



PROTEGE



Maîtrise de la production d'alevins de Marava en vue d'une pisciculture artisanale low-cost adaptée au contexte local et au changement climatique en Polynésie française

Rapport final

Direction des ressources
marines de Polynésie française

Février 2024



DIRECTION DES
RESSOURCES MARINES
PU FA'AHOTU MOANA

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 11^{ème} 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 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.

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 :

Direction des ressources marines de Polynésie française, 2024, Maîtrise de la production d'alevins de Marava en vue d'une pisciculture artisanale low-cost adaptée au contexte local et au changement climatique en Polynésie française : Rapport final

Bilan d'activité, Polynésie française, 45 pages (sans annexes)

Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité de Direction des ressources marines de Polynésie française et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.

Table des matières

Table des matières

1	Introduction	6
1.1	Contexte.....	6
1.1.1	Le mésocosme, une méthode d'écloserie	6
1.1.2	Le Marava et le mésocosme dans la pisciculture marine en Polynésie française	9
1.2	Objectifs de la mission menée dans le cadre de PROTEGE.....	11
2	Méthodes.....	11
2.1	Limites technico-économiques : un changement de stratégie.....	11
2.2	Problématiques techniques	12
2.2.1	L'entrée dans l'exotrophie du Marava	12
2.2.2	La fourniture de proies-vivantes.....	12
2.2.3	La préparation des mésocosmes	13
2.2.4	Le choix des bassins d'élevage.....	13
2.3	Essais à différentes échelles.....	14
3	Bilan	14
3.1	Bilan des élevages larvaires	14
3.1.1	Bilan des larvaires Marava	14
3.1.2	Bilan des essais larvaires Paraha Peue	21
3.2	Bilan : Collectage de planctons	26
3.2.1	Évolution des pompes à planctons.....	26
3.2.2	Rinçage et sélection	30
3.2.3	Extraction d'œufs de copépodes <i>Oithona</i>	30
3.3	Bilan : Préparation des mésocosmes	31
3.3.1	Essais de blooms naturels ou inoculés	31
3.3.2	Essais de conditionnements des copépodes de pompage	34
3.4	Bilan : Structures d'élevage larvaire	36
3.4.1	Tarpaulins immergés	36
3.4.2	Incubateurs immergés.....	38
3.5	Bilan : Expertise et échanges	39
3.6	Bilan : Ressources Humaines.....	39
4	Conclusions et Perspectives	40

4.1	Perspectives en pisciculture du Marava	40
4.2	Paraha Peue : Continuer les essais larvaires sur la base des avancées réalisées pendant PROTEGE 40	
4.3	Collecte de planctons	43
4.4	Extraction et cryoconservation d'œufs de copépodes	44
4.5	Alevinage en structures immergées.....	44
5	Bilan financier.....	1
6	Annexe photo.....	1

Résumé exécutif

Titre de l'action	Maîtrise de la production d'alevins de Marava en vue d'une pisciculture artisanale low-cost adaptée au contexte local et au changement climatique en Polynésie française (Action 5B.1.3 du plan de mise en œuvre PROTEGE)
Auteurs	Direction des ressources marines de Polynésie française (Corentin SALVAN)
Collaborateurs	
Editeurs	
Année d'édition du rapport	2024

Objectif de l'action	<p>L'objectif de l'action est de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Développer et sécuriser une filière artisanale de pisciculture pour favoriser le maintien des populations dans les îles et l'émergence des nouvelles techniques en aquaculture (AMTI et co-culture) ; - Diversifier l'activité aquacole en proposant une nouvelle espèce piscicole autre que le Platax et offrir aux consommateurs un nouveau produit (macro-algues) ;
Contexte	<p>Malgré une rapide croissance mondiale, l'aquaculture en Polynésie française est encore peu développée notamment en pisciculture, mis à part quelques projets d'aquaponie de Tilapia (espèce exogène), il n'existe à ce jour qu'une filière en activité en Polynésie française, celle du Paraha peu (Platax orbicularis). C'est pourquoi, il existe une forte volonté stratégique de la Direction des Ressources Marines (DRM) de diversifier la filière en proposant à minima une nouvelle espèce de poisson aux opérateurs privés, tout en s'inscrivant dans une démarche respectueuse de l'environnement et en prenant en compte le contexte socioculturel de la Polynésie française.</p> <p>Dans le cadre du projet INTEGRE (Xème FED) un projet sur la production à bas coût du Marava (<i>Siganus argenteus</i>) à but d'élevage et de réensemencement sur la presqu'île de Tahiti a permis la production de plusieurs milliers d'alevins de Marava ainsi que la réalisation du premier relâché de poissons issus d'écloserie en Polynésie française. Malgré des premiers résultats très satisfaisants, il restait des travaux à mener notamment en matière de production de juvéniles.</p> <p>Dans le cadre de ses missions, la Direction des Ressources Marines, chargée d'assurer la gestion et la préservation des ressources aquatiques relevant de sa compétence en vue d'une exploitation responsable et durable, a souhaité sécuriser le modèle de production low-cost en pisciculture pour favoriser le maintien des populations dans les îles, diversifier l'offre auprès des consommateurs et soutenir les filières aquacoles de la Polynésie française.</p>
Méthodologie	<p>Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs volets étaient prévus :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expérimentation, de recherche & développement et de maîtrise de productions aquacoles notamment : mettre au point des techniques aquacoles de référence sur de nouvelles filières aquacoles, sur des

	<p>poissons coralliens ; concevoir les méthodes et indicateurs de suivi des résultats des programmes aquacoles.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Production de guides de référence : rédiger des guides de bonnes pratiques d'élevage en cage et en éclosion - Contribution aux orientations de la filière et à la prise de décision <p>Plus précisément, la méthodologie choisie pour le développement du mésocosme de Marava a reposé sur la nécessité de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Penser et développer un protocole d'élevage larvaire low-cost notamment en proposant une solution d'éclosion et de production nécessitant peu de capital - Développer un protocole low-tech en favorisant l'utilisation de matériaux disponibles localement et facilement réparables - Étant donné que le marava est une espèce difficile, proposer, in fine, un protocole mésocosme multi spécifique qui permette de « tout faire ».
<p>Résultats et conclusions</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les élevages larvaires de Marava en mésocosme et en eau biosécurisée n'ont pas permis de survie au-delà de J4, malgré des essais de proies vivantes diverses (nauplii de copépodes, trocophores d'huîtres de roche, ciliés) dans différentes structures (bacs, bassins, tarpaulins). - Les essais d'élevage larvaire en mésocosme du Paraha Peue ont permis des résultats encourageants. - Un système de pompage de plancton efficace par airlift a été conçu. - Une méthode de préparation des mésocosmes permettant d'obtenir un milieu stable et riche en proies d'intérêt a été mis en place. - Un système d'élevage en enceinte immergée a été développé pour le mésocosme et l'alevinage.
<p>Limites de l'action</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les travaux sur le Marava sont abandonnés par suite des échecs récurrents en élevage larvaire précoce. - Les taux de survies obtenues avec le Paraha Peue en mésocosme sont insuffisants pour une exploitation commerciale. - Les travaux de fiabilisation du protocole d'élevage larvaire en mésocosme devront être poursuivis sur le Paraha Peue.

1 Introduction

1.1 Contexte

1.1.1 Le mésocosme, une méthode d'éclosion

Afin de comprendre la problématique du mésocosme polynésien, il convient d'éclaircir ce concept de mésocosme, parfois ambigu, en le resituant dans le panorama des différentes méthodes de production de juvéniles de poissons.

En pisciculture, l'obtention d'alevins destinés au grossissement repose sur différentes méthodes dites « d'écloserie » que l'on peut grossièrement classer par degré d'intensivité.

- Le mésocosme extensif

Le premier degré de l'écloserie, si l'on omet la capture directe dans le milieu de juvéniles, qui ne saurait être qualifiée d'écloserie, est représenté par le mésocosme extensif d'étang. C'est la méthode la plus simple. Par le terme « mésocosme », on entend que le milieu comprend une productivité primaire (microalgues) qui sert de substrat à une chaîne alimentaire zooplanctonique, laquelle nourrit les larves de poisson. Dans ce mésocosme extensif, les œufs ou les larves sont introduits à très faible densité (0,1-1 larve par litre) dans un volume d'eau de mer conséquent (100-1000m³) protégé des principaux prédateurs, et dans lequel on aura préalablement déclenché, ou laissé se développer progressivement, une efflorescence phyto-zooplanctonique qui sert de base nutritive aux larves.

Le degré de contrôle des facteurs environnementaux est faible : l'étang n'est en général pas ou peu protégé de la pluie et du soleil, il n'est guère possible de renouveler rapidement l'eau qui n'est pas ou très grossièrement filtrée.

Les communautés planctoniques qui s'y développent, introduites lors du remplissage de l'étang avec de l'eau brute, présentent l'avantage d'être diversifiées (tailles, taxons), mais peuvent inclure des espèces néfastes aux larves ou à leurs proies. L'alimentation des larves repose uniquement sur la production endogène du milieu, qui peut être très limitée. Il y a donc une possibilité de surpâturage, ou déplétion des proies nécessaires au développement larvaire. L'élevage larvaire est par conséquent conduit à très faible densité, parfois avec différentes espèces de poissons : le plus souvent une espèce simple et robuste dont l'écloserie est facile, comme le barramundi, associée à une espèce difficile dont la survie est plus aléatoire (mérus, sigans).

Les résultats en mésocosme extensif peuvent être très variables, l'intervention humaine sur les facteurs environnementaux et sur la qualité nutritive du milieu étant limitée à la phase de préparation de l'étang. Ce type d'écloserie ne requiert pas d'intrants (éventuellement une fertilisation préliminaire pour faciliter l'efflorescence phytoplanctonique), peu de main-d'œuvre en dehors des phases de récolte et de transfert des larves sevrées. Le faible rendement volumique implique une forte emprise foncière, contrainte qui rend ce modèle de production difficilement transférable dans le contexte polynésien.

- L'écloserie intensive conventionnelle

Le système contrastant le plus avec le mésocosme extensif est l'écloserie intensive. Bien qu'il existe de nombreuses variantes de ce mode de production, l'écloserie intensive se caractérise par un contrôle beaucoup plus complet du milieu d'élevage :

- L'eau est « biosécurisée », c'est-à-dire filtrée au micron puis traitée aux UV ou à l'ozone, parfois recirculée.
- Les enceintes d'élevage sont couvertes, protégées des variations environnementales et isolées par un sas de désinfection.

- Les bassins permettent par leur forme un contrôle de l'hydrodynamisme et par leur couleur un contraste qui facilite la prédation des proies-vivantes par les larves.
- Il est possible de contrôler la température pour annualiser les productions.
- Les proies-vivantes sont produites en cultures pures exogènes, fournies suivant une séquence chronologique optimale. En général : microalgues associées à des rotifères en tout début d'élevage puis *Artemia*, séquence conventionnelle à laquelle on peut ajouter des nauplii de copépodes pour l'entrée dans l'exotrophie des larves à petites bouches des espèces les plus « difficiles ».
- Le sevrage et le transfert sont facilités par l'utilisation de petits volumes (2-12m³) conduits à haute densité (20-100 larves/l).

L'écloserie intensive permet des résultats fiables et reproductibles grâce à l'utilisation de protocoles standardisés. Les taux de survie sont en général élevés, supérieurs à 20-40 % en fonction des espèces, ce qui permet de tirer le meilleur parti de la production d'œufs par les géniteurs.

Pour son fonctionnement, l'écloserie intensive fait appel à des techniciens spécialisés capables de gérer des systèmes complexes et coûteux. La production est tributaire de l'approvisionnement en intrants divers (pâte d'algues, cystes d'*Artemia*) ainsi qu'en pièces détachées et maintenances spécialisées (UV, filtres, pompes, ozonateur, froid, etc.). Par conséquent, c'est une méthode de production des juvéniles difficile à projeter hors des zones bien desservies, contrairement au mésocosme extensif, décentralisable.

L'importance du capital minimum nécessaire au fonctionnement d'une écloserie intensive, ainsi que son besoin en personnel qualifié, signifient que la question des économies d'échelle est centrale dans le dimensionnement de ces installations au sein d'une filière. Une écloserie intensive ne peut être rentable qu'à condition de produire de nombreux alevins pour plusieurs grossisseurs dont la demande est continue et prévisible. Pour donner un ordre de grandeur illustratif, on estime, sans tenir compte de l'espèce, que l'équilibre financier n'est atteignable dans de telles structures qu'à partir du million d'alevins produits par an. Les petites fermes de grossissement tendent donc à externaliser l'écloserie. Seules les fermes produisant plusieurs milliers de tonnes par an ont intérêt à internaliser la production de leurs alevins. Dans de nombreux pays, ces écloseries ne sont pas rentables et reposent sur un financement public pour développer des filières. C'est le cas aujourd'hui en Polynésie française.

Enfin, la nécessité d'employer un personnel spécialisé pour maintenir des cultures pures de proies-vivantes, alimentées par des stocks d'intrants périssables, implique que l'écloserie doit fonctionner en continu, alors que les mésocosmes extensifs peuvent être entrepris ponctuellement, pour le besoin d'un fermier, souvent par le fermier lui-même.

- L'écloserie semi-intensive et le mésocosme semi-intensif

Entre ces deux extrêmes que sont l'écloserie intensive et le mésocosme d'étang extensif, existe une myriade de variations que l'on qualifie de « semi-intensives ».

L'écloserie semi-intensive est bien représentée en Australie, où le barramundi est élevé dans des volumes de 20-50m³ à une densité initiale de 4-5 larves/l. L'eau est filtrée sommairement en entrée. Le milieu estensemencé quelques jours avant le début de l'élevage en microalgues et en rotifères issus de cultures pures. La productivité endogène du milieu est complétée en cas de surpâturage à partir de ces cultures pures, puis des *Artemia* sont incorporées jusqu'au sevrage. Cette méthode de production semi-intensive est moins exigeante en matière de filtration et de structures, mais ne s'affranchit pas des cultures de proies-vivantes exogènes (salle d'algues et rotifères). Une main d'œuvre spécialisée reste donc nécessaire pour le maintien des souches et l'élevage de proies-vivantes.

