ZoNéCo. Programme ZoNéCo.

Gregory Tolley, S., A. K. Volety, M. Savarese, L. D. Walls, C. Linardich, and E. M. Everham. 2006. "Impacts of salinity and freshwater inflow on oyster-reef communities in Southwest Florida." 19: 371-387.

Grenz, C., L. Denis, G. Boucher, L. Chauvaud, J. Clavier, R. Fichez, and O. Pringault. 2002. Spatial variability in Sediment Oxygen Consumption under winter conditions in a lagoonal system in New Caledonia (South Pacific).

Groupe MJE IDRA. 2019. Évaluation et proposition de critères et indicateurs appropriés et proposition de procédures et de seuils en vue d'élaborer des arrêtés-types des ICPE 2ème classe aquacoles en polynésie française

GT DCE Réunion «Benthos de substrats meubles», . 2017. Fascicule technique pour la mise en oeuvre du réseau de contrôle de surveillance DCE «Benthos de Substrats Meubles» à La Réunion.

Guillemot, N., and Y. Dominique. 2018. Seuils indicateurs pour la surveillance des paramètres physico- chimiques dans les eaux douces superficielles du Grand Sud Phase 1 : Evaluation des jeux de données, analyse des potentialités des données historiques de suivi, faisabilité et cadrage d'une démarche pour la mise en place de seuils opérationnels. OEIL.

Guillemot, N., M. Leopold, M. Cuif, and P. Chabanet. 2009. "Characterization and management of informal fisheries confronted with socio-economic changes in New Caledonia (South Pacific)."

H

Haapkylä, J., F. Ramad, and B. Salvat. 2007. Oil pollution on coral reefs : a review of the state of knowledge and management needs. VIE ET MILIEU - LIFE AND ENVIRONMENT.

Hallock, P., K. Barnes, and E. M. Fisher. 2004. "Coral-reef risk assessment from satellites to molecules: a multi-scale approach to environmental monitoring and risk assessment of coral reefs." Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology 1: pp.-11-39.

Hallock, P., B. H. Lidz, E. M. Cockey-Burkhard, and K. B. Donnelly. 2003. "Foraminifera as bioindicators in coral reef assessment and monitoring: the foram index." Environmental Monitoring and Assessment 81: 221-238.

Haynes, David, Jon Brodie, Jane Waterhouse, Zoe Bainbridge, Deb Bass, and Barry Hart. 2007. "Assessment of the Water Quality and Ecosystem Health of the Great Barrier Reef (Australia): Conceptual Models." Environmental Management 40 (6): 993-1003.

Haynes, David, Jane Waterhouse, James Innes, Karen Vella, Miles Furnas, and Britta Schaffelke. 2005. Great Barrier Reef Water Quality Protection Plan (Reef Plan) - First Annual Marine Monitoring Programme Report/ September 2005.

Hendee, J. C. 1998. "An expert system for marine environmental monitoring in the Florida Keys National Marine Sanctuary and Florida Bay, Proceedings of the Second International Conference on Environmental Coastal Regions." C.A. Brebbia, Computational Mechanics Publications/WIT Press: 57-66.

Henry, Teva, and Marines Direction des Ressources. 2017. Evolution des concessions maritimes perlicoles et des lignes de collectages autorisées de 2004 à 2017 et historique des événements climatiques (1975-2017) pour les îles perlicoles de Polynésie française.

Herrenschmidt, J. B. 2009. Présentation technique concernant le programme INC.

Herrenschmidt, J. B., and M. Juncker. 2006. Revue bibliographique sur les indicateurs d'impacts des changements climatiques adaptés aux réalités du Pacifique Sud Nouvelle-Calédonie Wallis et Futuna Polynésie française.

Herrera-Silveira, Jorge A., and Sara M. Morales-Ojeda. 2009. "Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation." Marine Pollution Bulletin 59 (1-3): 72-86. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.11.017. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6N-4VDSJV8-1&_user=10&_coverDate=12%2F31%2F2009&_alid=990948426&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=-search&_cdi=5819&_docanchor=&view=c&_ct=7535&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=8bb1cedd8fd9220890a6926547702ac9.

Hill, J. 2004. How does reef check check our reefs?

Hill, J., and C. Wilkinson. 2004. Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs.

Hily, C., J. Duchêne, C. Bouchon, Y. Bouchon-Navarro, A. Guigou, C. Payri, and F. Védie. 2010. Les herbiers de phanerogames marines de l'outre-mer français écosystèmes associés aux récifs coralliens.

Hubert, A. 2007. Utilisation de la perception des pêcheurs dans la gestion participative des ressources: etude de cas à navakavu (fidji). CRISP.

I

IFC - Groupe Banque Mondiale. 2007a. Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour l'aquaculture.

Ifremer. 2017a. Fiche paramètre - Paramètre hydrologique / nutriments. Ifremer.

---. 2017b. Fiche paramètre - Paramètre hydrologique / oxygène dissous. Ifremer.

---. 2018a. Fiche paramètre - Paramètre / Contaminants chimiques. Ifremer.

---. 2018b. Fiche paramètre - Paramètre biologique / Benthos de substrat dur (BSD). Ifremer.

---. 2018c. Fiche paramètre - Paramètre biologique / Benthos de substrat meuble (BSM). Ifremer.

---. 2018k. Fiche paramètre - Paramètre hydrologique / Température. Ifremer.

---. 2018l. Fiche paramètre - Paramètre hydrologique / Transparence. Ifremer.

Ifremer, . 2017c. FICHE PARAMETRE Paramètre Biologique : Benthos de Substrats Durs

Ifremer. 2005a. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE.

ISO 16665:2014, . 2014. Qualité de l'eau — Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles.

J

Jaap, W. C., J. W. Porter, J. Wheaton, K. Hackett, M. Lybolt, M. K. Callahan, C. Tsokos, and G. Yanev. 2001. EPA / FKNMS Coral Reef Monitoring Project Updated Executive Summary 1996-2000 Steering Committee Meeting August 1, 2001.

Jacquet, S. 2005. «Impact des apports en nutriments sur le reseau trophique planctonique du lagon sud-ouest de nouvelle-caledonie.»

Jameson, S. C., M. V. Erdmann, G. R. Gibson, and K. W. Potts. 1998. Development of Biological Criteria for Coral Reef Ecosystem Assessment.

Jameson, S. C., and R. Kelty. 2004. A Review of Indicators of Land-based Pollution Stress on Coral Reefs.

Jean, M., S. Gonzalez-Rizzo, P. Gauffre-Autelin, S.K. Lengger, S. Schouten, and O. Gros. 2015a. Two New Beggiatoa Species Inhabiting Marine Mangrove Sediments in the Caribbean. PLoS One.

Jean, M., S. Gonzalez-Rizzo, P.TY - JOUR Gauffre-Autelin, S. Lengger, S. Schouten, and O. Gros. 2015d. Two New Beggiatoa Species Inhabiting Marine Mangrove Sediments in the Caribbean.

Job, S., and S. Virly. 2009. Définition d'indicateurs de suivi de l'état de santé des zones récifo-lagonaires de Nouvelle-Calédonie face au changement climatique.

John, Kowarsky, and Associates. 2005. Long term management plan for dredging lakes entrance 2005 - 2015.

Jouon, A. 2007. Hydrodynamique et transport de particules en suspension dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie.

Juncker, M., and G. Bouvet. 2006. Introduction à l'étude des pressions et des menaces sur les écosystèmes littoraux de Nouvelle-Calédonie. CRISP.

K

Karr, James R. 1991. "Biological Integrity: A Long-Neglected Aspect of Water Resource Management." Ecological Applications 1 (1): 66-84. https://doi.org/10.2307/1941848. http://www.jstor.org/stable/1941848.

Kaur, D., and E. Emmanuelli. 2006. Using indicators to assess coral reef ecosystem and fisheries health - Workshop. CRISP.

Kerbrat, A. S. 2010. Rôle des cyanobactéries dans le développement des zones ciguatérigènes en lien avec les impacts anthropiques, pour une meilleure gestion du risque ciguatérique.

Kns. 2006. Scope of work of Koniambo Nickel SAS Long Term Marine Monitoring Program.

Kulbicki, M., B. Moreton, S. Ouillon, C. Payri, T. Perez, P. Sasal, J. Thébault, R. Fichez, M. Adjeroud, Y. M. Bozec, L. Breau, Y. Chancerelle, C. Chevillon, P. Douillet, J. M. Fernandez, and P. Frouin. 2005. "A review of selected indicators of article, nutrient and metal inputs in coral reef lagoon systems." 18: 125-147.

L

Lacoste, E., G. Le Moullac, P. Levy, Y. Gueguen, and N. Gaertner-Mazouni. 2014. Biofouling development and its effect on growth and reproduction of the farmed pearl oyster Pinctada margaritifera.

Lagouy, Elodie. 2006. Developpement du reseau reef-check polynésie francaise. CRISP.

Langlois, G. W. 2008. Marine biotoxin monitoring program - Annual report 2008.

Lasne, G. 2007. Les coraux de la Nouvelle-Calédonie : synthèse bibliographique.

Le Moullac, G., and C. Soyez. 2015. Influence des facteurs de l'environnement, et de leur évolution dans le contexte du changement climatique, sur la fonctionnalité de la ressource.

Legendre, P., and L. Legendre. 1998a. Numerical Ecology. Elsevier.

Lemonnier, H. 2018. Lagoon water quality and shrimp farming: a state of knowledge.

Lemonnier, H., and S. Faninoz. 2006a. Effects of water exchange rate on effluent and sediment characteristics and on partial nitrogen budget in semi-intensive shrimp ponds in New Caledonia. Aquaculture Research 37(9): 938-948.

Lemonnier, H., J. L. Martin, R. Brizard, and J. Herlin. 2003a. Effect of water exchange rate on waste production in semi-intensive shrimp ponds during the cold season in New Caledonia. Journal of the World Aquaculture Society 34(1): 40-49.

Lemonnier, H., Y. Thomas, C. Courties, A.-L. Marteau, A. Bordier, D. Buisson, Y. El Helwe, P. Gérard, C. Justou, L. Joassard, X. Mari, P. Pagand, B. Soulard, and A. Herbland. 2009. Recherche d'indicateurs des effluents des élevages de crevettes de Nouvelle-calédonie et modélisation des flux de nutriments. ZONECO (non publié).

Lemonnier, H., Y. Thomas, A. Legrand, J. L. Martin, and A. Herbland. 2006a. Impact de la crevetticulture calédonienne sur l'environnement : état des lieux, recherche de traceurs des effluents et définition d'un programme de recherche pluriannuel.

Lemonnier, Hugues. 2008a. Lagoon water quality and shrimp farming: a state of knowledge.

Lemonnier, Hugues, and Yoann Thomas. Impact de la crevetticulture calédonienne sur l'environnement : état des lieux, recherche de traceurs des effluents et définition d'un programme de recherche pluriannuel.

Leopold, M., J. Ferraris, and P. Labrosse. 2004. "Assessment of the reliability of fish consumption as an indicator of reef fish catches in small Pacific islands: The example of Ouvea Island in New Caledonia." 17: 119-127. https://doi.org/10.1051/alr:2004020.

Les concepts de base de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau : référence, bon état, classification. 2008. J. G. Wasson. 2008.

Les différents systèmes d'évaluation de l'état des eaux. 2009.

Les propriétés physiques de l'eau de mer. S. Speich.

Liao, V. 2019a. Le développement durable de la perliculture - présentation powerpoint. Direction des Ressources Marines - Forum de la Perliculture.

Liao, V., P. Bosserelle, B. Espiau, and S. Planes. 2014. Synthèse du suivi physico-chimique et biologique des sites de Vaiare, Vairao, Port Phaeton, Huahine, Maupiti et Rangiroa dans le cadre du « réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie française ». Rapport CRIOBE pour IRSN et IFREMER.

Liao, V., Y. Chancerelle, and S. Planes. 2014. Baie de port Phaeton – Tahiti - bilan environnemental et suivi du milieu etude complète de juillet 2014.

Liao, V., Y. Chancerelle, G. Siu, B. Espiau, and S. Planes. 2016. Baie de port Phaeton – Tahiti - Bilan environnemental et suivi du milieu approche global - septembre 2015. CRIOBE pour Fenua Ma.

Liao, V., B. Espiau, Y. Chancerelle, and S. Planes. 2016. Bilan environnemental - suivi du milieu de la baie de port Phaeton - Etude complète de juillet 2016. RA 242. Rapport CRIOBE pour FENUA MA.

liao, V., B. Espiau, F. Lerouvreur, Y. Chancerelle, and S. Planes. 2015. Suivi de l'émissaire de rejet des eaux traitées de la station d'épuration de Haapiti 2013-2014 - Rapport - Bilan des 2 ans de suivi. IRCP.

Liao, V., B. Espiau, F. Lerouvreur, and S. Planes. 2016. Évaluation environnementale de l'impact du rejet des eaux traitées de l'émissaire de la STEP de Haapiti sur l'île de Moorea - Rapport annuel - décembre 2016. Rapport CRIOBE pour DIREN.

Linton, D. M., and G. F. Warner. 2003. "Biological indicators in the Caribbean coastal zone and their role in integrated coastal management." Ocean & Coastal Management 46: 261-276.

Lucien-Brun, H., H. Rey-Valette, V. Defaux, and E. Rotsaert. 2018a. Elaboration du Schéma directeur de l'aquaculture en Polynésie française - Rapport final - Tome 2 : diagnostic et hiérarchisation des filières.

---. 2018d. Elaboration du Schéma directeur de l'aquaculture en Polynésie française - Rapport final – tome 1 : Schéma directeur. Poseidon.

Luseo Pacific, Creocean, Pae Tai Pae Uta, and Aquaculture N. C. 2019a. Rapport sur la qualite physico-chimique attendue de l'eau des rejets issus des productions aquacoles - Creation d'un lotissement destine aux activites aquacoles et biomarines sur la zone d'activite de Faratea, ile de tahiti.

L'évaluation du risque ; Principes et méthodes. 2004. C. Alzieu. 2004.

M

Macleod, C., S. Forbes, A. Bisset, C. Burke, C. Crawford, D. Holdsworth, P. Nichols, A. Revill, and J. Volkman. 2004. Guide to the assessment of sediment condition at marine finfish farms.

Mallet, D., and L. Wantiez. 2020a. Protocole d'échantillonnage standardisé des poissons et des habitats des fonds meubles lagonaires par vidéo à 360°.