L'écloserie semi-intensive demeure donc une méthode de production d'alevins qui repose sur une structure spécialisée, bien que simplifiée : l'écloserie. Il s'agit d'une variation de l'écloserie intensive et il n'est pas rare de voir des écloseries conventionnelles intensives étendre leurs productions à des bacs extérieurs gérés en semi-intensif. En Polynésie française, de tels protocoles sont intéressants pour les *Écloseries de production de Vaia* (EPV), qui disposent déjà de cultures de proies-vivantes gérées par un personnel qualifié. La mise en place de protocoles semi-intensifs permettraient aux structures actuelles de développer la production de nouvelles espèces dans des volumes extérieurs, sans avoir à investir lourdement dans de nouveaux systèmes de biosécurisation.

Cependant, ces protocoles d'écloserie semi-intensifs ne répondent pas au besoin polynésien d'un itinéraire technique décentralisable pouvant être mis en œuvre ponctuellement par un petit grossisseur pour son besoin propre, avec des moyens simples. Cette méthode de production « insulaire », qui ne nécessiterait ni microalgues issues de cultures axéniques, ni cultures de proies-vivantes à maintenir, ni intrants d'importation, mais resterait suffisamment productive dans des volumes modérés compatibles avec les contraintes foncières polynésiennes, peut être qualifiée de mésocosme semi-intensif.

1.1.2 Le Marava et le mésocosme dans la pisciculture marine en Polynésie française

En 2023, la pisciculture marine polynésienne est représentée par une unique ferme de grossissement qui produit 15 tonnes par an de Paraha Peue (*Platax orbicularis*), à partir d'alevins produits par la *Coopérative des Aquaculteurs de la Polynésie Française* (CAPF) dans les *Écloseries de production de Vaia* (EPV) suivant une méthode intensive à séquence alimentaire conventionnelle.

Il existe une forte volonté stratégique de la Direction des Ressources Marines (DRM) de diversifier la filière en proposant à minima une nouvelle espèce de poisson aux opérateurs privés, tout en s'inscrivant dans une démarche respectueuse de l'environnement et en prenant en compte le contexte socioculturel de la Polynésie française. La maîtrise d'une seconde espèce permettrait de diversifier le choix des poissons d'aquaculture offerts aux consommateurs polynésiens et réduirait potentiellement la vulnérabilité de la filière actuelle aux risques pathogéniques.

Le Marava (*Siganus argenteus*) a été retenu comme nouvelle espèce possible pour diverses raisons :

- C'est un poisson connu, apprécié du consommateur polynésien.
- Il s'agit d'une espèce herbivore, ce qui permet d'envisager une filière indépendante des pêcheries minotières, puisqu'il serait possible de fournir aux Marava un aliment entièrement

végétalisé, aliment qui pourrait éventuellement être produit localement avec une faible empreinte carbone. Pour cela, il faudrait préalablement avoir créé une filière suffisamment productive pour intéresser une provenderie ou avoir formulé, testé et validé économiquement un aliment que le fermier pourrait produire lui-même à très petite échelle.

- C'est un poisson populaire, vendu à relativement bas prix. La volonté stratégique derrière le choix du Marava était de proposer aux polynésiens un poisson d'aquaculture peu coûteux comparativement au Paraha Peue, identifié par le consommateur comme un poisson haut de gamme.
- Un lot de géniteurs Marava d'une dizaine d'individus est capable de produire systématiquement plusieurs millions d'œufs autour de la nouvelle lune. Cette abondance prévisible est tout-à-fait compatible avec les faibles taux de survie et la nécessité d'un temps de préparation du milieu d'élevage larvaire qui caractérisent le mésocosme.

La création d'une pisciculture artisanale décentralisée du Marava présente néanmoins quelques difficultés propres, qui justifient le choix du mésocosme comme solution d'écloserie :

- La larve du Marava ne se satisfait pas de rotifères pour entrer dans l'exotrophie. Des proies plus petites, comme des nauplii de copépodes, sont nécessaires. En écloserie, cela imposerait d'exploiter une salle de culture de microalgues ainsi qu'une salle de culture de copépodes Paracalanidae. Ces productions viendraient s'ajouter aux rotifères et aux *Artemia*, proies-vivantes qui pèsent déjà lourd dans le coût du poisson en sortie d'écloserie conventionnelle. L'ajout des copépodes et de la salle d'algue ne peut se justifier économiquement que pour une filière quantitative, produisant des poissons chers et de grande taille pour lesquels le coût de l'écloserie par rapport au coût global est faible. Seul le mésocosme, par l'établissement de cohortes zooplanctoniques diversifiées à bas coût, permettrait de produire des larves de ces poissons « difficiles » sans passer par la production de copépodes en culture pure.
- Les Marava mûrissent rapidement, entre 150 et 200g, ce qui impose de le commercialiser à taille « portion », avant que la croissance gonadique ne détériore l'indice de conversion. Dans ces conditions, pour que le coût de l'écloserie ne dépasse pas une proportion raisonnable du coût global du poisson, il convient de se tourner vers des méthodes capables de produire des alevins à bas coût. L'écloserie intensive est une solution pour produire à bas coût des volumes industriels de poissons « faciles » capables de débiter leur vie trophique avec des rotifères. Pour un poisson à entrer dans l'exotrophie difficile comme le Marava, commercialisé à petite taille à bas prix par une filière de piscicole artisanale décentralisée et fragmentée, seul le mésocosme paraît envisageable.

La maîtrise de la technique du mésocosme pour le Marava a pour objectif l'appropriation de la phase d'écloserie par des petits fermiers, ce qui permettrait une décentralisation de la pisciculture vers les îles éloignées de Tahiti, soit la fondation d'une pisciculture insulaire autonome.

Dans le cadre du programme INTEGRE (10^{ième} FED) un projet sur la production à bas coût du Marava (*Siganus argenteus*) à but d'élevage et de réensemencement sur la presqu'île de Tahiti a permis la

production de plusieurs milliers d'alevins de Marava ainsi que la réalisation du premier relâché de poissons issus d'écloserie en Polynésie française. Deux mille poissons ont pu être produits par la DRM lors d'un essai larvaire du programme INTEGRE. L'année suivante, deux essais larvaires ont produit chacun aux alentours d'un millier d'alevins. Ces résultats encourageants, mais très aléatoires, appelaient à prolonger les travaux afin d'obtenir des survies fiables et reproductibles, quantitativement suffisantes pour permettre l'implantation de projets privés artisanaux.

Les travaux ont repris en janvier 2020 pour une durée initiale de 3 ans dans le cadre du programme PROTEGE (11^{ème} FED). Auparavant, des travaux avaient été réalisés pendant 2 ans dans le cadre d'INTEGRE, puis 1 an dans le cadre d'une prestation. Le choix d'une espèce entraîne la DRM et ses équipes sur un temps relativement long (environ 6 ans).

1.2 Objectifs de la mission menée dans le cadre de PROTEGE

En pisciculture, les objectifs initiaux sont :

- Maîtriser l'élevage larvaire du Marava par la méthode du mésocosme à bas coût.
- Transférer les acquis de cette méthode à d'autres espèces, comme le Nanue (*Kiphosus vaigiensis*) ou le Paraha Peue (*Platax orbicularis*).
- Développer une filière artisanale de pisciculture pour alimenter le marché local et favoriser le maintien des populations dans les îles.
- Rendre l'activité piscicole plus résiliente en proposant une nouvelle espèce autre que le Paraha Peue, actuellement affecté par une maladie (ténacibacullose) entraînant parfois de fortes mortalités en alevinage.
- Transférer l'itinéraire technique développé aux communautés et porteurs de projet en fournissant un accompagnement technique et une formation adaptée.

Techniquement, l'objectif premier est d'être capable de produire sur un cycle au moins 10 000 alevins et de pouvoir le reproduire de façon fiable. Ces alevins pourront être produits grâce à un protocole de mésocosme semi-intensif à destination de fermiers insulaires, ou par un protocole d'écloserie semi-intensif à bas-coût, compatible avec les capacités de production des *Écloseries du Pays Vaia*.

2 Méthodes

2.1 Limites technico-économiques : un changement de stratégie

Face aux difficultés rencontrées avec le Marava, le programme INTEGRE proposait de recourir à l'ensemencement des mésocosmes avec des copépodes de l'espèce *Bestiolina similis*, élevés en culture pure avec des microalgues fraîches produites en salle d'algues. Couramment employées en écloserie de bivalve, plus rarement de poisson, les salles d'algues sont de véritables laboratoires qui requièrent un autoclave, de la verrerie spécifique, des préparations nutritionnelles, parfois le recours à du dioxyde de carbone pour augmenter la productivité des cultures. Ces salles climatisées sont exploitées par des techniciens spécialisés qui travaillent en asepsie. Quant aux copépodes, ils sont élevés dans des bacs

aérés et pourvu en eau biosécurisée. Là encore, la maintenance des élevages est effectuée par un personnel formé qui doit entretenir les souches en continu.

Le recours à une salle d'algues permettant d'alimenter des copépodes en culture pure n'est pas envisageable économiquement pour le développement d'une filière artisanale. Aussi, la stratégie envisagée lors d'INTEGRE a été reconsidérée. Des limites technologiques ont été imposées, de façon à proposer aux opérateurs privés un itinéraire technique cohérent avec la volonté initiale de décentralisation. Néanmoins, ces limites techniques ne sont pas semblables selon que le protocole est conçu pour des fermiers artisanaux excentrés, ou au profit des *Écloseries du Pays Vaia* (EPV). Les premiers sont contraints d'employer un mésocosme semi-intensif strict, alors que les seconds peuvent se permettre d'ajouter des rotifères et des *Artemia*, qu'ils produisent déjà pour les besoins de l'écloserie intensive de Paraha Peue. Un itinéraire technique conçu pour les EPV pourrait se permettre de digresser vers un protocole d'écloserie semi-intensif.

2.2 Problématiques techniques

La mise au point d'un protocole d'élevage larvaire du Marava par le mésocosme semi-intensif nécessite de lever nombre de difficultés techniques.

2.2.1 L'entrée dans l'exotrophie du Marava

La larve du Marava présente une trop petite bouche pour entrer dans l'exotrophie avec des proies de taille supérieure à cent microns, tels que les rotifères, aisément cultivables, utilisés communément en écloserie conventionnelle comme première proie larvaire. Cette difficulté contraint à proposer aux larves des proies plus petites, comme les nauplii de certains copépodes.

Au cours de PROTEGE, le problème de l'exotrophie du Marava a été abordé spécifiquement par des élevages courts dans des petits volumes biosécurisés (50l-300l). Différentes proies-vivantes de petite taille (<100µm), compatibles avec les contraintes technico-économiques du projet, ont été testées :

- Larves trochophores d'huîtres de roche
- Ciliés de cultures
- Nauplii issus de copépodes sauvages collectés

2.2.2 La fourniture de proies-vivantes

Au-delà de l'entrée dans l'exotrophie, la disponibilité continue de proies-vivantes de toutes tailles au cours de l'élevage larvaire est une problématique en tant que telle. Le milieu d'élevage, ou mésocosme, n'est pas directement prêt à recevoir les larves, mais doit être préparé au préalable pour comprendre une capacité de production endogène en proies-vivantes suffisante pour nourrir les larves quantitativement et qualitativement. La gestion de cette capacité nutritionnelle du mésocosme passe par des étapes clés : l'ensemencement, la maturation, la gestion du surpâturage.

A Tahiti, où le lagon est en général oligotrophe et pauvre en plancton, un pompage d'eau de mer sans filtration n'est pas suffisant pour ensemercer un mésocosme et permettre l'établissement de

communautés zooplanctoniques d'intérêt. Il faut apporter un inoculum de zooplanctons suffisant pour que le mésocosme s'établisse au cours d'une phase de maturation raisonnablement longue (moins d'un mois).

Enfin, même avec un mésocosme correctement préparé, présentant une production endogène qualitative et quantitative, la stabilité du système n'est pas garantie, l'efflorescence phytoplanctonique peut chuter suite à un épisode climatique exceptionnel et entraîner avec lui la dégradation de tout l'écosystème. Une espèce néfaste peut consommer les proies d'intérêt, c'est le cas par exemple de certains hydrozoaires pariétaux qui consomment les copépodes. Ces aléas peuvent empirer ou créer une situation de surpâturage, quand le besoin des larves dépasse la productivité endogène du mésocosme.

Pour régler ces problématiques d'ensemencement et de surpâturage, il a été décidé de travailler sur des solutions de concentration et de prélèvement des planctons d'intérêt directement dans la concession lagonaire de la DRM à Vairao. Ces méthodes de collecte présentent l'avantage de pouvoir être déclenchées au besoin, ponctuellement, contrairement aux cultures de proies qui nécessitent des soins continus. Les travaux menés sur la collecte de planctons sauvages ont pour objectifs de :

- Faciliter l'ensemencement des mésocosmes et diminuer le temps nécessaire au démarrage des élevages larvaires.
- Pallier les éventuels surpâturages en cours d'élevage larvaire (amendement quantitatif).

2.2.3 La préparation des mésocosmes

Contrairement à un élevage larvaire conventionnel, le mésocosme ne démarre pas avec l'incubation des œufs, mais quelques jours ou semaines avant, par la préparation du milieu. L'objectif est de créer un environnement stable et productif, en minimisant les espèces néfastes ou pathogènes ainsi que le risque toxique (ammoniacale principalement).

Il existe de nombreuses façons de préparer un mésocosme. La phase de lancement est critique et détermine la réussite du cycle larvaire. La démarche employée pour définir un protocole de maturation optimal a été essentiellement empirique, inspirée par la littérature scientifique, les pratiques connues en aquaculture pour le déclenchement de « blooms » ou encore l'expertise de pairs (notamment via la consultance de Romuald Macé, expert contractualisé par la DRM pour appuyer différents programmes de diversification). A cette démarche empirique inspirée de l'expérience collective ont été associés des essais dédiés à cette phase de conditionnement, hors des essais larvaires proprement dits. Ainsi, des essais de déclenchement et de maintien d'efflorescence phytoplanctoniques naturelles ont été menés dans différents volumes de culture. Des essais de conditionnement des copépodes collectés ont également été conduits pour comprendre les conditions idéales de leur maintien et de leur productivité en nauplii.

2.2.4 Le choix des bassins d'élevage

Le mésocosme peut être mené dans différentes enceintes d'élevage larvaire. Ces volumes peuvent être des étangs, naturels ou non, de plusieurs centaines de mètres cubes, des bassins de quelques dizaines

de mètres cubes, en béton, plastique ou composite. Une méthode originale consiste à effectuer ces élevages larvaires directement en mer, dans des membranes en PVC (tarpaulin).

Afin de déterminer les volumes les plus avantageux, ont été testés en élevage :

- Des bacs en fibre de verre (4-7m³)
- Un bassin rectangulaire en béton (14m³)
- Des tarpaulins en mer (12m³)
- Un étang, ou bassin-terre (400m³)

2.3 Essais à différentes échelles

Dans le but de construire cet itinéraire technique en mésocosme, des essais larvaires préliminaires ont été conduits dans des petits volumes contrôlés et répliqués, centrés sur le passage dans l'exotrophie du Marava, puis dans des volumes moyens menés en mésocosme, tout en conservant les petits volumes comme témoins. Des essais larvaires en volumes « opérationnels », c'est-à-dire potentiellement suffisants pour produire le nombre d'alevins nécessaires à une production artisanale, ont été menés, souvent en les doublant d'un témoin en petit volume.

Suite à la récurrence de mauvais résultats lors des essais larvaires avec le Marava, il a été choisi, dès 2021, d'intercaler des essais larvaires Paraha Peue entre les essais avec le Marava, dans le but de ne pas bloquer l'ensemble du développement technique à l'étape couperet insurmontable dont le programme faisait les frais avec l'entrée dans l'exotrophie du Marava.

En 2023, l'incapacité persistante à surmonter cette étape critique a conduit à l'abandon des essais sur cette espèce, au seul profit du Paraha Peue, pour lequel le développement d'un mésocosme semi-extensif présente le même intérêt socio-économique de décentralisation et de création d'une filière piscicole artisanale insulaire.

3 Bilan

3.1 Bilan des élevages larvaires

3.1.1 Bilan des larvaires Marava

Les essais larvaires réalisés avec le Marava, que ce soit en petits volumes contrôlés, ou dans des mésocosmes, n'ont jamais permis de dépasser le quatrième jour après éclosion (J4). En général, 20 à 30 % des larves s'alimentent à J2, avec à peu près tout ce qui leur est présenté d'une taille inférieure à 100µm. Ainsi, il a été possible d'observer des larves ayant consommé des débris de pâte d'algue floculée, de l'aliment microencapsulé pour crevette, des nauplii de copépodes, des trochophores d'huîtres de roche, et peut-être même des ciliés. A J3, la proportion de larves qui s'alimente a toujours tendance à décroître par rapport à la veille. A J4-J5, la mortalité est totale et concorde avec la résorption du globule lipidique. Aucune des dernières survivantes à J4 ne présente d'aliment dans son tube

digestif. La transition naturelle entre le premier aliment de l'entrée dans l'exotrophie, observable à J2, et la consommation de rotifères à J3-J4, n'a jamais été observée.

Si l'incapacité des larves précoces à digérer du flocculat de pâte d'algues ou de l'aliment de sevrage pour crevette, par absence de l'équipement enzymatique adéquat, pourrait expliquer la mortalité totale par inanition à J4-J5, la même mortalité semble plus difficile à expliquer lorsqu'elle est observée sur des larves de Marava ayant effectivement consommé des nauplii de copépodes à J2.

Au fil des expérimentations, plusieurs hypothèses explicatives ont été explorées :

- Un problème de contraste

Les premiers essais ont été conduits en eau verte dans des bacs de couleur noire. Le noir ne favoriserait pas le contraste comme les couleurs claires qui faciliteraient la prédation des proies-vivantes. En janvier 2021, des bacs de 4m³ ont été peints en bleu clair, couleur qui, avec le jaune pâle, est couramment employée dans les écloséries tropicales qui travaillent avec les espèces les plus difficiles. Ce changement de couleur n'a hélas pas permis d'observer d'amélioration. Par ailleurs, le bassin extérieur de 7m³, préparé en mésocosme, et qui comprend une grande variété de zones d'ombrages et de luminosité différentes, dont la paroi était colonisée par un duvet d'algues vertes ou rouges, n'a pas plus permis de franchir J4 après éclosion. C'est pourtant un bassin dans lequel des larves à J2-J3 avaient consommé des nauplii de copépodes.

Cette question du contraste, éliminée par l'expérimentation, était d'autant plus douteuse que les deux cycles de 2019 ayant dépassé les mille larves produites avaient été réalisés dans des bassins en scobalite noire.

- Des concentrations en proies-vivantes inappropriées

Lors du deuxième essai larvaire, une densité de 0,6 nauplii d'*Oithona*/ml a été atteinte. Par la suite des essais allant jusqu'à 3 nauplii/ml n'ont pas donné davantage de résultats. Le problème de la concentration en proies d'intérêt, initialement envisagé, a donc été écarté.

- Une toxicité à l'ammoniaque ou aux nitrites.

Dans des élevages larvaires en eau verte, particulièrement si la luminosité n'est pas maîtrisée et que le renouvellement d'eau est faible, le risque d'une toxicité aigüe par l'ammoniaque est possible. En 2021, la mesure de la concentration en azote ammoniacal a été généralisée à tous les essais et associée au suivi du pH deux fois par jour. Un petit calculateur permettant de connaître rapidement la teneur en forme ammoniacale toxique a été construit. Hormis en 2023 lors d'un essai larvaire Paraha Peue en bassin-terre, la toxicité par l'ammoniaque ne semble pas avoir contribué à des mortalités précoces.

- Une mauvaise maîtrise des flores pathogènes

Une autre hypothèse serait une charge bactérienne pathogène trop élevée dans les mésocosme, qui expliquerait la mortalité régulière enregistrée systématiquement dès J2-J3, mortalité qui devient totale entre J4 et J5. Cette possibilité paraît peu plausible car tous les élevages ont été menés avec un bac témoin de 300l ou 50l en eau claire biosécurisée à fort renouvellement, sans apport exogène de proies-vivantes. La mortalité dans ces témoins a toujours suivi celle des tests en mésocosme. Il reste néanmoins la possibilité d'une contamination verticale, depuis les œufs qui, prélevés dans le panier collecteur au petit matin, ont passé une nuit entière dans un mélange de fèces et de mucus provenant de leurs géniteurs. A partir du deuxième cycle 2021, les œufs des deuxièmes pontes (les géniteurs Marava pondent en général pendant trois à quatre jours) ont été prélevés le soir même, afin de réduire le temps d'exposition dans ce milieu pollué. Aucune amélioration sensible n'a été enregistrée. Un protocole de désinfection des œufs à l'iode, envisagé en 2021, n'a finalement jamais été testé.

- Une mauvaise alimentation des géniteurs

De 2019 à 2021, le lot de géniteurs Marava employé pendant INTEGRE a été maintenu en intérieur dans la zone de maturation biosécurisée de la DRM, qui comprend des lots de géniteurs Paraha Peue et Nanue. Alors que ces géniteurs Marava pondaient mensuellement toute l'année en extérieur pendant INTEGRE, le lot a cessé de pondre en saison fraîche dès qu'on l'a introduit dans la zone biosécurisée, éclairée artificiellement. La synchronicité lunaire a été perdue, ce qui rendait particulièrement compliquée la préparation des mésocosmes, qui requiert quelques semaines d'anticipation pour aborder l'élevage avec un milieu optimal. Par ailleurs, en zone biosécurisée, les géniteurs ne bénéficient plus de la possibilité d'être complétés nutritionnellement par des aliments frais, tels que les algues. Or, le Marava étant herbivore, une alimentation ayant pour seule base un aliment de maturation hyper-protéiné, dépourvu de fibres, paraît insuffisant pour que l'animal soit en parfaite santé et procure à ses œufs les éléments essentiels au développement larvaire. Après les premiers élevages ratés de 2021, l'hypothèse d'une nutrition inadéquate des géniteurs, qui entraînerait des répercussions sur les réserves endogènes des larves, a été envisagée.

A cette hypothèse, on pourrait opposer le fait que les géniteurs Marava étaient nourris durant INTEGRE avec le même aliment de maturation utilisé plus tard en intérieur au début de PROTEGE (Breed-M INVE, 60 % de protéines). Mais cet argument ne tient pas compte de l'apport nutritif sans doute sous-évalué que constitue le film algal pariétal que « broutent » activement les Marava dans les bassins extérieurs. En eau brute, ce film algal est souvent riche en microfaunes benthiques qui participent à compléter l'alimentation. Enfin, l'herbivorie, activité à laquelle s'adonnent les Marava en continu, contribue sans doute à maintenir les animaux dans un bien-être comportemental propice à la reproduction.

Par conséquent, en 2021, les géniteurs Marava d'INTEGRE, recomposés en un lot unique avec des juvéniles prélevés en 2019 et arrivés à maturité, ont été sortis de la zone de maturation biosécurisée et placés en extérieur dans des bacs de 4m³ puis 7m³, directement exposés aux variations lunaires et nourris avec du Breed-M, des macroalgues (ulves puis gracilaires produites dans le cadre de PROTEGE), des cubes de copépodes congelés issus de la station de collecte de zooplancton.

Il aurait été pertinent d'effectuer des analyses nutritionnelles comparatives ainsi que des mesures sur ces œufs, afin de juger de l'effet du changement de régime des géniteurs.

En 2022, malgré ces modifications, les essais larvaires Marava n'ont pas été marqués par une amélioration de la survie.

- Un problème de manipulation ou d'hydrodynamisme

L'hypothèse d'une mauvaise manipulation des larves lors du transfert ou par le fait d'un hydrodynamisme trop violent a été considérée. Le transfert des larves depuis l'incubateur vers le bac d'élevage n'est pas en cause car l'incubation directe (en paniers flottants/suspendus, en incubateurs immergés) a presque toujours été privilégiée. L'hypothèse d'une dégradation des larves par un bullage ou un hydrodynamisme excessif a été écartée lors d'essais statiques, sans bullage et même, sans flux d'eau de mer. Cependant, même s'il n'induit pas directement de stress, l'hydrodynamisme pourrait avoir un effet, en compliquant la prédation. Là aussi, c'est une explication peu satisfaisante, car les mésocosmes de 7 et 12 m³ offraient une large gamme de zones d'hydrodynamismes distincts. Certaines de ces zones étaient sans doute propices au développement de quelques larves. L'hydrodynamisme ne saurait donc expliquer la mortalité totale des larves à J4.

- Le type de proie vivantes

Les hypothèses évoquées précédemment, si elles ont pu contribuer ponctuellement à une part de la mortalité observée, ne suffisent pas à expliquer une mortalité totale systématique. Le fait que les témoins en eau claire biosécurisée sans apport alimentaire présentent la même mortalité régulière sur les trois premiers jours pour s'achever par une mortalité totale à J4, concomitante avec la résorption du globule lipidique, semble indiquer que le problème est d'ordre trophique. Différentes proies-vivantes de tailles compatibles avec la petite bouche des Marava ont été essayées. Il reste qu'au-delà de la taille, l'adéquation d'une proie dépend aussi de sa digestibilité, de son attractivité (couleur, mouvement), et de sa disponibilité. Pour les essais en petits volumes visant à tester ces proies, cette dernière difficulté est levée en maintenant en permanence plusieurs proies d'intérêt par millilitre.

Les différentes proies testées spécifiquement pour surmonter l'obstacle que constitue l'entrée dans l'exotrophie du Marava sont :

- Des rotifères de petite taille

Faciles à élever, y compris avec des méthodes à bas coût nécessitant peu d'intrants et une technologie minimale, les cultures de rotifères ont été relancées en septembre 2020 pour réaliser des tests sur le Marava et pallier d'éventuels surpâturages en mésocosme.

La première solution considérée pour aborder l'exotrophie du Marava en octobre 2020 a été d'extraire les rotifères les plus petits des cultures de *Brachionus plicatilis* de la DRM. Pour cela, les rotifères ont été filtrés à travers des mailles polyamides de 100µm puis 35µm. L'idée étant de ne conserver que la fraction de la population présentant un intérêt pour la larve de Marava. Cette méthode n'a pas

fonctionné pour ces rotifères, la population étant trop homogène avec une taille minimale proche de 120µm, alors que le Marava aurait besoin d'une proie comprise entre 60 et 80µm. Si cette technique de filtration n'a pas servi avec les rotifères, elle servira plus tard en 2021-2022 pour extraire et cultiver les ciliés présents dans les élevages sains de rotifères.

L'idée a alors été émise de sélectionner les rotifères les plus petits pour constituer progressivement une souche de petite taille. Malheureusement, il semblerait que les *Brachionus* ne répondent pas à une sélection clonale basée sur leur taille¹.

Une autre solution, envisagée dès 2020, aurait été d'importer une souche de *Brachionus rotundiformis*, une espèce de très petite taille (80-200µm), aussi appelée rotifères « SS ». En 2020, cette solution a rapidement été rejetée pour deux raisons :

- L'objectif était de fournir en priorité un itinéraire technique sans cultures de proies vivantes exogènes à maintenir en continu. Les rotifères n'étaient alors cultivés qu'à des fins expérimentales ou pour combler un éventuel surpâturage tardif dans les mésocosmes.
- Les démarches administratives et sanitaires à mettre en œuvre pour importer cette souche paraissaient peu compatibles avec la durée initiale du programme.

A posteriori, vu les échecs subis avec les autres proies testées par la suite, il aurait été pertinent d'engager la démarche d'importation dès 2020-2021, les rotifères SS présentant de toutes façons un intérêt certain pour tout centre aquacole déterminé à travailler sur de nouvelles espèces.

- Des microplanctons issus du vieillissement de blooms phytoplanctoniques

En 2021, des essais de maturation de blooms phytoplanctoniques ont été entrepris dans divers bacs de 400 à 16 000l. L'objectif premier était de connaître la nature des cohortes zooplanctoniques qui s'établissent progressivement sans ensemencement significatif dans un mésocosme, à mesure que le bloom phytoplanctonique initial évolue et mûrit. Pour certains de ces essais, différentes espèces de microalgues (*Chaetoceros*, T-Iso, *Nannochloropsis*, *Tetraselmis*) issues de la salle d'algues de la DRM ont été ensemencées dans de l'eau de mer brute. Dans d'autres essais, ces microalgues ont été enrichies initialement par un concentré de zooplancton de la fraction 100-200µm, issue de bassin-terres en élevage (crevettes/Paraha Peue). Enfin, des blooms naturels (sans inoculum de microalgues) ont également été vieillissés pour obtenir du microplancton.