Marshall, P., and H. Schuttenberg. 2006. A Reef Manager's Guide to Coral Bleaching.

Martin, J. L., Y. Veran, O. Guelorget, and D. Pham. 1998a. Shrimp rearing: Stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds. Aquaculture, 164:135-149.

Mary, V. 2009. Document de travail DENV concernant les milieux dulçaquicoles.

McKay, K. 2007. Rotuma island (fiji) coral reef survey report 2006.

McKenna, S. A., N. Baillon, and J. Spaggiari. 2009. A rapid marine biodiversity assessment of the coral reefs of the northwest lagoon, between koumac and yandé, province nord, new caledonia. RAP Bulletin of Biological Assessment 53. Conservation International, Arlington, VA, USA.

Medd. 2003. Mise en oeuvre de la DCE - idenitification des pressions et des impacts - guide méthodologique version 4.1.

Meeddm. 2009. Guide relatif à la définition du bon état des eaux littorales (eaux côtières et eaux de transition), en application de la directive cadre sur l'eau version novembre 2009 - draft.

Michel, P. 1993. L'Arsenic en milieu marin - biogéochimie et écotoxicologie. IFREMER, Repères Océan n°4.

Ministère de l'Ecolgie, de l'Energie du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. 2009. Présentation des indicateurs de suivi de la biodiversité proposés pour l'outre-mer.

Ministère de l'écologie et du développement, durable. 2005. Typologie nationale relative aux eaux de surface (cours d'eau, plans d'eau, eaux de transition et eaux côtières).

Ministère de la culture et de, l'environnement. 2018. Arrêté n°13954/MCE/ENV du 20 décembre 2018 autorisant Tahiti Marine Aquaculture à installer et exploiter les équipements techniques d'un élevage de bénitiers, commune de Papara, établissement de 2ème classe des ICPE.

Ministère de la culture et de l'environnement de Polynésie, française. 2018a. Arrêté n°6314/MCE/ENV du 17 juillet 2018 autorisant la société d'Aquaculture d'Opunohu à exploiter un élevage de crevettes, commune de Moorea-Maiao, établissement de la 2ème classe des ICPE.

Miserazzi, A., M. Sow, C. Gelber, M. Charifi, P. Ciret, J. M. Dalens, C. Weber, S. Le Floch, C. Lacroix, P. Blanc, and J. C. Massabuau. 2019. Asiatic clam Corbicula uminea exhibits distinguishable behavioural responses to crude oil under semi-natural multiple stress conditions.

Moal, C. 2009. «Quelle eau de baignade à Nouméa ?» Les Nouvelles Calédoniennes, 2009, 2009.

Molnar, N. 2012a. Impact des effluents de la crevetticulture sur la dynamique de la matière organique benthique et leurs implications sur les processus biogéochimiques dans une mangrove (Nouvelle-Calédonie).

Moreton, B., and J. M. Fernandez. 2006. Développement d'une technique pour la détermination des concentrations de métaux dissous en milieu marin par résine. Réalisation d'un banc de percolation pour la pré-concentration et le dosage par ICP-OES. ZONECO.

Morris, C. 2007. Solomon islands trip report.

Morrisey, D. J., L. Howitt, J. Underwood, and J. S. Stark. 1992. Spatial variation in soft-sediment benthos. MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES.

Muxica, I., A. Borja, and J. Bald. 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive.

N

Naudan, A. C. 2007. Etude bibliogaphique de l'impact du co2 anthropique sur les coraux.

Noaa. 2004. Florida Keys National Marine Sanctuary Annual Report.

---. 2005. Florida Keys National Marine Sanctuary Draft Revised Management Plan.

Nova Scotia, . 2020a. Environmental monitoring program framework for marine aquaculture in Nova Scotia.

---. 2020b. Standard operating procedures for the environmental monitoring of marine aquaculture in Nova Scotia.

O

Oceanica, Consulting. 2007. Perth's Long-term Ocean Outlet Monitoring Program (PLOOM) Summary Report 2006-2007.

Onerc. 2008a. Fiche Indicateur ONERC : couleur de l'océan Concentration en chlorophylle-a.

---. 2008b. Fiche Indicateur ONERC : niveau de la mer marégraphique.

---. 2008c. Fiche Indicateur ONERC : salinité de surface de la mer.

---. 2008d. Fiche Indicateur ONERC : température de la surface de la mer par télédétection haute résolution spatiale.

---. 2008e. Fiche Indicateur ONERC : températures de surface de la mer dans les DOM-TOM.

Orl, M., Bonaca o, L. Lipej, and S. Orfanidis. 2008. "Benthic macrophytes as a tool for delineating, monitoring and assessing ecological status: The case of Slovenian coastal waters." Marine Pollution Bulletin 56 (4): 666-676.

P

Payne, I. Overview of Indicator Proposal for Assessing 2010 Targets for the EU LMEs.

Peconic Estuary, Program. 2001. Peconic Estuary Comprehensive Conservation and Management Plan.

Pelletier, D. 2007. Développement d'outils diagnostics et exploratoires d'aide à la décision pour évaluer la performance d'aires marines protégées.

Pelletier, D., O. Thébaud, M. Léopold, E. Clua, B. Beliaeff, C. Chauvet, G. David, J. Ferraris, M. Kronen, M. Kulbicki, P. Labrosse, and Y. Letourneur. 2005. "Towards multidisciplinary indicator dashboards for coral reef fisheries management." 18: 199-213. https://doi.org/10.1051/alr:2005026.

Polynésie, française. 2017a. Code de l'environnement de la Polynésie française.

---. 2018a. ARRETE n° 767 CM du 24 avril 2018 modifiant les annexes de l'arrêté n° 1065 CM du 25 juillet 2011 modifié fixant la liste d e s substances actives e t préparations commerciales de pesticides autorisées en Polynésie française. Journal officiel de la Polynésie française.

---. 2018b. ARRETE n° 1824 CM du 13 septembre 2018 relatif à l'organisation et au fonctionnement d'un comité de gestion décentralisé de la perliculture.

Province Nord de la, Nouvelle-Calédonie. 2008. Code de l'environnement de la province Nord.

Province Sud de la, Nouvelle-Calédonie. Plan de gestion participative de de la Zone Côtière Ouest.

---. 2001. Délibération n°14 du 21 juin 1985 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

---. 2002. Arrêté n° 7661 du 22/10/2002 autorisant la société Goro Nickel S.A. à mettre en service une installation de traitement et d'épuration des eaux usées issues d'effluents domestiques, exploitée par la société Sodexho Nouvelle-Calédonie sur le site de Prony est, sur le territoire de la commune du Mont-Dore (p. 6098).

---. 2006. Arrêté n° 541-2006/PS du 6 juin 2006 modifiant l'arrêté modifié n° 1228-2002/PS du 25 septembre 2002 autorisant l'exploitation d'une installation de traitement et d'épuration des eaux usées issues d'effluents domestiques sur le site de Prony est, sur le territoire de la commune du Mont-Dore.

---. 2009a. Code de l'environnement de la province Sud.

---. 2009b. Délibération fixant les règles générales et les prescriptions applicables aux installations soumises à déclaration dans la rubrique 2753 : «ouvrages de traitement et d'épuration des eaux résiduaires domestiques ou assimilées».