Ces différentes cultures permettent de produire quantité de microplanctons potentiellement intéressants, dont des ciliés, qui abondent dans les efflorescences phytoplanctoniques vieillissantes. Malheureusement, en raison de la quantité de débris de tailles diverses et de floculats, il est très difficile d'extraire les microplanctons proprement pour fournir directement les élevages larvaires. Cette même méthode d'extraction de microplanctons, tentée sur des bassin-terres présentant une efflorescence planctonique mature mais beaucoup moins chargés en débris et floculats, n'a pas donné de résultats

¹ Malekzadeh-Viayeh, Reza & Song, Choon. (2015). No Response to Bidirectional Size-Based Selection in the Rotifer *Brachionus rotundiformis*. *Fisheries and Aquatic Science*. 18. 287-296. 10.5657/FAS.2015.0287.

suffisamment quantitatifs pour être intéressante comme apport exogène. Ces différentes méthodes de culture de microplanctons par vieillissement de bloom pourraient servir pour aider au démarrage d'un mésocosme (inoculum).

Enfin, bien qu'elles soient très riches en microplanctons, ces cultures sont trop instables et dégradées pour accueillir un élevage larvaire direct.

- Des ciliés de culture

En parallèle de ces essais en extérieur, et suite aux tentatives d'extraction de petits rotifères, la méthode a été employée pour séparer des ciliés qui abondent dans les élevages de rotifères sur levures vieillissantes. Ces ciliés ont été ensemencés dans divers milieux de culture (microalgues en extérieur, levure + riz complet, levure seule, eau de bassin-terre bloomée, eau de mer brute préalablement bloomée naturellement ou par fertilisation, sans bullage, avec bullage, etc.) dans des volumes allant de 50l à 2000l. Le résultat de ces essais est un protocole de culture discontinue (« batch culture »), très simple, sur riz, levure et probiotiques (facultatifs), à partir d'un inoculum prélevé dans une culture de rotifères âgée de 3-4 jours. La séparation des rotifères et des ciliés s'effectue lors du rinçage : un casque en 20 μ m permet de récupérer la fraction comprise entre 20 et 48 μ m, un deuxième casque en 100 μ m la fraction entre 100 et 48 μ m. La récolte des ciliés depuis leur bac de culture quelques jours après l'ensemencement est réalisée par siphonnage, tamisage à 100 μ m pour éliminer le floc et les débris, puis concentration dans une série de casque. Ce protocole permet de collecter plusieurs centaines de millions de ciliés divers compris dans la gamme de tailles d'intérêt pour le Marava, et surtout, de les rincer convenablement pour éviter de polluer les élevages larvaires.

Délivrés lors des élevages larvaires tests en milieux contrôlés (300l), puis dans des mésocosme (4m³) comme inoculum ou comme apport exogène quantitatif à J2, les ciliés n'ont pas permis de meilleures survies. A J2 après éclosion, les élevages en eau claire avec apport de ciliés seuls ont permis d'observer des larves ayant consommé un amalgame grisâtre, qui pourrait être constitué de ciliés ou de résidus de floc, sans qu'il y ait de survie au-delà de J4.

Diverses critiques et réserves peuvent être émises quant à ces travaux exploratoires sur les cultures de ciliés :

- Ces cultures permettent de reproduire des ciliés issus du tout-venant que l'on trouve à moment dans les cultures de rotifère, sans aucun contrôle des espèces représentées. Les espèces d'intérêt en aquaculture sont en général les *Euplotes*, élevés en cultures pures et proposés pour améliorer le taux de survie, en association avec des nauplii de copépodes, plutôt que pour suffire comme proie unique lors de l'entrée dans l'exotrophie. En 2022, associés à des nauplii, puis à des nauplii et des larves trochophores de *Saccostrea cuculatta*, les ciliés issus de cultures de rotifères n'ont pas amélioré les résultats en larvaire Marava.
- Il est possible que l'intérêt nutritif de ces ciliés, cultivés sur de la levure, soit particulièrement faible, aussi il aurait été intéressant de tester ces apports de ciliés lors d'un larvaire Paraha Peu dans quatre conditions : élevage avec apport de ciliés seuls, avec apport de ciliés en association

avec des rotifères, avec apport de rotifères seuls, et sans aucun apport exogène. Un tel essai aurait permis de juger si ces ciliés sont digestibles par les larves, s'ils présentent un intérêt nutritionnel avéré ou seulement de potentiels effets bénéfiques indirects, comme un effet de baisse de la charge bactérienne totale ou un effet d'aide au démarrage de la chasse, sans forcément une réelle contribution trophique (effet « kick start »).

- Des larves trochophores d'huîtres de roche

De mai à juin 2022, une méthode fiable pour produire à la demande des larves trochophores d'huîtres de roche *Saccostrea cucullata* a été mise au point. Ces huîtres, prélevées sur le programme de développement de l'ostréiculture de la DRM, sont prêtes à pondre toute l'année. Les larves trochophores obtenues à partir des gamètes d'huîtres scarifiées peuvent être réfrigérées plusieurs jours pour bloquer leur développement et assurer une distribution à J2-3 dans les élevages larvaires exempte de larves D, stade à partir duquel la larve se calcifie et n'est plus digestible par le poisson. L'obtention des gamètes par scarification a permis d'établir un protocole fiable, capable de fournir des larves trochophores à l'heure voulue. Ainsi, lors des essais larvaires réalisés, un premier apport à J2 était assuré avec des larves trochophores fraîches, les apports suivants par des larves trochophores réfrigérées.

La taille des larves trochophores de *Saccostrea cucullata*, 50µm, semble parfaitement adaptée à l'élevage larvaire des espèces les plus difficiles. Leur mouvement sans à-coup ressemble à celui des rotifères.

Testées avec le Marava, les larves trochophores sont bien consommées à J2 par 25 % des poissons. A J3 cette proportion baisse, et la mortalité est totale à J4.

Les essais de larves trochophores associées à des nauplii de copépodes, des nauplii et des rotifères, des nauplii et des ciliés, n'ont pas donné davantage de résultats.

Un essai larvaire Paraha Peue comprenant quatre conditions a été mené dans des bacs de 300l biosécurisés: apport de trochophores, aucun apport, apport de trochophores et rotifères, apport de rotifères seuls. Les résultats de cet élevage sont entachés par une mortalité massive survenue à J7 qui n'a pas permis de juger si les larves trochophores, qui sont bien consommées par les Paraha Peue dès J3, sont effectivement assimilées et permettent un développement larvaire à elles seules, même incomplet, par rapport à un régime à base de rotifères.

- Des nauplii de copépodes

Au cours du programme, les nauplii de copépodes, proie de référence pour l'entrée dans l'exotrophie des poissons les plus difficiles, ont été au centre des travaux menés.

Lors des essais biosécurisés en petits volumes avec le Marava, les nauplii ont été apportés de façon exogène. Ces nauplii ont été obtenus de deux façons :

- Par collecte dans des bassins dit de « stockage », dans lesquels des copépodes sauvages de petite taille, collectés dans le lagon, sont maintenus temporairement dans des conditions nutritionnelles adéquates, pour la durée de l'élevage larvaire.
- Par séparation/isolation des œufs de copépodes sauvages collectés, puis incubation de ces œufs dans des incubateurs biosécurisés.

Dans le cas des essais en mésocosme, la présence de nauplii dépend de l'ensemencement préalable en copépodes sauvages dans un milieu préparé avec un bloom phytoplanctonique. Pour éviter des irrégularités de disponibilité de nauplii N1 en mésocosme, les copépodes sauvages sont ensemencés quotidiennement sur une période allant d'une semaine à dix jours. Un apport unique de copépodes permet d'obtenir un « pic » de production de nauplii dans les 24-48 heures qui suivent l'ensemencement, puis un deuxième pic est obtenu à J7. En procédant à des apports moindres mais réguliers on s'assure d'un lissage de la disponibilité des nauplii N1 dans le milieu.

Les copépodes sauvages issus de pompages de planctons dans le lagon utilisés pour obtenir des nauplii étaient :

- À 90-95 % des cyclopoïdes du genre *Oithona*,
- 1-5 % de copépodes calanoïdes,
- 1-5 % de copépodes harpacticoïdes.

Lors des différents essais conduits avec des nauplii de copépodes *Oithona*, des larves ayant consommé des nauplii ont pu être observées à J2 (jusqu'à 30 % des larves). A J3 moins de 10 % des larves en avaient consommé. La mortalité était totale à J4.

Les nauplii N1 des *Oithona* majoritairement employés mesurent 80-90µm, et ne semblent donc pas les plus appropriés. Ceux de copépodes Paracalanidae, comme *Bestiolina similis*, sont plus proches de 70µm. Cependant, lors d'INTEGRE, la DRM est parvenue à produire des larves de Marava dans un bassin qui contenait principalement des *Oithona*.

L'incapacité des larves à dépasser J4, alors qu'il y a eu dans certains essais des prises alimentaires manifestes à J2 et J3 de proies réputées valables nutritivement pour les larves précoces, reste aujourd'hui sans explication.

3.1.2 Bilan des essais larvaires Paraha Peue

3.1.2.1 Essai Paraha avril-mai 2021

Le premier essai larvaire réalisé avec le Paraha Peue avait pour objectif de tester des structures réaménagées et de juger de la pertinence des méthodes d'élevage développées jusqu'alors sur une espèce connue, ne présentant pas de difficulté pour l'entrée dans l'exotrophie.

Un bac de 7m³ extérieur a été préparé « en mésocosme » : ensemencement en algues, gestion du bloom phytoplanctonique en jouant sur l'ombrage, le renouvellement en eau, l'apport d'azote. Puis

ensemencements quotidiens en *Oithona* adultes issus de pompages. Dans ce bac, les œufs ont été incubés directement en panier flottant (densité ciblée : 3 larves/l). Les larves se sont alimentées exclusivement en nauplii de copépodes puis en copépodites et copépodes adultes jusqu'au sevrage sur aliment sec.

La survie totale dans ce bac n'a pas excédé 1 %. La mortalité s'est manifestée principalement à l'incubation. La densité d'incubation était correcte, mais réalisée dans un panier qui ne permettait pas de jouer sur l'hydrodynamisme pour maintenir les larves en suspension. Au moment de l'éclosion, les larves, qui deviennent coulante chez le Paraha Peue, se sont donc accumulées au fond du panier, entraînant une mortalité massive. Cette mortalité s'est perpétuée sur les deux jours qui ont suivi, peut-être en partie à cause de variations thermiques nycthémerales trop importantes (2-3°C).

Cet essai en 7m³ est loin d'avoir donné des résultats encourageants mais a permis de corriger la méthode d'incubation, le panier flottant ne semblant pas approprié pour le Paraha Peue. Par ailleurs, si le bloom est resté stable pendant toute la durée de l'élevage larvaire, cet essai a mis en évidence la nécessité de travailler avec des volumes plus importants, plus profonds et présentant moins de surface d'échange, afin de limiter les variations thermiques, qui sont un facteur d'instabilité pour le bloom et un stress pour la larve.

En parallèle de cet essai en 7m³, deux bassins de 4m³ en intérieur ont été menés en « éclosérie semi-intensive » à 10 larves par litre. Les élevages ont été conduits en eau brute verdie par ajout de pâte d'algues, maintien de 3 rotifères/ml dès J3, amendement en copépodes adultes dès J7. Un renouvellement d'eau de 100 % minimum est appliqué en nocturne dès le début du cycle afin d'éliminer la pâte d'algues. Deux bassins de 4m³ attenants ont servi de stabulation de copépodes, afin de tamponner les éventuelles variations de rendement du pompage et apporter un surplus de nauplii en début d'élevage.

Ces élevages semi-intensifs ont donné 5 et 3 % de survie. La différence entre les deux bacs s'explique en grande partie par un faible taux d'éclosion dans l'incubateur immergé employé dans un des bassins. L'incubation directe a beaucoup mieux fonctionné dans ces bacs cylindriques qui présentent un hydrodynamisme « en couronne », idéal pour le maintien des larves et des œufs en suspension.

Le principal problème survenu lors de cet essai est un léger surpâturage aux alentours de la métamorphose, dû à des irrégularités de pompage, associé à l'impossibilité de conserver plus d'une ou deux semaines les copépodes dans les stockages temporaires. La pompe utilisée à l'époque, un airlift pélagique, était très sujette aux épisodes de houle.

Malgré un taux de survie relativement faible (comparé au référentiel basé sur un minimum de 20 % et une moyenne de 25-30%), cet élevage larvaire est encourageant à bien des égards puisqu'il a été possible de produire 1600 alevins sevrés en parfaite santé (pas de déformation, taux de vessies natatoires fonctionnelles de 100%) dans 8m³, en eau non traitée aux UV, sans apport d'*Artemia* et malgré une mauvaise gestion de l'incubation dans un des bacs.

La pâte d'algues, qui remplace efficacement les algues fraîches dans ces élevages en intérieur, est utilisée en petites quantités. Il suffit de 80ml de pâte de *Nannochloropsis* congelée, soit environ 1000 f cfp, pour maintenir 300 000 cellules de *Nannochloropsis* par millilitre pendant 24 heures dans un volume de 8m³ renouvelé à 100 %/j.

Les rotifères ne requièrent pas non plus de grandes quantités de pâte d'algues car ils sont élevés sur levure durant toute la phase de « montée en puissance » des populations. La pâte d'algues ne sert que les trois jours qui précèdent la fourniture, afin de rétablir le profil lipidique polyinsaturé requis par les larves de poisson. La concentration en rotifères a été maintenue à 3/ml, ce qui s'est traduit par des réajustements quotidiens faibles : une dizaine de millions de rotifères par jour pour 8m³.

Les principaux points d'amélioration retenus lors de cet essai semi-intensif sont :

- De fiabiliser l'apport en proies-vivantes par un pompage plus régulier, moins tributaire du courant.
- De déterminer une méthode d'incubation pour les mésocosmes qui maximise le taux d'éclosion tout en minimisant les manipulations.
- De privilégier des bassins d'élevage extérieurs bien éclairés par le soleil, permettant de maintenir des niveaux de microalgues suffisants pour que la qualité nutritionnelle des proies reste élevée en se passant de salle d'algues ou de pâtes d'algues.

Ces quelques améliorations devaient permettre d'extrapoler ce protocole « low-cost » à des volumes supérieurs. Sans améliorer le taux de survie, les résultats de cet essai larvaire permettaient en effet d'envisager la possibilité de produire 12500 alevins dans un volume de 50m³.

Ainsi, au deuxième semestre 2021, deux tarpaulins de 14m³ ainsi qu'un bassin en béton de 16m³ ont été équipés pour de l'élevage larvaire en mésocosme. Ces bassins devaient permettre d'atteindre un volume total de 44m³, compatible avec la production d'une dizaine de milliers d'alevins par cycle, sans amélioration de la survie.

3.1.2.2 Essais Paraha Peue 2022

Pour le premier essai larvaire de mars 2022, le Paraha Peue a été choisi, comme en 2021, pour tester des structures nouvelles : des tarpaulins immergés de 14m³. L'élevage initialement prévu en bassin-béton de 16m³ a été annulé, le bassin servant alors pour les essais d'éclosion et de fertilisation du programme « macroalgues ».

Cet élevage larvaire test en tarpaulins, mené sur bloom naturel, avec apport de copépodes *Oithona* puis apport de cohortes de plus grandes tailles (*Acartia* puis *Labidocera*), a permis de produire 1400 alevins dans un tarpaulin (1 % de survie). Le second tarpaulin, rapidement contaminé par des méduses, n'a donné aucun résultat.

Les deux problèmes rencontrés lors de cet essai ont été :

- L'incubation directe dans une enceinte brassée inégalement, marquée par de fortes pluies qui ont sans doute participé à une mauvaise éclosion par dessalure brutale de l'eau superficielle. Un essai mené par la DRM en 2023 en petit volumes (250l) et sur microplaques a montré qu'une dessalure de seulement 2g/l pendant l'incubation des œufs du Paraha Peue induisait une mortalité de 50 %. Par la suite, l'incubation indirecte a été abandonnée et les incubateurs immergés ont été systématiquement couverts.
- Le sevrage, particulièrement long, marqué par la mortalité quotidienne d'alevins incapables de passer à de l'aliment sec, dans un contexte de raréfaction volontaire des proies-vivantes pour forcer la transition alimentaire.

Par la suite, différentes méthodes d'incubation ont été expérimentées dans les tarpaulins en juin-juillet 2022 : incubateurs rigides flottants, paniers flottants construit avec des big-bags, incubation indirecte (dans un incubateur cylindro-conique, avec transfert des larves à J2). Ces essais n'ont pu se poursuivre en élevage larvaire complet car les fortes houles de l'hiver austral rendaient les collectes de planctons et le travail sur les structures très difficiles. Les tarpaulins ont ainsi démontré leur capacité à supporter des courants allant jusqu'à plus de 2m/s (4 nœuds), bien qu'il ne soit plus possible de faire fonctionner correctement les systèmes de renouvellement à ces vitesses.

L'essai larvaire de mars a démontré la validité des tarpaulins immergés comme enceinte d'élevage larvaire en mésocosme, mais les essais de juin à juillet ont aussi montré ses limites : ce système n'est valable que dans des baies protégées des fortes houles, où la courantologie est faible avec des vitesses inférieures à 1 nœud.

3.1.2.3 Essais Paraha Peue 2023

Pour la dernière année du programme PROTEGE, il a été décidé d'abandonner les travaux sur le Marava, afin de consacrer tous les efforts à la définition d'un protocole d'élevage larvaire low-cost adapté à l'espèce exploitée aujourd'hui en Polynésie : le Paraha Peue.

Vu les taux de survie en mésocosme lors des deux essais réalisés en petits volumes (7m³-14m³) avec cette espèce, inférieurs à 1 %, il a été choisi de continuer les tests dans des bassins-terre de 400m³, potentiellement capables de produire 10 à 20 000 alevins par cycle avec des survies équivalentes.

Pour ces essais, les bassins ont été préparés avec un bloom phytoplanctonique naturel, c'est à dire sans ensemencement en microalgues, mais avec une légère fertilisation azotée de l'eau brute filtrée à 300µm, grâce à de l'aliment pour crevette épandu quotidiennement à la surface du bassin (1g/m² d'aliment, soit 6mg N/m³).

Après une semaine à dix jours d'établissement du bloom phytoplanctonique, le bassin est amendé quotidiennement en copépodes de pompage de petite taille (*Oithona* essentiellement). Les proies-vivantes, et en particulier les nauplii, sont dénombrées quotidiennement pour déterminer quand le moment est opportun pour démarrer un élevage larvaire. En règle générale, le mésocosme est prêt, c'est-à-dire qu'il comprend un minimum de 0,2 nauplii/ml et 0,1 *Oithona* adulte/ml après une semaine d'amendement. Afin de ne pas surcharger le milieu en copépodes, on ne dépasse pas les 0,5 adultes/ml

jusqu'à J4. L'apport progressif et régulier des copépodes adultes permet d'assurer la stabilité des concentrations en nauplii lors de la première phase de l'élevage larvaire.

Les œufs sont mis à incuber dans des incubateurs couverts et immergés dans le mésocosme. A J2, les incubateurs sont ouverts pour permettre la diffusion des larves dans le bassin. La suite de l'élevage consiste à dénombrer le zooplancton pour décider des quantités apportées quotidiennement via le collectage lagonaire, à gérer l'intensité du bloom phytoplanctonique par le renouvellement de l'eau ou des compléments de fertilisation. Dans ces bassins où la luminosité n'est pas modifiable par des ombrières, on privilégie un bloom léger, qui risque moins de faire augmenter le pH et d'augmenter la concentration en ammoniac. A mesure que les larves croissent, la taille des planctons apportés est augmentée.

Lors des deux élevages réalisés en 2023 en bassin-terre, malgré une préparation adéquate des milieux, il n'a jamais été possible de dépasser la centaine d'alevins produits.

Les deux premières semaines du premier essai se sont particulièrement bien déroulées, avec une survie avoisinant sans doute les plusieurs centaines de milliers de larves jusqu'à la métamorphose qui a été particulièrement lente pour la plupart des larves, et marquée par une mortalité régulière. Cette mortalité est devenue brutale après un épisode de fortes pluies qui semble avoir contribué à la chute du bloom phytoplanctonique. Il est difficile de donner une explication claire et simple à cette mortalité. Vraisemblablement, il s'agirait d'une accumulation de différents stress aux alentours de la métamorphose, une étape physiologiquement difficile pour la larve, communément marquée par de la mortalité en élevage conventionnel. Ces stress, pourraient avoir été de diverses natures :

- Une augmentation de la flore pathogène avec l'augmentation de la biomasse larvaire et planctonique, la dégradation globale de l'écosystème avec le temps.
- Un écart important (2-3°C) des températures entre le jour et la nuit, phénomène sur lequel il n'est pas possible d'intervenir dans ces bassins peu profonds et dépourvus d'ombrières amovibles.
- Une dessalure légère (2g/l) lors de l'épisode de pluie, suivie par une chute du bloom et une légère augmentation de l'ammoniac à 0,03mg/l (sublétales).

Le deuxième élevage larvaire en bassin-terre a été caractérisé par une mortalité continue et importante dès le transfert des larves. Les quantités de planctons disponibles, la stabilité du bloom, ne semblent pas avoir déterminé cette mortalité.

Entre ces deux essais en bassin-terre, une mise-à-sec a été nécessaire pour minéraliser le sol par hersage/dessication. Durant cette pause, un essai a été conduit dans le bassin de 16m³ préparés l'année précédente et utilisé jusqu'alors pour le programme macroalgues. Ce bassin offre davantage de contrôle que le bassin-terre :

- Des ombrières amovibles permettent de réguler l'intensité lumineuse.

- La capacité de renouvellement de l'eau est élevée, ce qui permet éventuellement de mener l'élevage en eau claire en cas de contamination pathogène, de dégradation du bloom, de pic ammoniacal ou pour limiter la dessalure lors des pluies. Le renouvellement en eau permet également de limiter les variations thermiques nycthémérales.
- Le fond bétonné de ce bassin hors-sol permet le siphonnage des sédiments.

L'unique essai réalisé dans ce bassin, en juin 2023, a été marqué par des températures particulièrement basses qui ont retardé le développement larvaire d'une semaine. Il a toutefois été possible de produire 1600 alevins, un résultat proche de ce qui avait pu être fait auparavant avec les tarpaulins. Avec un tel taux de survie, il faudrait un bassin d'une centaine de mètres cubes pour parvenir à produire une dizaine de milliers d'alevins par cycle. Si la réalisation d'un tel élevage larvaire paraît envisageable techniquement, notamment pour ce qui concerne la fourniture en proies-vivantes, la DRM ne dispose pas de pareilles structures, qui sont un compromis entre les très grands volumes peu contrôlables des bassins-terres et le bassin en béton de volume moyen, qui offre un bien meilleur contrôle des paramètres d'élevage.

À l'issue de PROTEGE, il n'a pas été possible de confirmer un protocole de production en mésocosme fiable, suffisamment productif pour suffire au développement d'une filière artisanale de Paraha Peue.

D'importantes avancées ont pourtant été réalisées dans le domaine du mésocosme qui pourraient plus tard amener à la concrétisation de cet objectif de fiabilisation et de productivité. Les prochaines parties traitent de ces développements.

3.2 Bilan : Collectage de planctons

Plutôt que de cultiver des proies-vivantes, il a été choisi de collecter directement dans le milieu des planctons d'intérêt pour ensemercer ou amender quantitativement les mésocosmes.

3.2.1 Évolution des pompes à planctons

Au deuxième semestre 2020, des premières collectes ont été réalisées dans des bassins-terre matures. De l'eau de ces bassins était prélevée à l'aide de seaux, tamisée et concentrée dans des casques en série afin de ne retenir que la fraction d'intérêt pour le Marava (20-100µm) ou la fraction supérieure (100µm-300µm), potentiellement capable de produire des juvéniles compris dans la première fraction. Ces prélèvements n'ont pas permis de collecter suffisamment de planctons pour suffire à démarrer directement des élevages larvaires tests, même en très petits volumes (50l). En revanche, ces eaux de bassins, riches en phytoplanctons, ont servi plus tard lors d'essais de maturation de bloom phytoplantoniques pour l'extraction de microplanctons.

Les premiers pompages de planctons dans le lagon ont été réalisés à l'aide d'une pompe « vide-cave » électrique à rotor. Cette pompe, associée à une lampe de pêche submersible, était directement disposée dans une crépine en 650µm, elle-même amarrée à un corps-mort d'une cinquantaine de kilogramme placé entre les massifs coralliens d'un récif frangeant. Allumé la nuit, ce dispositif était capable de collecter entre cinq et cent millions de copépodes en une dizaine d'heures. Les planctons étaient

directement transférés par un tuyau jusque dans une série de paniers en tissus polyamides d'ouvertures diverses, de façon à séparer les planctons par taille dans différents bacs de 500 à 200l. Par ce système de paniers en cascade il a été permis de s'apercevoir que ce dispositif de pompage ne permettait pas de collecter quantitativement de planctons inférieurs à 100 μ m, et qu'il ne serait pas possible d'obtenir directement la gamme de tailles adéquates pour l'entrée dans l'exotrophie du Marava.

Les copépodes collectés, principalement du genre *Oithona*, portaient des œufs en proportion variable d'une nuit à l'autre, sans que cette proportion puisse être corrélée à un facteur environnemental ou cyclique évident. Le stockage de ces copépodes dans des bacs pendant quelques jours permet d'obtenir des nauplii en grand nombre, y compris sans apport nutritif.

Cette méthode de pompage par pompe vide-cave a été utilisée jusqu'à la fin de l'année 2020 pour alimenter les essais larvaires ou les stabulations de copépodes. Elle présentait quelques inconvénients :

- Malgré une double protection, l'usage d'une pompe en 220V en milieu ouvert n'était pas satisfaisant d'un point de vue de la sécurité des personnes.
- Les planctons passaient à travers un rotor, ce qui induisait une mortalité importante qu'il convenait de laisser décanter avant de siphonner les copépodes valides vers les mésocosmes ou leurs bacs de stockage temporaire.

Pour éliminer ces deux problèmes, début 2021, une pompe à « airlift » à haut-débit a été construite. Le pompage par airlift consiste à injecter de l'air dans une colonne d'eau de façon à créer une émulsion plus légère, ce qui engendre l'aspiration (poussée d'Archimède). L'airlift en PVC construit mesure 2,5m de long. Une chambre de compression permet d'injecter l'air provenant d'une petite soufflante dans le tube en PVC. La crépine d'entrée en 650 μ m permet d'éviter l'aspiration des formes planctoniques inutiles, comme les alevins. A l'intérieur de cette crépine est placée une lampe LED submersible en 12V, reliée au 220V par un petit transformateur. Cette pompe est capable de déplacer 30m³/h à l'horizontale. L'eau ainsi déplacée passe à travers la paroi d'un bac de 400l immergé, dans lequel quatre fenêtres en maille de 130 μ m ont été aménagées. Le plancton s'accumule dans ce bac pendant la nuit. La mise en place du dispositif prend une demi-heure pour une personne, la récolte matinale et le nettoyage deux heures. La pompe était montée sur une structure flottante amarrée à un corps-mort au-dessus d'une pente sableuse, à proximité d'un platier corallien. Idéalement, il aurait fallu l'utiliser depuis un quai ou un ponton, ce qui aurait permis de faciliter considérablement la récolte en permettant le levage du bac de 400l. Un palan positionné sur un quai fixe aurait permis en effet de relever, récolter, nettoyer et relancer plusieurs pompes sans effort.

Au cours de la soixantaine de pompages réalisée avec ce système, il n'a pas été observé de corrélation des rendements avec le cycle lunaire. La productivité de l'airlift semble en revanche très sensible à la houle, par le biais du courant qui s'établit dans la baie parallèlement au platier. Un épisode de forte houle réduit les récoltes considérablement.