Q

Queensland Department of Natural Resources and, Water. 2008. Water quality modelling for the Great Barrier Reef catchment and lagoon — a compilation of modelling activities undertaken during 2002-08, June 2008. Report for the Reef Water Quality Partnership. Queensland Department of Natural Resources and Water, Brisbane.

R

Refea. Caractéristique de l'eau de mer.

Remoissenet, G., J. Chung, B. Le Maréchal, M. Maamaatuaiahutapu, and D. Rarahu. 2010a. Le centre technique aquacole (CTA) VAIA de Vairao : un outil de production au service du développement aquacole polynésien. Ministère des ressources marines - Service de la Pêche Piha Rava'ai.

Remoissenet, G., B. Tchepidjian, T. Tamata, V. Joufoques, N. Cochennec-Laureau, and G. Nédélec. 2006. Rapport final de la Convention N° 4.0021 du 23 avril 2004 relative à la collaboration du Service de la Pêche de Polynésie française et de l'Ifremer dans le cadre de l'opération : Maîtrise technique de la production de poissons lagonaires. Ifremer.

Remoissenet, G., C. C. C. Wabnitz, N. Grand-Piitman, V. Sachet, and L. Yan. 2015. Guide de collectage de bénitiers.

Rey-Valette, H. 2015. Co-construction d'indicateurs de durabilité de la filière. Polyperl.

Ricard, M., B. Delesalle, M. Denizot, L. Montaggioni, J. P. Renon, and G. Vergonzanne. 1981a. Etude des organismes vivants, plancton et benthos du secteur lagonaire et récifal de Taunoa concerné par le projet d'extencsion du port de Papeete - rapport préliminaire. MNHN - EPHE.

Ricard, M., C. Gabrié, M. Harmelin-Vivien, C. Payri, and G. Richard. 1985. Pollution du port de Papeete - Aspects des divers peuplements biologiques nectoniques et benthiques. Centre de l'Environnement - EPHE.

Rice, J. 2003. «Environmental health indicators.» Ocean & Coastal Management 46: 235-259.

Richer de Forges, B., and M. Pascal. 2009. La biodiversité de Nouvelle-Calédonie menacée.

Rohde, K., B. Masters, J. Brodie, J. Faithful, R. Noble, and C. Caroll. 2005. Fresh and Marine Water Quality in the Mackay Whitsunday Region 2004/2005. Mackay Whitsunday Natural Resource Management Group, Mackay, Australia.

S

Saillenfait, A. M. 2015a. Les phtalates - Point sur la réglementation en vigueur.

Sammarco, P. W. 2007. "Environmental Bio-Indicators in Coral Reef Ecosystems: The Need to Align Research Monitoring, and Environmental Regulation - Roundtable Discussion Groups Summary Papers." Environmental Bioindicators 2: 35-46.

Sasal, P. 2018. Premier inventaire des macroparasites de Tonu (Plectropomus laevis) et des autres Serranidae de l'atoll de Hao (Polynésie française). IRCP.

Saugeon, C., A. Fougerouse, A. Pellan, P. Levy, and N. Cochennec-Laureau. 2007. Bilan final 2004-2007 du Réseau de Veille Zoosanitaire REPANUI des huîtres perlières Pinctada margaritifera en Polynésie Française.

Sebert, L. 2013. Optimisation technique et économique des traitements contre le parasite Neobenedenia melleni dans les élevages de Platax orbicularis en Polynésie française.

Service Environnement du Nouveau Brunswick. 2012. Pratiques opérationnelles standard pour la surveillance environnementale de l'industrie aquacole des poissons de mer en cage au Nouveau-Brunswick.

Service environnement du Nouveau Brunswick. 2013a. Environmental Management Program for Land Based Finfish Aquaculture in New Brunswick.

---. 2013b. Environmental Management Program for Land Based Finfish Aquaculture in New Brunswick.

Sherman, K., and E. D. Anderson. 2002. "2 A modular approach to monitoring, assessing and managing large marine ecosystems." Large Marine Ecosystems 11: 9-25.

Smith, D. M., M. A. Burford, S. J. Tabrett, S. J. Irvin, and L. Ward. 2002a. The effect of feeding frequency on water quality and growth of black tiger shrimp (Penaeus monodon). Aquaculture 207, 125-136.

Soproner. 2008a. Suivi environnemental relatif à l'aménagement de la ZAC Dumbéa sur Mer - Rapport de l'état initial.

---. 2015. Suivi environnemental relatif à l'exploitation d'une ferme pilote de pisciculture sur la commune de TOUHO - Rapport annuel 2015.

---. 2018a. Suivi environnemental relatif à l'exploitation d'une ferme pilote de pisciculture sur la commune de Touho - Rapport annuel 2018.

Soto, D. 2011. Développement de l'aquaculture. 4. Une approche écosystémique de l'aquaculture. Directives techniques pour une pêche responsable. N° 5, Suppl. 4. Rome.

Soto, D., and J. Aquilar-Manjarrez. 2008. Building an ecosystem approach to aquaculture. FAO.

Southgate, P., and A. Beer. 1996. Production d'huîtres perlières à lèvres noires en écloserie. Austasia Aquaculture.

Sussarellu, R., M. Suquet, Y. Thomas, C. Lambert, C. Fabioux, M. E. J. Pernet, N. Le Goïc, V. Quillien, C. Mingant, Y. Epelboin, C. Corporeau, J. Guyomarch, J. Robbens, I. Paul-Pont, P. Soudant, and A. Huvet. 2015. Oyster reproduction is affected

by exposure to polystyrene microplastics.: PNAS 113, 2430-2435.

T

Taiarui, M., V. Liao, and S. Planes. 2017. Caractérisation et suivi des dépôts terrigènes de la baie d'Opunohu (Moorea) - rapport final. Rapport CRIOBE pour INTEGRE. RA 249.

Taiarui, M., P. Ung, T. Teura, B. Espiau, G. Siu, M. Antoine, R. Galzin, and S. Planes. 2018. Lagon de l'atoll de Hao. Point zéro. Analyse de la situation globale sur les marqueurs environnementaux clés. Rapport IRCP pour DRMM. RA 273.

Talbot, F., and C. Wilkinson. 2001. Coral reefs, mangroves and seagrasses: a sourcebook for managers. Australian Institute of marine Science ed.

Te moana o te, moana. Les suivis Reef Check : Le protocole.

Thomas, Y. 2005a. Modélisation des flux de nutriments azotés et phosphorés en sortie des bassins d'élevage de crevettes L. stylirostris en Nouvelle-Calédonie et recherche d'indicateurs des effluents d'élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie.

Thomas, Y., C. Courties, Y. El Helwe, Alain Herbland, and H. Lemonnier. 2010a. Spatial and temporal extension of eutrophication associated with shrimp farm wastewater discharges in the New Caledonia lagoon. Marine Pollution Bulletin.

Thomas, Yoann, Claude Courties, Yasmin El Helwe, Alain Herbland, and Hugues Lemonnier. 2010c. Spatial and temporal extension of eutrophication associated with shrimp farm wastewater discharges in the New Caledonia lagoon. Marine Pollution Bulletin.

Thompson, P., K. Wild-Allen, C. Macleod, K. Swadling, S. Blackburn, J. Skerratt, and J. Volkman. 2008. Monitoring the Huon Estuary and D'Entrecasteaux Channel for the Environmental Effects of Finfish Aquaculture.