Des changements de communautés planctoniques importants ont été observés en déplaçant la pompe de seulement quelques mètres. Un pompage au-dessus du tombant sablonneux, dans 5-6 mètres d'eau,

donne de nombreux gros copépodes pélagiques (*Acartia*, *Labidocera*), ainsi que des larves de crabes. Un pompage au ras du sable, proche des massifs coralliens, permet d'obtenir des petits copépodes (surtout *Oithona*), utiles en début de développement larvaire. Le pompage à proximité du platier est également moins sensible aux effets de la houle, car le courant y est en général plus faible.

Lors de l'élevage larvaire Paraha Peue de 2021, l'emplacement de l'airlift a été modifié pour amener les élevages avec des proies de plus grande taille, dès que les larves se montraient capables de les ingérer.

En mai 2021, les épisodes récurrents de fortes houles ont conduit à construire un nouveau type d'airlift, plus court et ne requérant pas de structure flottante pour se maintenir. Cet airlift léger, mobile, qui déplace un peu moins d'eau, permet de pomper dans des zones plus calmes grâce à son faible tirant-d'eau. Ce système a permis d'améliorer la régularité des récoltes. Comme pour le premier airlift, un système de relevage depuis le bord aurait simplifié les manipulations et permis de travailler avec davantage de pompes.

Au deuxième semestre 2021, quatre nouvelles pompes à faible tirant-d'eau ont donc été fabriquées, avec quelques améliorations légères du premier modèle (ajout de mailles anti-prédateurs, évent renforcé, trappe de visite pour le rinçage).

Il convient de noter que les matériaux employés pour la construction de ces pompes se trouvent dans la plupart des quincailleries. Les lampes de pêche (4000 f cfp/pièces) sont vendues dans des magasin d'accastillage ou de pêche. De mauvaise facture, il faut améliorer leur étanchéité pour en faire un usage intensif. Les seuls éléments spécifiquement aquacoles du dispositif sont la soufflante et les mailles polyamides techniques. La petite soufflante de 80W employée pour alimenter les pompes peut être alimentée par un parc solaire de petite dimension, typique d'une maison autonome.

Début 2022, les cinq pompes à faible tirant-d'eau ont été reliées à un circuit 12V alimenté par un panneau solaire, ainsi qu'à un réseau d'air. Un mât de charge a été construit en face de cette station de pompage. Il permet de relever seul l'ensemble des pompes en moins d'une heure et de transférer les copépodes vers un bac de décantation/rinçage où ces derniers sont dénombrés avant d'être distribués ou congelés.

Employée en 2022 et 2023 la station de pompage, comprenant 4 airlifts, a donné les résultats moyens suivant :

- 5 millions/jour de copépodes *Oithona*
- 2 millions/jour de copépodes *Acartia*
- 1 million/jour de copépodes *Labidocera*
- 1 million/jour de tout-venant de grande taille (larves de crabe, polychètes, etc.)

Ces résultats correspondent au pompage moyen réalisé avec une crépine en 650µm. Lorsque les crépines sont changées pour du 1500µm, la fraction « *Labidocera* » augmente considérablement. Le

changement de crépine est un excellent moyen d'augmenter la biomasse planctonique en fin d'élevage larvaire.

Le collectage de cinq millions d'*Oithona* par jour permet d'ensemencer un bassin-terre avec 0,1 copépodes adulte/ml en huit jours de pompage en moyenne. Avec un ensemencement de ce type on obtient 0,1 nauplii/ml en 24-48h, 0,5 nauplii/ml et plus à partir du cinquième jour de pompage. Cette station de pompage est donc amplement suffisante pour produire des mésocosmes de très grands volumes.

L'analyse des données de pompage, réalisée au cours de son stage par Alessandro Giorgis au premier semestre 2022, n'a pas permis d'identifier une corrélation des rendements de la station à la phase lunaire. Seules les très fortes précipitations et les houles majeures, qui induisent des courants parfois supérieurs à quatre nœuds dans la baie de la DRM à Vairao, peuvent compromettre les collectes pendant plusieurs jours consécutifs, y compris avec les pompes à faible tirant d'eau, déployées sur le platier moins exposé.

En 2023, afin de collecter du plancton dans des zones protégées de la houle, un kit de pompage mobile a été construit. L'objectif était de tester la collecte nocturne dans des baies eutrophes, potentiellement riches en planctons d'intérêt. Ce kit mobile est constitué d'une pompe à membrane thermique capable de relever 20m³/h. Comme pour la pompe à rotor utilisée en 2020, une crépine en 650µm est utilisée avec une lampe submersible. Une manche de 10cm de diamètre permet d'acheminer l'eau pompée vers une citerne en PEHD de 700l, équipée d'une crépine en 130µm qui sert à concentrer les planctons. Une vanne basse permet de finaliser la concentration dans des casques. Les planctons collectés sont transportés dans une citerne de 50l aérée par une soufflante légère en 12V.

Testé dans la baie de Phaéon sur l'isthme de Taravao, ce kit mobile, transportable à l'arrière d'un pickup, fonctionne parfaitement et permet de concentrer de grande quantité d'eau de façon autonome. Le pompage dans la baie de Phaéon, effectué depuis un quai public, n'a par contre par donné de bons résultats. Les planctons d'intérêt étaient peu représentés, au contraire des matières en suspensions, surtout inorganiques et terrigène, issus des nombreux courts d'eau qui se déversent dans la baie.

L'avantage majeur de la pompe à membrane est de relever directement l'eau dans un système de rinçage, sans endommager les planctons, contrairement à une pompe à rotor. C'est donc un système qui permet d'éviter la phase de relevage nécessaire avec les airlift qui ne peuvent pas mettre l'eau en charge. Les copépodes sont immédiatement concentrés dans le bac de rinçage, réduisant ainsi considérablement la main d'œuvre nécessaire. En revanche, l'autonomie de cette pompe thermique ne permet pas de la laisser fonctionner toute la nuit. La nuisance sonore qu'elle constitue rend inenvisageable une utilisation quotidienne en zone habitée. Une pompe à membrane thermique mobile n'est donc envisageable que pour des collectes ponctuelles dans des lieux particulièrement riches, éloignés d'une station aquacole.

En 2023, une pompe à membrane électrique a été commandée pour être déployée sur la station de pompage actuelle. L'objectif est de proposer une option beaucoup moins chronophage que la station

airlift actuelle, sans les défauts de la pompe à membrane thermique, pourensemencer/amender les mésocosmes en zooplancton avec un minimum de main d'œuvre.

3.2.2 Rinçage et sélection

Les zooplanctons collectés, que ce soit par airlift, pompe à membrane ou à rotor, doivent passer par une étape de rinçage et de tri avant d'être délivrés dans les élevages larvaires. Le bac de rinçage employé, d'un volume de 2m³, permet de décanter et éliminer les zooplanctons morts, tout en renouvelant l'eau, de façon à éliminer un maximum de débris et baisser la charge bactérienne. C'est lors du rinçage que les planctons sont dénombrés.

A l'issue de cette phase de décantation-rinçage, les zooplanctons sont collectés par une vanne haute et triés sur une série de tamis/casque, afin de ne sélectionner que la fraction d'intérêt. Ainsi, il est possible de diviser les planctons collectés en trois grandes catégories de tailles, qualifiées ici selon le genre de copépode qui les domine :

- La catégorie « *Oithona* », sélectionnée en passant les planctons à travers un tamis en 300µm et par concentration dans un casque en 130µm. Cette catégorie comprend en général 90 % de copépodes du genre *Oithona*, quelques Paracalanides et Harpacticoïdes de taille proche. C'est la catégorie cible en début d'élevage larvaire. C'est à partir des adultes de cette catégorie que les nauplii de petites tailles nécessaires à l'entrée dans l'exotrophie sont obtenus.
- La catégorie « *Acartia* », sélectionnée par un tamis en 400µm et un casque en 130µm. Cette catégorie de taille intermédiaire, dominée par le genre *Acartia*, est apportée en général aux alentours de J10, quand les larves consomment déjà des *Oithonas* adultes depuis quelques jours.
- La catégorie « *Labidocera* », comprend tous les planctons collectés par les pompes, dont la crépine d'entrée de 650µm définit la taille maximale. Le genre *Labidocera* est souvent très bien représenté. On trouve également dans cette catégorie des larves de crabes, de squilles, de crevettes, parfois des Polychètes en abondance. C'est la catégorie idéale de la métamorphose jusqu'au sevrage des larves. Très quantitative dans les collectes, cette gamme de plancton, lorsqu'elle n'est pas exploitée pour l'élevage larvaire lui-même, est tamisée pour être congelée et servir plus tard de complément alimentaire dans l'alimentation des géniteurs.

3.2.3 Extraction d'œufs de copépodes *Oithona*

Lors des pompages, les copépodes obtenus sont majoritairement des adultes du genre *Oithona*. Au tout début de la vie larvaire, seuls les nauplii peuvent être consommés par les larves de poisson. La densité d'adultes dans le milieu ne doit pas dépasser 0,5 copépodes par millilitre, densité au-delà de laquelle ils constituent un stress physique pour les larves fragiles. Quand cette concentration est atteinte, il peut être intéressant de n'apporter que des nauplii pour enrichir le milieu en proies adéquates. Pour cela, il est possible d'extraire des nauplii de bassins dans lesquels des copépodes collectés sont stockés temporairement. Mais cette méthode, qui sera exposée en détail plus loin, exige des bacs, du renouvellement en eau, une nutrition adaptée, de la main d'œuvre.

Au cours des essais de sélection des différentes catégories de planctons, une méthode pour séparer et isoler les œufs de ces copépodes a été mise au point. Après 24 à 36h d'incubation de ces œufs séparés, on obtient des nauplii N1 fraîchement éclos, qui peuvent être incorporés directement dans les élevages.

La méthode pour séparer les œufs est très simple : après le rinçage, les planctons sont collectés sous pression à travers une série de tamis puis rincés avec un jet d'eau de mer pressurisé. Ce procédé permet de détacher les œufs des urosomes des adultes et de les isoler sur un tamis. Une fois isolés, les œufs sont introduits dans un bac de 50l à 200l, avec une forte aération par le fond pour éviter leur sédimentation. Après 36h, on obtient entre 90 et 100 % d'éclosion. Les œufs et débris peuvent être séparés des nauplii sains par décantation et siphonnage. L'utilisation de bacs noirs permet de faciliter l'opération.

Cette technique est intéressante en mésocosme, car elle permet d'amener les élevages précoces avec un surplus de nauplii, sans avoir à ajouter d'adultes. Les résultats de l'extraction des œufs dépendent du nombre de copépodes collectés et du pourcentage de femelles ovigères (très variable).

Des essais de réfrigération sur ces œufs, essentiellement de *Oithona*, ont été réalisés pour étudier la possibilité d'un stockage temporaire, afin de constituer par avance un stock utilisable ponctuellement pour les besoins d'un larvaire. Ces essais, réalisés à des températures de 0 à 4°C, n'ont pas permis d'obtenir de survie. Les œufs d'*Oithona* tropicaux ne sont sans doute pas équipés pour entrer dans des phases de dormance comme les œufs des *Acartia* tempérés, pour lesquels existe des protocoles de cryoconservation simples. Vu l'intérêt que présente la capacité à stocker des œufs en prévision d'un élevage, il serait intéressant de reprendre des travaux spécifiques sur la cryoconservation des œufs de ces *Oithona* de récolte, en essayant diverses plages de température, et éventuellement en ayant recours à des agents cryopréservants. Cette recherche et développement dépasse le cadre du programme PROTEGE et n'a pas été poursuivie au-delà de ces essais préliminaires.

3.3 Bilan : Préparation des mésocosmes

3.3.1 Essais de blooms naturels ou inoculés

Entre 2020 et 2022, le programme disposait d'une petite salle d'algues, à l'origine prévue pour alimenter des cultures pures de copépodes *Bestiolina similis*. Ce laboratoire a permis de produire différentes espèces de microalgues en cultures pures : *Nannochloropsis*, T-Iso, *Tetraselmis*, *Chaetoceros*. Si ces algues n'ont pas servi pour des cultures de *Bestiolina similis*, elles ont néanmoins permis différents essais nutritionnels sur les copépodes sauvages récoltés ainsi que des essais visant à mieux cadrer la méthode adéquate pour constituer un bloom phytoplanctonique de qualité lors du démarrage des mésocosme.

La qualité d'un bloom peut se résumer en deux caractères fondamentaux : sa qualité « trophique », ou capacité à supporter une population zooplanctonique d'intérêt, et sa stabilité dans le temps. Sa tenue dans le temps doit au minimum couvrir la durée de l'élevage larvaire durant laquelle les larves requièrent des proies-vivantes riches, durée à laquelle il faut ajouter le délai aléatoire d'obtention d'une ponte quantitative. Cette incertitude est faible pour le Marava, qui pond autour de la nouvelle lune.

Pour le Paraha Peue, il est intéressant de prévoir une dessalure des géniteurs de quelques jours, afin de déclencher une ponte quantitative au moment désiré.

D'abord cultivées en intérieur dans un laboratoire climatisé, les algues produites en culture pure étaient ensuite transférées en extérieur, dans des colonnes de 300l, puis dans des bacs de 400 et 800l, avant de servir d'inoculum dans des bassins de grands volumes, compatibles avec le mésocosme (bassin de 7m³) ou dans des bassins de stockage de copépodes en intérieur (4m³), pour lesquels la croissance endogène des algues était limitée par le faible éclairage.

Les différents tests de constitution de blooms phytoplanctoniques avec ces algues pures ont montré qu'il était difficile de conserver un bloom stable, particulièrement avec les diatomées. Un apport substantiel quotidien à partir des cultures pures était indispensable pour maintenir le bloom, la croissance endogène étant le plus souvent insuffisante.

Avec *Nannochloropsis*, il a été possible de perpétuer des cultures extérieures relativement stables, à condition de ne pas subir de dessalure brutale. Cependant, en 2022, une étude alimentaire conduite sur *Oithona* (détaillée plus loin dans ce document) a montré que la *Nannochloropsis* ne présentait aucun intérêt trophique direct pour ce copépode, ce qui a largement contribué à l'abandon définitif de la salle d'algues pour le programme PROTEGE.