Trinh, A. M., M. Petit, V. Stabile, and C. Gaspar. 2018. Bilan des activités du réseau Reef Check Polynésie (2016 - 2018). Association Te Mana o te Moana pour Reef Check.

Tsvetnenko, Yuri. 1998. Derivation of Australian Tropical Marine Water Quality criteria for the Protection of Aquatic Life from Adverse Effects of Petroleum Hydrocarbons. Aquatic Science Research Unit, Muresk Institute of Agriculture, Curtin University of Technology, Bentley WA 6102, Australia.

U

Université de la Polynésie, française. 2016. Guide pour l'exploitation de l'huître perlière en Polynésie française - coordination N Gaertner-Mazouni & E Lacoste.

UPF. 2019a. Rapport final : QUALITE des milieux de production et SANTE des cheptels aquatiques en élevage (QUALISANT). Ifremer.

V

Valenti, W., J. Kimpara, B. Preto, and P. Moraes-Valenti. 2018. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems.

Van Nunen, S., N. Johnston, and S. Westley. 2008. Assigning Local Water Quality Trigger Values to Coastal and Marine Assets. Fitzroy Basin Association, Rockhampton, Queensland.

Vandermeulen, Herb. 1998. "The development of marine indicators for coastal zone management." Ocean & Coastal Management 39 (1-2): 63-71.

Virly, S. 2005. Evaluation de l'impact de l'aquaculture de crevettes sur les mangroves de nouvelle-caledonie.

Virly, S., and C. Garrigue. 2010. Reseau d'observation Des Recifs Coralliens (RORC) - Activités entreprises en 2008 et 2009 : Rapport final.

W

Wantiez, L. 2006. Cahier des charges RORC.

Warhurst, A. 1999. Mining and the Environment. International Development Research Centre PO Box 8500, Ottawa, ON, Canada K1G 3H9.

Water and Marine Resources Division - Department of Primary Industries, Parks Water and Environment. 2017. MARINE FARMING LICENCE NO: 236.

Water Quality : A threat to the Great Barrier Reef. Water Quality and Coastal Development Group.

Water Quality of the Great Barrier Reef and Mapping Indicators of Water Quality. 2006. G. De'ath. 2006.

Weitzman, J., L. Steeves, J. Bradford, and R. Filgueira. 2019a. Far-Field and Near-Field Effects of Marine Aquaculture. Elsevier Ltd.

White, P. G. EIA and monitoring for clusters of small-scale cage farms in Bolinao Bay: a case study. In FAO. Environmental impact assessment and monitoring of aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 527.

Wildish, D. J., H. M. Akagi, N. Hamilton, and B. T. Hargrave. 1999. A recommended method for monitoring sediments to detect organic enrichment from mariculture in the Bay of Fundy.

Wilkinson, C., A. Green, J. Almany, and S. Dionne. 2003. Monitoring coral reef marine protected areas - a practical guide on how monitoring can support effective management of mpas. Australian Institute of Marine Science and the IUCN Marine Program.

Williams, D. 2001. "Review of Impacts of Terrestrial Run-off on the Great Barrier Reef World Heritage Area."

X

Xu, F. L., K. C. Lam, Z. Y. Zhao, W. Zhan, Y. David Chen, and S. Tao. 2004. "Marine coastal ecosystem health assessment: a case study of the Tolo Harbour, Hong Kong, China." Ecological Modelling 173 (4): 355-370.

Z

Zar, J. H. 1999a. Biostatistical analysis. 4th edition, Prentice Hall International, London.

Zubia, M. 2018. Macroalgae as a tool for assessing the ecological status of coral reefs under the Water Framework Directive: A case study on the reef ats of La Réunion (Indian Ocean).

Zubia, M., P. Cuet, J. B. Nicet, H. Cambert, A. Bein, A. Foncuberta, and J. Turquet. 2012. Définition d'un bio-indicateur d'eutrophisation (coraux, algues, invertébrés) pour les récifs coralliens de La Réunion - Rapport final Avril 2012.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Démarche générale logique pour la mise en place d'un suivi..... 25

Figure 2 : Positionnement des points d'échantillonnage d'un BACIPS avec un point dans la zone subissant la pression, et trois points de contrôle dans la zone ne risquant pas d'être impactée (zone aux caractéristiques géomorphologiques et courantologiques proches de la zone d'impact, pour éviter les facteurs de confusion). 35

Figure 3 : Plans d'échantillonnage possibles selon le contexte..... 36

Figure 4 : Plans d'échantillonnage classiquement utilisés (Beliaeff et al. 2011) 38

Figure 5 : Rejets solides de fermes aquacoles (en cage) et modélisation 41

Figure 6 : Comparaison entre la médiane calculée à partir des données du site testé et A- le percentile 80 calculé à partir des données d'archive du site de référence ou B- avec une valeur fixe 43

Figure 7 : Devenir des aliments en aquaculture, avec un focus sur l'azote et le phosphore (d'après Laguerre 2013) 46

Figure 8 : Exemples (fictifs) de zones d'influence selon la localisation et le type des installations (croquis : G. Bouvet)..... 47

Figure 9 : Rejets de l'écloserie de VAIA (photo : G. Bouvet) 47

Figure 10 : Installations crevetticoles ; sur la gauche, bassin vidangé ; sur la droite bassin en eau ; ferme crevetticole d'Opunohu (Moorea) (photo : G. Bouvet). 48

Figure 11 : Marina sur l'atoll d'Ahe (photo : G. Bouvet) 49

Figure 12 : Fare greffe et de stockage de matériel sur pilotis (Ahe) (photo : G. Bouvet) 50

Figure 13 : Collecteurs avec nacres (photo : V. Liao) 50

Figure 14 : Cage flottante de l'élevage de Platax de la ferme TFA (photo : G. Bouvet)..... 51

Figure 15 : Tuyaux de prise d'eau de mer de l'écloserie de VAIA (photo : G. Bouvet) et ponton à bateau 51

Figure 16 : Poteau en PVC et corps-morts constitué d'un fût métallique rempli de ciment (Ahe) (photo : G. Bouvet) 52

Figure 17 : Paysage sous-marin dans un lagon perlicole (photo : V. Liao) 53

Figure 18 : Structure en acier galvanisé (aujourd'hui interdit) dans un lagon perlicole (photo : V. Liao)..... 53

Figure 19 : Étiquette d'un bidon d'eau de javel.. 54

Figure 20 : Nettoyage des grillages au surpresseur ; l'accumulation des déchets organiques oblige l'exploitant de cette ferme perlicole de Tahaa à retirer une fois tous les 10 jours les déchets tombés sur le fond (photo : G. Bouvet). 56

Figure 21 : Cabinet de toilette dans un fare greffe avec évacuation directe sur la karena (Gambier) (photo : G. Bouvet)..... 57

Figure 22 : Déchets plastiques non liés directement à l'activité perlicole (Ahe) (photo : G. Bouvet) 58

Figure 23 : Batterie utilisée pour l'outillage électrique dans un fare greffe (Ahe) (photo : G. Bouvet) 58

Figure 24 : Fermes crevetticoles appartenant (à gauche) à Aquapac (Tahiti) et (à droite) à la Société d'Aquaculture d'Opunohu (Moorea) (Photos : Google Earth) 59

Figure 25 : Aliment en granulés pour les crevettes (photo :G. Bouvet)..... 60

Figure 26 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une exploitation d'élevage de crevettes en bassins de terre ; les étoiles rouges représentent les points de vigilance.....64

Figure 27 : Ferme crevetticole (Tahiti) avec des cages rondes et des cages carrées (Tahiti).....65

Figure 28 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une exploitation d'élevage de crevettes (ou de poissons) en cages avec des bâtiments à terre ; les étoiles rouges représentent des exemples de points de vigilance 68

Figure 29 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une exploitation d'élevage de crevettes (ou de poissons) en cages avec des bâtiments à terre ; les étoiles rouges représentent des exemples de points de vigilance 71

Figure 30 : A- Implantation du Centre technique de Vairao (CTA de VAIA) ; B- Schéma de concept des cuves d'élevage des larves de crevettes ; C- Cuves d'élevage des Artemias (Remoissenet et al. 2010) ; D- Cuves d'élevage des poissons (photo : G. Bouvet).....73

Figure 31 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une écloserie (type VAIA) avec cuves, bassins et bâtiments ; les étoiles rouges représentent des exemples de points de vigilance.....75

Figure 32 : Bénitier sauvage dans un atoll (photo V. Liao).....76

Figure 33 : bénitiers d'élevage issus d'une écloserie (Kejaon Sea Farm - Nouvelle-Calédonie) (Photo : G. Bouvet) 77

Figure 34 : Fare greffe sur pilotis dans un atoll perlicole (photo V. Liao).....80

Figure 35 : À gauche, collecteur sans nacres ; à droite, collecteur avec nacres (photo : V. Liao).81

Figure 36 : Utilisation de fil de nylon pour accrocher les nacres en chapelet (photo : V. Liao) 82

Figure 37 : Bouées de surface maintenant les lignes d'élevage des nacres (photo : V. Liao) 83

Figure 38 : Sacs en grillage plastique de type "kangurou" (ou kangaroo) remplis d'huîtres perlière (photo V. Liao).....83

Figure 39 : Schéma de principe d'organisation spatiale d'une ferme perlicole avec à gauche les lignes d'élevage ou de collectage, au milieu les fares sur pilotis, et en haut à droite les éventuels bâtiments à terre ; les étoiles rouges représentent des exemples de lieux de contrôle.....86

Figure 40 : Beggiatoa spp en mangrove (Source : Jean et al. 2015).....93

Figure 41 : Relevé de type MSA.....99

Figure 42 : Différents cas de figure pour les prélèvements de sédiments avec benne (G. Bouvet, d'après Nova Scotia 2020).....101

Figure 43 : Mesure du potentiel REDOX sur une carotte sédimentaire (photo tirée de Creocean 2010).....107

Figure 44 : Huîtres sauvages dans un lagon perlicole (photo : V. Liao) 125

Figure 45 : Perles de différentes couleurs et au lustre parfait.....125

Figure 46 : Situation d'un projet fictif d'exploitation aquacole avec cages en mer 127

Figure 47 : Plan d'échantillonnage pour l'état initial et un programme de suivi régulier d'une exploitation aquacole avec cages en mer 129

Figure 48 : Situation d'un projet fictif d'exploitation avec des bassins de terre 135

Figure 49 : Plan d'échantillonnage pour l'état initial et un programme de suivi régulier d'une exploitation aquacole avec cages en mer 137

Figure 50 : Situation d'un projet fictif d'exploitation perlicole.....146

Figure 51 : plan d'échantillonnage pour l'état initial et un suivi régulier sur le long terme d'une exploitation perlicole 148

Figure 52 : Zone perlicole fictive sur laquelle un programme de suivi doit être déployé.....153

Figure 53 : Proposition de positionnement des différentes stations de suivi d'un atoll perlicole.... 155

Figure 54 : Plan de masse d'un gros projet aquacole terrestre.....160

Figure 55 : Plan d'échantillonnage pour l'état initial et un programme de suivi régulier d'une exploitation aquacole avec cages en mer 162

Figure 56 : Exemple d'organisation du flux de données dans le système d'information.....168

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Exemple de gestion environnementale par niveaux ; la classification des sites aquacoles sur le paramètre Concentration en sulfures détermine le « palier », c'est-à-dire l'intensité du suivi (Environnement et Gouvernements 2012) 29

Tableau 2 : Ajustement du nombre de stations d'échantillonnage du sédiment selon l'occupation de la cage..... 29

Tableau 3 : Conditions du programme de suivi en fonction des caractéristiques observées sur les sédiments d'après les Standards ASC Bivalves (Asc 2019) 30

Tableau 4 : Différents niveaux de suivi pour l'aquaculture (Royaume-Uni) (Fao 2009).....30

Tableau 5 : Niveaux de suivi en fonction du degré de confinement pour une aquaculture avec nourrissage ou pour une aquaculture sans nourrissage mais développée (cheptels importants, forte biomasse)..... 31

Tableau 6 : Niveaux de suivi selon la production nominale..... 32

Tableau 7 : Apport d'aliments selon l'élevage aquacole..... 45

Tableau 8 : Pressions et menaces associées à la crevetticulture en bassin de terre..... 63

Tableau 9 : Pressions et menaces associées à la crevetticulture en cages..... 67

Tableau 10 : Pressions et menaces associées à la pisciculture en cages..... 70

Tableau 11 : Liste des pressions et menaces associées à l'activité d'écloserie..... 74

Tableau 12 : Liste des pressions et menaces associées à l'aquaculture de bénitiers (collectage) 78

Tableau 13 : Liste des pressions et menaces associées à l'aquaculture de bénitiers (grossissement à terre)..... 78

Tableau 14 : Pressions et menaces associées à l'activité perlicole..... 85

Tableau 15 : Occurrence des paramètres de suivi en contexte aquacole les plus communément cités dans la littérature.....89

Tableau 16 : occurrence des paramètres de suivi en contexte aquacole les plus communément cités dans la littérature (suite) 90

Tableau 17 : liste des principaux paramètres jugés pertinents pour les suivis en contexte aquacole/perlicole en Polynésie française.....94

Tableau 18 : Grille de lecture pour l'évolution du recouvrement en macro-algues.....100

Tableau 19 : Groupes écologiques de polluo-sensibilité (d'après Grall & Glémarec, 1997) 102

Tableau 20 : Correspondance entre coefficient benthique et indice biotique (selon Borja et al, 2000)..... 102

Tableau 21 : Grille de lecture pour l'évolution de l'indice biotique..... 103

Tableau 22 : Grille de lecture pour l'évolution de la matière organique (MO) entre deux dates (1) et (2) 104

Tableau 23 : Grille de lecture pour l'évolution du pourcentage de particules fines (PF) entre deux dates (1) et (2) 105

Tableau 24 : Valeurs seuils de potentiel REDOX définissant des niveaux d'enrichissement du sédiment dans le sédiment de surface (jusqu'à 4 cm) et le sédiment plus profond (jusqu'à 20 cm) 108

Tableau 25 : Grille de lecture pour l'évolution des REDOX entre deux dates (1) et (2) 108

Tableau 26 : Grille de lecture pour l'évolution des paramètres (RCV : recouvrement en corail vivant / RAD : recouvrement en algues dressées / RCM : recouvrement en corail mort) entre deux dates (1) et (2) ; E = évolution (sous la forme d'un ratio) ; D = évolution (sous la forme d'une différence) 110