Face à ces résultats instables avec les algues pures, dès 2021, des tests ont été menés sur des blooms « naturels », c'est-à-dire sans inoculum issu de salle d'algues. Ces essais ont été tentés à partir d'inoculum issus de bassins-terre déjà bloomés, mais aussi sans inoculum, directement avec de l'eau brute pompée dans le lagon et filtrée à 300µm pour éliminer les formes zooplanctoniques grossières, avec fertilisation azotée ou sans.

En règle générale, les efflorescences phytoplanctoniques obtenues par ces méthodes étaient plus stables et plus durables que celles obtenues avec les monocultures de laboratoire. Ces blooms naturels sont constitués de microalgues très diverses, les diatomées sont prépondérantes.

Des essais empiriques sur la fertilisation azotée ont été menés dans différents volumes, du bac de 2m³ au bassin-terre de 400m³. Il en ressort qu'une fertilisation azotée légère (6-36mg N/m³), appliquée quotidiennement plutôt qu'en quelques doses brutales, semble permettre de constituer des blooms naturels plus stables.

De la même façon, l'utilisation d'azote sous forme de protéines, semble plus appropriée que la fourniture de formes minérales directement assimilable par les microalgues. Les formes organiques permettent une minéralisation progressive tout en favorisant un écosystème bactérien qui contribue également à la constitution d'une chaîne trophique qui ne repose pas uniquement sur les microalgues.

Toutes ces considérations doivent être prises avec circonspection. En effet, au cours de PROTEGE, les essais de préparation des blooms n'ont pas été réalisés dans un cadre scientifique rigoureux. Comparer méthodiquement les façons de préparer les blooms phytoplanctoniques et juger de leurs qualités relatives sur des critères objectifs quantifiés de stabilité et de qualité trophique, est un exercice

qui demanderait de nombreux essais dans des volumes répliqués, suffisamment nombreux pour comparer diverses variables de conditionnement comme :

- La qualité, la fréquence, la quantité de la fertilisation,
- Le type d'inoculum utilisé (eau brute, échantillon de bassin déjà bloomé, microalgues de cultures pures, etc.),
- L'aération du mésocosme,
- La gestion de la luminosité par des ombrages,
- Le taux de renouvellement en eau.

Une telle approche dépasse largement le cadre et les moyens du programme. Par conséquent, la méthode retenue pour préparer le bloom phytoplanctonique des mésocosmes est aujourd'hui le résultat d'une approche empirique, amalgame des expériences des uns et des autres (Romuald Macé, CAPF, DRM, INTEGRE), du peu de littérature scientifique sur le sujet, des observations relevés lors des tests réalisés pendant PROTEGE. Tests le plus souvent réalisés sans possibilité de répliques, dans une perspective de développement rapide empirique plutôt que de recherche fondamentale. Les quelques règles utiles pour démarrer et maintenir un bloom phytoplanctonique, énoncées ci-dessous, sont donc le fruit de cette démarche empirique :

- La fertilisation azotée doit être faible, régulière et favoriser les formes organiques. Un apport quotidien de 6-36mg N/m³ sous forme d'aliment pendant une dizaine de jour semble suffisant. Par la suite ces apports peuvent être espacés tous les trois jours pour maintenir l'efflorescence, si nécessaire.
- L'intensité du bloom doit rester modérée (« Secchi » supérieur à 1m), particulièrement s'il est impossible de régler la luminosité par un ombrage amovible, afin d'éviter une augmentation brutale du pH et une toxicité ammoniacale. Un bloom intense aura également tendance à créer d'importantes variations de l'oxygène dissout. En cas de forte luminosité, l'oxygène dissout sursaturé peut conduire à des embolies gazeuses létales.
- Avoir la possibilité de modifier l'ombrage permet non seulement d'éviter un risque toxique, mais aussi de modérer le développement du bloom et de tamponner les variations météorologiques dans un souci de stabilité.
- Maintenir une aération et un hydrodynamisme vertical permet de déstratifier le bassin, d'homogénéiser les températures et de maintenir les microalgues en suspension.
- Les fortes pluies peuvent entraîner des dessalures importantes dans les mésocosmes peu renouvelés et provoquer des modifications phytoplanctoniques brutales. L'idéal est de disposer de volumes couverts. Quand c'est impossible, en cas de très fortes pluies, il convient de couper l'aération pour permettre à l'eau douce de se maintenir en surface, où elle est alors évacuée par surverse.

3.3.2 Essais de conditionnements des copépodes de pompage

3.3.2.1 Stockage temporaire de copépodes sauvages

Les copépodes les plus représentés dans les collectes par pompage nocturne sont du genre *Oithona*. Lors du premier élevage larvaire réalisé avec des larves de Marava en 2020, il a été observé que des densités de copépodes adultes supérieures à 0,5 adultes/ml avaient un effet néfaste sur les larves à J1, qui les heurtent en continu. Les larves réagissent à ces contacts par des pulses natatoires qui les épuisent rapidement. Par ailleurs, les premiers mois de pompage ont montré une certaine irrégularité des rendements, liée principalement aux houles et aux fortes précipitations. Cette incapacité à stocker plus de 0,5 copépodes adultes par millilitre dans les mésocosmes, associée à la variabilité des collectes, a rapidement incité à stocker temporairement des copépodes dans des bassins dédiés. Ce stockage temporaire a fait l'objet de développements propres et de tests particuliers qui ont permis de mieux comprendre les besoins spécifiques de ce copépode et la façon de l'intégrer dans les mésocosmes.

Les stockages temporaires de copépodes ont deux objectifs :

- Fournir des nauplii de copépodes pour l'entrée dans la vie trophique des espèces difficiles.
- Disposer d'un stock d'*Oithona* adultes pour lisser la fourniture de proies-vivantes lors de la deuxième partie de l'élevage larvaire (qui correspond en séquence conventionnelle à la fourniture d'*Artemia*).

Les essais sur les stockages de copépodes ont été réalisés entre 2020 et 2022 dans des bassins en intérieur de 4m³, faiblement éclairés et donc tributaires d'algues exogènes pour l'alimentation des copépodes, ce qui les rendait laborieux et chers à entretenir.

Stockés en une fois, un premier pic de production de nauplii est généralement atteint en 24-48h. L'intensité de ce pic est corrélée au pourcentage de femelles ovigères constaté dans le bac de collecte. Les stockages amendés avec 50 000 cellules/ml de T-Iso/*Chaetoceros*, présentent un deuxième pic de production entre J6 et J7. Un troisième pic apparaît au bout de 10-12 jours. Au-delà de deux semaines, les stockages sont dégradés : mortalité, cadavres en suspension, développement de planctons indésirables. Dans tous les cas, les stockages inoculées à des densités initiales supérieures à 1 copépode adulte/ml se dégradent rapidement.

L'extraction de nauplii à destination des élevages larvaires s'effectuait au départ par renouvellement d'eau quotidien, passage de l'eau de surverse à travers une maille polyamide en 100µm et concentration dans une casque en 35µm. Cette technique fonctionnait très bien mais présentait l'inconvénient de lessiver les microalgues du bassin. Par la suite, un petit système de collecte et concentration par airlift, disposé à l'intérieur du bac, fonctionnant en continu par recirculation, a été construit pour éviter ce lessivage. Avec un tel dispositif, il était possible d'extraire entre quelques centaines de milliers et quelques millions de nauplii quotidiennement dans un bac de 4m³.

Des essais au cours desquels les copépodes étaient stockés en plusieurs apports successifs jusqu'à la densité limite de 1 copépode/ml, ont montré qu'il était possible de lisser la production de nauplii, sans

doute en créant une juxtaposition des pics de production des différentes cohortes apportées consécutivement.

Les principaux inconvénients de ces stockages de copépodes étaient :

- Une trop faible durée de vie, malgré des renouvellements d'eau importants et des apports quantitatifs d'algues. Cette durée de vie efficace, d'une quinzaine de jours, est peu compatible avec l'élevage larvaire en mésocosme, car le démarrage de l'élevage larvaire est souvent décalé de quelques semaines par l'aléa des pontes ou de la préparation du milieu.
- Le besoin en microalgues pour ces bassins couverts nécessitait une production par salle d'algues contradictoire avec les objectifs du programme.

Pour mieux comprendre la dégradation des stockages de copépodes au cours du temps et cerner les besoins nutritifs des *Oithona*, une étude plus approfondie sur les besoins alimentaires de ce copépode a été menée dans le cadre de deux stages, en 2021 et 2022.

3.3.2.2 Essais alimentaires sur les copépodes *Oithona* collectés

Afin de mieux comprendre les besoins des *Oithona* obtenus par pompage, des batteries de tests ont été réalisées à petite échelle dans 72 bouteilles de 1,5 litres. L'objectif était d'améliorer la façon de nourrir les copépodes stockés temporairement pour augmenter leur survie et favoriser l'obtention de nauplii. Différents milieux nutritifs ont été comparés, à diverses concentrations : pâte de *Nannochloropsis*, pâte de *Tetraselmis*, T-Iso + *Chaetoceros* fraîches (témoin positif), rotifères + pâte d'algues, eau claire (témoin négatif), broyats divers (moule, copépodes), levure, nauplii de copépodes (afin d'évaluer un effet éventuel du cannibalisme).

Ces essais ont permis de constater plusieurs choses :

- Les broyats contaminés par des ciliés améliorent nettement la production de nauplii, la survie des adultes et la proportion de femelles ovigères par rapport au témoin positif (*Isochrysis* + *Chaetoceros*). Les mêmes broyats non contaminés ne présentent pas de différence significative avec le témoin, ce qui semble indiquer que l'effet positif constaté serait dû aux ciliés dont se nourrirait *Oithona*.
- L'effet très positif de l'apport de rotifères sur *Oithona*, pressenti au cours de différents élevages larvaires, a été confirmé. Des observations de prédation directe semble indiquer que les *Oithona* se nourrissent bien de rotifères, ce qui pourrait expliquer l'effondrement des populations de rotifères constatés dans les mésocosmes déjà densément peuplés en *Oithona*.
- La *Nannochloropsis*, qu'elle soit fraîche ou en pâte concentrée, n'apporte rien comparé à un témoin en eau claire.
- La pâte de *Tetraselmis* ne semble pas non plus contribuer à l'alimentation du copépode.

Ces résultats semblent indiquer que les *Oithona* collectés ont besoin d'un environnement trophique diversifié qui ne se limite pas à des algues fraîches. En pratique, il est difficile de produire rapidement

un tel milieu : les essais d'apports modérés de broyats en complément des algues dans des stockages de 4m³ se sont immédiatement soldés par une dégradation rapide et incontrôlable de l'environnement, des mortalités excessives prématurées.

Après l'échec des essais alimentaires qui tentaient de rallonger leur durée de vie, les stockages temporaires de copépodes ont été abandonnés au profit des seuls mésocosmes extérieurs préparés avec un bloom naturel, puis amendés progressivement en copépodes adultes. Dans un mésocosme de cette nature, la durée de vie qualitative de l'écosystème est de plusieurs mois, pourvu que l'on parvienne à maintenir un bloom modéré.

3.4 Bilan : Structures d'élevage larvaire

Durant trois ans, les essais en mésocosme ont été effectués dans des bacs et bassins de formes et volumes très différents : bacs cylindriques en composites, bassin en béton rectangulaire, étang, tarpaulins... Ces volumes d'élevage ont chacun leurs spécificités, avantages et inconvénients. Différentes techniques ont dû être employées pour adapter ces enceintes à l'élevage larvaire en mésocosme. L'objet de cette partie est d'exposer certaines techniques et solutions d'ingénierie aquacole qui présentent un intérêt pour le développement du mésocosme.

3.4.1 Tarpaulins immergés

Les tarpaulins immergés, qui sont des structures cousues de toile polyester enduite par du PVC, ont été envisagés comme volumes larvaires pour plusieurs raisons :

- S'affranchir du foncier. Le coût de la terre, en particulier au bord de mer dans les îles hautes, est un frein potentiel au déploiement d'écloseries artisanales. La production d'alevins dans des structures immergées permet d'imaginer des fermes aquacoles dont l'ensemble des opérations seraient circonscrites à la concession lagonaire.
- Faciliter les transferts d'alevins. Élevés dans un tarpaulin, les juvéniles sevrés peuvent être transférés dans la cage de nurserie en déployant cette dernière autour des tarpaulins qu'il suffit alors d'ouvrir par une fermeture éclair pour libérer les alevins.
- L'élevage en mer dans des structures en tarpaulin permet d'envisager des écloseries qui se passeraient totalement de pompes conventionnelles, remplacées par des airlift alimentés par une petite soufflante. Une telle installation, qui reposerait sur des transferts d'eau à l'horizontale (sans mise en charge), serait très économique en énergie et fonctionnerait grâce à une installation solaire autonome de moins de 1000W.
- Enfin, bien qu'il ne s'agisse pas de l'objectif premier, les tarpaulins permettraient d'effectuer l'alevinage en mer dans des structures permettant de lutter efficacement contre la ténacibaculose, maladie qui oblige aujourd'hui à mener la nurserie et le pré-grossissement des Paraha Peue en bassin-terre jusqu'à 30g. Les tarpaulins, qui sont obturables en quelques minutes, peuvent servir pour effectuer des dessalures prophylactiques ou des bains curatifs (au peroxyde d'hydrogène par exemple), sans passer par le déploiement chronophage d'un tarpaulin de balnéation autour d'une cage de nurserie. Par ailleurs, le renouvellement de l'eau

reposant sur des airlifts, c'est une solution économe en énergie par rapport à un alevinage en bacs hors-sol.

Au deuxième semestre 2021, deux tarpaulins de baignade de 14m³, acquis par la DRM pour effectuer des traitements curatifs dans des cages d'alevinage, ont été adaptés pour l'élevage larvaire. Les modifications de ces tarpaulins de baignades comprennent :

- Une « surverse » maillée, avec jeu de crépines en polyamide interchangeables.
- L'aménagement d'une entrée d'eau neuve, alimentée par un airlift.
- Une évacuation centrale par le fond, dotée d'une aspiration par airlift afin de purger les sédiments.
- Un exosquelette en PVC et cordages qui maintient la forme des tarpaulins dans le courant

La forme pyramidale du fond des tarpaulins, associée à l'airlift de purge, permet une évacuation efficace des déchets sédimentés. L'airlift d'entrée, lorsqu'il est bridé par une chaussette de filtration en 25µm fournit 400 % de renouvellement par jour. Débridé, il peut renouveler jusqu'à 2000 %/jour. Une soufflante à membrane de 80W suffit pour les airlifts d'entrée et l'aérateur central de deux tarpaulins de 14m³.