Tableau 27 : Grille de lecture pour l'évolution de la quantité de microplastiques (QMP) entre deux dates (1) et (2) 111

Tableau 28 : valeurs seuils définissant l'état des masses d'eau (Ile de la Réunion) 116

Tableau 29 : valeurs seuils pour l'oxygène dissous (d'après Beliaeff et al. 2011) 116

Tableau 30 : Valeurs de concentration en chlorophylle a (DCE La Réunion) (Ifremer 2018a) ... 118

Tableau 31 : Valeurs de référence pour les concentrations en chlorophylle a (d'après comm. pers. R. Arfi, 2010) (Beliaeff et al. 2011) 118

Tableau 32 : Valeurs de concentration en chlorophylle a (à 0,5 m de profondeur) dans le lagon et au large de différents atolls de Polynésie française (d'après les données brutes TYPATOLL 1990 et 1995) 118

Tableau 33 : Valeurs de références pour la turbidité à la Réunion (Ifremer 2018b) 119

Tableau 34 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi 128

Tableau 35 : Détails du programme de l'état initial et du suivi régulier pour une exploitation aquacole avec cages en mer 131

Tableau 36 : Exemple de relevés additionnels pour le programme de suivi d'une exploitation aquacole avec cages en mer 132

Tableau 37 : Exemple de mesures de gestion selon les résultats obtenus sur les différents paramètres pour une exploitation aquacole avec cages en mer 133

Tableau 38 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi 136

Tableau 39 : Détails du programme pour l'état initial (sans et avec exploitation) pour une exploitation aquacole à terre 140

Tableau 40 : Programme minimum pour le suivi régulier et exemple de relevés additionnels pour le programme de suivi d'une exploitation aquacole à terre 141

Tableau 41 : Exemple de mesures de gestion selon les résultats obtenus sur les différents paramètres pour une exploitation aquacole à terre 142

Tableau 42 : Règles de déclenchement de l'intensification des suivis fonds meubles et fonds durs (passage de tous les 4 ans à tous les ans), et règles de déclenchement des suivis additionnels, enquêtes et sanctions éventuelles pour une exploitation aquacole à terre 143

Tableau 43 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi 146

Tableau 44 : Niveaux de suivi pour les exploitations perlicoles individuelles en fonction du degré de confinement et de la production 148

Tableau 45 : Détails du programme de suivi régulier pour une exploitation perlicole individuelle 150

Tableau 46 : Exemple de mesures de gestion selon les résultats obtenus sur les différents paramètres pour une exploitation perlicole individuelle 151

Tableau 47 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi..... 154

Tableau 48 : Détails du programme de suivi régulier pour un atoll perlicole 156

Tableau 49 : Niveaux de suivi pour les atolls perlicoles.....157

Tableau 50 : Liste des données zootechniques nécessaires pour le programme de suivi..... 161

Tableau 51 : Niveaux de suivi pour les complexes aquacoles terrestres.....162

Tableau 52 : Détails du programme pour l'état initial et du suivi régulier minimum pour un complexe aquacole.....164

Tableau 53 : Exemple de relevés additionnels pour le programme de suivi d'un complexe aquacole terrestre.....165

Tableau 54 : Règles de déclenchement de l'intensification des suivis fonds meubles et fonds durs (4 ans → 1 an), et règles de déclenchement des suivis additionnels, enquêtes et sanctions éventuelles pour une exploitation aquacole à terre 165

ANNEXE 1 - *Substances prioritaires (DCE)*

Numéro	Numéro CAS [1]	Numéro UE [2]	Nom de la substance prioritaire [3]	Identifiée comme substance dangereuse prioritaire
1	15972-60-8	240-110-8	Alachlore	
2	0120-12-7	204-371-1	Anthracène	X
3	1912-24-9	217-617-8	Atrazine	
4	71-43-2	200-753-7	Benzène	
5	sans objet	sans objet	Diphényléthers bromés	X [4]
6	7440-43-9	231-152-8	Cadmium et ses composés	X
7	85535-84-8	287-476-5	Chloroalcanes, C10-13	X
8	470-90-6	207-432-0	Chlorfenvinphos	
9	2921-88-2	220-864-4	Chlorpyrifos (éthylchlorpyrifos)	
10	0107-06-02	203-458-1	1,2-dichloroéthane	
11	75-09-2	200-838-9	Dichlorométhane	
12	117-81-7	204-211-0	Di(2-ethylhexyle)phthalate (DEHP)	X
13	330-54-1	206-354-4	Diuron	
14	115-29-7	204-079-4	Endosulfan	X
15	206-44-0	205-912-4	Fluoranthène	
16	118-74-1	204-273-9	Hexachlorobenzène	X
17	87-68-3	201-765-5	Hexachlorobutadiène	X
18	608-73-1	210-168-9	Hexachlorocyclohexane	X
19	34123-59-6	251-835-4	Isoproturon	
20	7439-92-1	231-100-4	Plomb et ses composés	
21	7439-97-6	231-106-7	Mercure et ses composés	X
22	91-20-3	202-049-5	Naphtalène	
23	7440-02-0	231-111-4	Nickel et ses composés	
24	sans objet	sans objet	Nonylphénols	X [5]
25	sans objet	sans objet	Octylphénols [6]	
26	608-93-5	210-172-0	Pentachlorobenzène	X
27	87-86-5	201-778-6	Pentachlorophénol	
28	sans objet	sans objet	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) [7]	X
29	122-34-9	204-535-2	Simazine	
30	sans objet	sans objet	Composés du tributylétain	X [8]
31	12002-48-1	234-413-4	Trichlorobenzène	
32	67-66-3	200-663-8	Trichlorométhane (chloroforme)	
33	1582-09-08	216-428-8	Trifluraline	X
34	115-32-2	204-082-0	Dicofol	X
35	1763-23-1	217-179-8	Acide perfluorooctanesulfonique et ses dérivés (perfluoro-octanesulfonate PFOS)	X
36	124495-18-7	sans objet	Quinoxyfène	X
37	sans objet	sans objet	Dioxines et composés de type dioxine	X [9]
38	74070-46-5	277-704-1	Aclonifène	
39	42576-02-03	255-894-7	Bifénox	
-40	28159-98-0	248-872-3	Cybutryne	
41	52315-07-08	257-842-9	Cypermethrine [10]	
42	62-73-7	200-547-7	Dichlorvos	
43	sans objet	sans objet	Hexabromocyclododécanes (HBCDD)	X [11]
44	76-44-8/ 1024-57-3	200-962-3/213-831-0	Heptachlore et époxyde d'heptachlore	X
45	886-50-0	212-950-5	Terbutryne	

Source : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:32013L0039.
Les Normes de Qualité Environnementales (NQE) pour les substances prioritaires et certains autres polluants sont également disponibles sur https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:32013L0039.

(1) CAS: Chemical Abstracts Service.
(2) Numéro UE: Inventaire européen des produits chimiques commercialisés (Einecs) ou Liste européenne des substances chimiques notifiées (Elincs).
(3) Lorsque des groupes de substances ont été sélectionnés, sauf indication expresse, des représentants typiques de ce groupe sont définis aux fins de l'établissement des normes de qualité environnementale.
(4) Uniquement le tétrabromodiphényléther (no CAS 40088-47-9), le pentabromodiphényléther (no CAS 32534-81-9), l'hexabromodiphényléther (no CAS 36483-60-0) et l'heptabromodiphényléther (no CAS: 68928-80-3).
(5) Nonylphénol (no CAS 25154-52-3; no UE 246-672-0), y compris les isomères 4-nonylphénol (no CAS 104-40-5; no UE 203-199-4) et 4-nonylphénol (ramifié) (no CAS 84852-15-3; no UE 284-325-5).
(6) Octylphénol (no CAS 1806-26-4; no UE 217-302-5), y compris l'isomère 4-(1,1',3,3'- tétraméthylbutyl)-phénol (no CAS 140-66-9; no UE 205-426-2).
(7) Y compris le benzo(a)pyrène (no CAS 50-32-8; no UE 200-028-5), le benzo(b)fluoranthène (no CAS 205-99-2; no UE 205-911-9), le benzo(g,h,i)perylène (no CAS 191-24-2; no UE 205-883-8), le benzo(k)fluoranthène (no CAS 207-08-9; no UE 205-916-6) et l'indéno(1,2,3-cd)pyrène (no CAS 193-39-5; no UE 205-893-2), mais à l'exception de l'anthracène, du fluoranthène et du naphtalène, qui sont énumérés séparément.
(8) Y compris le tributylétain-cation (no CAS: 36643-28-4).
(9) Se rapporte aux composés suivants :
- sept dibenzo-p-dioxines polychlorées (PCDD): 2,3,7,8-T4CDD (no CAS 1746-01-6), 1,2,3,7,8-P5CDD (no CAS 40321-76-4), 1,2,3,4,7,8-H6CDD (no CAS 39227-28-6), 1,2,3,6,7,8-H6CDD (no CAS 57653-85-7), 1,2,3,7,8,9-H6CDD (no CAS 19408-74-3), 1,2,3,4,6,7,8-H7CDD (no CAS 35822-46-9), 1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDD (no CAS 3268-87-9);
- dix dibenzofurannes polychlorés (PCDF): 2,3,7,8-T4CDF (CAS 51207-31-9), 1,2,3,7,8-P5CDF (CAS 57117-41-6), 2,3,4,7,8-P5CDF (CAS 57117-31-4), 1,2,3,4,7,8-H6CDF (CAS 70648-26-9), 1,2,3,6,7,8-H6CDF (CAS 57117-44-9), 1,2,3,7,8,9-H6CDF (CAS 72918-21-9), 2,3,4,6,7,8-H6CDF (CAS 60851-34-5), 1,2,3,4,6,7,8-H7CDF (CAS 67562-39-4), 1,2,3,4,7,8,9-H7CDF (CAS 55673-89-7), 1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDF (CAS 39001-02-0).
- douze biphényles polychlorés de type dioxine (PCB-TD): 3,3',4,4'-T4CB (PCB 77, no CAS 32598-13-3), 3,3',4',5-T4CB (PCB 81, no CAS 70362-50-4), 2,3,3',4,4'-P5CB (PCB 105, no CAS 32598-14-4), 2,3,4,4',5-P5CB (PCB 114, no CAS 74472-37-0), 2,3',4,4',5-P5CB (PCB 118, no CAS 31508-00-6), 2,3',4,4',5'-P5CB (PCB 123, no CAS 65510-44-3), 3,3',4,4',5-P5CB (PCB 126, no CAS 57465-28-8), 2,3,3',4,4',5-H6CB (PCB 156, no CAS 38380-08-4), 2,3,3',4,4',5'-H6CB (PCB 157, no CAS 69782-90-7), 2,3',4,4',5,5'-H6CB (PCB 167, no CAS 52663-72-6), 3,3',4,4',5,5'-H6CB (PCB 169, no CAS 32774-16-6), 2,3,3',4,4',5,5'-H7CB (PCB 189, no CAS 39635-31-9).
(10) Le no CAS 52315-07-8 se rapporte à un mélange d'isomères de cyperméthrine, d'alpha-cyperméthrine (no CAS 67375-30-8), de bêta-cyperméthrine (no CAS 65731-84-2), de thêta-cyperméthrine (no CAS 71697-59-1) et de zêta-cyperméthrine (no CAS 52315-07-8).
(11) Se rapporte au 1,3,5,7,9,11-hexabromocyclododécane (no CAS: 25637-99-4), le 1,2,5,6,9,10-hexabromocyclododécane (no CAS 3194-55-6), l'α-hexabromocyclododécane (no CAS: 134237-50-6), le β-Hexabromocyclododécane (no CAS 134237-51-7) et le □-hexabromocyclododécane (no CAS 134237-52-8).».

ANNEXE 2 - *Principaux composés chimiques utilisés en aquaculture*

Catégories	Type	Exemple
Composés associés à une structure	additif plastique	Stabilizers, pigments, antioxidants,…
	Antifouling	tributyltin
Traitement des eaux et des sols	Flocculant	alum, EDTA, gypse,…
	Controleur d'alcalinité	chaux
	Contrioleur d'ammoniaque	zeolite, extrait de graines de raisin,…
	Osmorégulateur	sodium chloride, gypse
	Précipitant de H2S	Oxide de fer
Fertilisants	Sels inorganiques	chaux, maerl, nitrates, …
	Fertilisants organiques	urée, manures,…
Désinfectants	General	Formalin, Hyprochlorite
	Iodophores	PVPI, sulphonamides, ozone
	Actuel	Ammonium quaternaires, …
Agents antibactériens	H-Lactams	Amoxycillin
	Nitrofurans	Furazolidone, Nifurpirinol
	Macrolides	Erythromicine
	Quinolones	Acide nalidixique, Acide oxolinique, …
	Rifampicin	
	Sulphonomides	
	Tetracyclines	Oxytetracycline, chlortetracycline, …
Contaminants	Metaux lourd	Mercure, Plomb, Mercure, …
	Insecticides	DDT, dieldrin, lindane, PCBs et Dioxines
Thérapeutique et autres anti-bactériens		Acriflavine, composés ferique, dimetridazole, ..
Pesticides		Ammoniaque, Azinphos ethyl, ….
		roténone, saponin, trichlorofon, ….
		Urée, triphenyltin, sulphate de fer
Herbicides / Algicides		2,4-D, Dalapon, Paraquat, ….
		ricinoleate,cuivre,…
Additif alimentaires	acidifiers	citrates
	Anti-oxydants	butylated hydoxyanisole, …
	Liant	animal protein, mineral (bentonite, magnesite), ….
	Enzymes	
	Emulsifiant / surfactants	
	Mineraux	
	Pigments	
	Colorant alimentaire	carotenoids (natural, synthetic)
	Vitamines	
	Acides aminés	
	Attractant alimentaires	
	Immunostimulants	
Anesthésique		benzocaine, carbon dioxide, ….
Hormones	Hormones de croissance	methyl-testosterone, oestradiol, ….
Lubrifiant et essence		kerosene, petrol, diesel, oil

Principaux composés chimiques utilisés en aquaculture (compilés d'après GESAMP, 1997; Boyd et Massaut, 1999; FAO/Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific (NACA)/World Health Organization (WHO), 1999; Arthur et al ., 2000; Barrows, 2000) in (Lemonnier et al. 2006).



PACIFIC COMMUNITY – COMMUNAUTÉ DU PACIFIQUE
CPS - B.P. D5 – 98848 NOUMEA, NEW CALEDONIA – NOUMÉA, NOUVELLE-CALÉDONIE
www.spc.int