Grâce à leurs exosquelettes souples, ces tarpaulins initialement prévus pour être déployés lors de traitements par baignades de quelques heures au maximum, ont passé six mois en mer sans subir de dégâts, malgré des courants réguliers de 1m/s et un épisode exceptionnel de houle décennale ayant occasionné des courants de plus de 2m/s.

Ces conditions régulières de fort courant dans la baie ouverte de la DRM à Vairao compliquent cependant la conduite des élevages larvaires, que ce soit pour la collecte des planctons ou pour la maintenance des tarpaulins. Ce système n'est opérable durablement que dans des baies protégées, où le courant est insignifiant.

Enfin, vu les survies obtenues lors de l'unique essai réalisé avec le Paraha Peue, le volume total de ces tarpaulins semble insuffisant pour produire 10 000 alevins par cycle sans augmentation de la survie.

Parfaitement fonctionnel, ce système mériterait aujourd'hui d'être testé pour l'alevinage en mer. L'ajout d'un deuxième airlift de renouvellement obturable permettrait de pousser le renouvellement à 200 %/heure avec une consommation probable de 100W. Le système pourrait être installé proche d'une citerne d'eau douce hors-sol, afin de procéder à des dessalures prophylactiques régulières.

Enfin, dans les zones à fort courant, les tarpaulins pourraient être remplacés par des citernes immergées, équipées à l'identique, mais qui ne subiraient pas de déformation dues aux courants.

3.4.2 Incubateurs immergés

En mésocosme, comme en éclosérie conventionnelle, la question de l'incubation des œufs et du transfert des larves dans le milieu d'élevage est fondamentale. Au cours des différents essais effectués, différentes méthodes d'incubation ont été testées.

- Le panier flottant

Cette méthode a été employée en mésocosme de 7m³ avec un panier en maille polyamide de 130µm, puis en tarpaulins, avec un « big-bag » de chantier dans lequel ont été cousues des fenêtres maillées.

Le panier flottant a l'avantage de la simplicité. Les œufs sont directement baignés dans le milieu, ainsi les larves ne subissent pas de grandes variations lors du transfert. L'usage d'une maille de 150µm permet de maintenir les copépodes adultes séparés des larves tant que celles-ci sont fragiles (J1-J2).

Cependant, l'hydrodynamisme n'est pas idéal dans les paniers flottants, particulièrement quand il s'agit d'élever des Paraha Peue. En effet, leur forme cubique induit des zones mortes qui contraignent la circulation générale de l'eau. Au moment de l'éclosion, il est alors difficile de maintenir en suspension les larves coulantes des Paraha Peue, qui tendent à s'entasser dans le fond, avec pour conséquence des taux d'éclosion anormalement bas. On ne saurait recommander le panier flottant pour cette espèce.

- Le cylindro-conique immergé

Pour les essais en bassins de 4m³, deux bacs de 150l en composite fibre de verre/polyester ont été équipés de fenêtres en 150µm afin de servir de paniers flottants rigides. Contrairement aux paniers flottants souples de forme cubique, il est possible dans ces paniers de maintenir une circulation propice à la suspension des larves, y compris lorsqu'elles deviennent coulantes. Il est également possible d'aménager un renouvellement de l'eau par le fond. Ces incubateurs sont donc indiqués pour le Paraha Peue, ou plus généralement, pour maintenir un hydrodynamisme adéquat en incubation directe.

- L'incubation indirecte

Pour plusieurs essais, l'incubation indirecte reste la solution la plus simple. Cette méthode consiste à utiliser un véritable incubateur hors-sol qui peut être alimenté avec de l'eau biosécurisée. L'hydrodynamisme et le renouvellement sont alors optimaux. Le problème de l'incubation indirecte réside dans la phase de transfert des larves de l'incubateur vers le mésocosme, qui requiert une grande délicatesse. Lors du transfert, il convient de veiller à ce que l'écart de température entre l'incubateur et le mésocosme soit inférieur à 1°C. Pour les larves fragiles, comme celle du Marava, il est préférable de ne procéder au transfert qu'à partir de J2.

- L'incubateur immergé

Une variante développée au cours de PROTEGE est l'incubateur immergé. Il s'agit en fait simplement de placer l'incubateur classique utilisé en incubation indirecte à l'intérieur du mésocosme. Cette méthode permet de bénéficier des avantages de l'incubation indirecte, c'est-à-dire un renouvellement d'eau de qualité (qui peut être biosécurisée), un hydrodynamisme optimal, tout en permettant un transfert doux des larves par surverse ou bascule de l'incubateur. Pour une réduction efficace de la charge bactérienne, il est important de maintenir un taux de renouvellement important, de l'ordre de 200 %/heure. En fonction du volume des incubateurs par rapport au bassin dans lequel ils sont déployés, un tel renouvellement peut être excessif et conduire au lessivage du mésocosme. C'est dans ce type de conditions que l'incubateur à airlift devient opportun.

- L'incubateur immergé à airlift

Développé en 2023 pour les mésocosmes en étang et en bassin-béton, l'incubateur immergé dispose, en plus du renouvellement en eau extérieure ajustable, d'un système de renouvellement par airlift qui utilise l'eau du mésocosme. Il est ainsi possible d'obtenir des taux de renouvellement importants sans lessiver le bloom phytoplanctonique. Si le lessivage n'est pas un enjeu, l'airlift a tout de même un intérêt pour remplacer progressivement l'eau de l'incubateur par l'eau du mésocosme préalablement au transfert, qui sera alors effectué sans heurt ou transition brutale.

3.5 Bilan : Expertise et échanges

Le programme a bénéficié de l'expertise continue de Romuald Macé, consultant expert en ostréiculture et mésocosme en contrat avec la DRM depuis 2020.

En 2023, l'atelier régional de capitalisation ATERCAP PROTEGE a permis de réunir différents experts, parmi lesquels Guirec Dewavrin avec qui l'équipe a pu échanger sur la thématique du mésocosme.

3.6 Bilan : Ressources Humaines

Le programme a été mené de septembre 2019 à août 2020 par l'ingénieur aquacole Thomas Camus, qui avait déjà conduit les travaux sur le Marava dans le cadre d'INTEGRE. De septembre 2020 à décembre 2023, les travaux ont été repris par Corentin Salvan.

En octobre 2021, à la suite d'un stage volontaire de six mois, Kilian Cella a rejoint le programme en qualité de technicien aquacole.

Le programme a été appuyé par des stagiaires CVD (Corps de Volontaires au Développement, SEFI) :

- Vaiteani Nordman, d'octobre 2019 à septembre 2020 : 50 % sur PROTEGE en culture de microalgues et de macroalgues
- Lomai Taerea, d'octobre 2020 à septembre 2021 : 50 % sur PROTEGE en culture de microalgues et de macroalgues

- Matoha Tchoun, d'octobre 2021 à septembre 2022 : 80 % sur PROTEGE en culture de macroalgues et mésocosme
- Maxime Forget, d'octobre 2022 à septembre 2023 : 100 % sur PROTEGE en macroalgues et mésocosme

Quatre stagiaires ont contribué aux travaux sur le mésocosme :

- Kilian Cella, lors d'un stage volontaire de janvier 2021 à juillet 2021.
- Hitu Tamarii, lors d'un stage volontaire de deux mois, de juin à juillet 2021.
- Alessandro Giorgis, stagiaire M2 d'avril à août 2022, sur le sujet : « Identification des paramètres d'élevage optimums pour la stabulation courte durée de copépodes sauvages destinés à l'élevage larvaire multispécifique en mésocosme. »
- Thibaud Meurillon, stagiaire M1 de mars à août 2023, sur le sujet : « Mise au point d'un protocole low-tech et low-cost de production d'alevins de *Platax orbicularis* en mésocosme ».

4 Conclusions et Perspectives

4.1 Perspectives en pisciculture du Marava

Les essais larvaires DRM PROTEGE ont été abandonnés à la fin du premier semestre 2022 par suite de l'incapacité à dépasser J4 après éclosion.

En 2023, le lot de géniteurs cédé par la DRM à l'IFREMER a été perdu. Aujourd'hui, il n'y a plus de géniteurs matures en captivité pour continuer d'éventuels travaux sur le Marava. La constitution d'un nouveau lot de géniteurs matures à partir de juvéniles sauvages prendrait environ deux ans.

La seule perspective réaliste pour l'aquaculture du Marava en Polynésie française passe par le grossissement d'alevins sauvages capturés.

En 2023, la pisciculture en cages « familiales » à partir d'alevins sauvages pêchés de différentes espèces est l'objet de recherche et développement dans le cadre d'un partenariat entre la DRM, la CAPL (Chambre de l'Agriculture et de la Pêche Lagonaire) et la CAPF (Coopérative des Aquaculteurs de la Polynésie Française). Malgré des recrutements très variables d'une année à l'autre, le Marava fait partie des espèces d'intérêt pour ce programme d'aquaculture artisanale.

4.2 Paraha Peue : Continuer les essais larvaires sur la base des avancées réalisées pendant PROTEGE

S'il n'a pas été possible de dégager un protocole d'élevage définitif en mésocosme, capable d'assurer la production de 10 000 alevins minimum par cycle, il reste que PROTEGE a permis des avancées significatives :

- La mise au point d'un système de pompage simple par airlift, suffisamment quantitatif pour amener des mésocosmes de 400m³ et se passer d'*Artemia*.
- La mise au point d'un système de pompage simplifié par pompe à membrane et rinçage immédiat des copépodes, qui permet à une personne seule de collecter le plancton d'intérêt en moins d'une heure de travail quotidien.
- La maîtrise de la préparation des mésocosmes, qui permet d'obtenir en deux semaines des milieux d'élevage larvaires riches en nauplii.
- Une technique d'extraction des œufs de copépodes qui permet de booster les élevages larvaires sans excéder les concentrations de copépodes adultes confortables pour les larves de poisson.
- Un système d'incubation immergé qui minimise les difficultés liées au transfert tout en évitant le lessivage du mésocosme.
- L'obtention de 5 % de survie (dans un 4m³ à 10 larves/l), ce qui permet d'envisager une production de 20 000 alevins dans un volume de 40m³ avec un protocole semi-extensif transférable aux EPV.

Pour la suite du développement de l'itinéraire technique, compte tenu des très mauvais résultats obtenus dans les bassins-terre, qui n'autorisent pas ou très peu de contrôle des paramètres environnementaux, et vu que les meilleurs résultats enregistrés l'ont été dans des enceintes couvertes, siphonnables et pouvant être renouvelées significativement (>100 % de renouvellement par jour), il semble que les futurs travaux devraient être effectués dans des volumes d'une cinquantaine de mètres cubes ayant les caractéristiques suivantes :

- Les bassins doivent être protégés de la pluie par une couverture en tôle transparentes
- Il doit être possible de nettoyer le fond complètement (par siphonnage ou purge), afin de mener l'élevage jusqu'au sevrage sans pollution excessive,
- Un ombrage amovible doit permettre de régler la luminosité pour contrôler l'efflorescence phytoplanctonique, lui apporter de la stabilité et de la durabilité, tout en évitant une toxicité ammoniacale aiguë ou une sursaturation en dioxygène.
- La capacité de renouvellement en eau brute doit être suffisante (50 %/heure) pour permettre de passer le bassin en eau claire lors du sevrage ou pour faire face à une chute du bloom, une pathogénie ou la colonisation du bassin par un plancton néfaste.
- Pour un bassin de 50m³ démarré à 10 larves par litre (maximum), il faut prévoir deux incubateurs immergeables de 1000l (250 œuf/l à l'incubation), renouvelés à 200 %/heure via l'airlift. Si de l'eau biosécurisée est disponible, il peut être intéressant de privilégier une incubation indirecte (400 œufs/l maximum) qui aura l'avantage de ne pas polluer le mésocosme et maximisera le taux d'éclosion et la survie précoce. Il faudra cependant porter une attention particulière à la qualité du transfert (absence de chocs, faible variation thermique).

Ces bassins de 50m³ pourraient être conduits de trois façons : en semi intensif, en mésocosme strict ou en mésocosme « intermédiaire », selon que l'on dispose de cultures de proies-vivantes.

- Le larvaire semi-intensif

Pour ce protocole, le bassin peut être mis en eau 48h avant la ponte. Jusqu'au transfert des larves à J1/2, le bassin est maintenu en eau claire avec ajout de probiotiques et bullage doux. La durée de trois jours entre la mise en eau et le transfert des larves doit permettre l'établissement d'une flore bactérienne équilibrée dans le bassin. A J2, premier apport de rotifères et pâte d'algues (*Nannochloropsis*). La pâte d'algue est apportée en continu ou en pulses de façon à maintenir l'équivalent de 200 000 cellules par millilitre en tenant compte du renouvellement. Le renouvellement à 100 %/j dans la journée, passe à 200 %/jour minimum la nuit pour éliminer les restes de pâte d'algue. La première semaine d'élevage, on récupère les rotifères perdus par la surverse à l'aide d'un casque en 45µm. Lors de la première semaine, il est possible d'apporter des nauplii obtenu par extraction/incubation des œufs. Les copépodes adultes (gamme « *Oithona* ») ne sont apportés qu'entre J5 et J7, c'est-à-dire quand les larves sont presque capables de les consommer. Le siphonnage doit être effectué quotidiennement dès J5 pour éliminer le dépôt de pâte d'algues puis l'aliment. On distribue des rotifères jusqu'à ce que toutes les larves consomment des copépodes (J8-J10). S'il y a un solde, on continuera à distribuer des rotifères puisqu'ils contribuent à entretenir les copépodes. L'apport de pâte d'algue peut être interrompu quand on cesse de délivrer des rotifères.

- Avantages de ce protocole : temps de préparation court, pas d'aléa dans la préparation
- Inconvénients : nécessité de produire des *Artemia* en cas de déficience du pompage de copépodes, protocole tributaire de pâte d'algue congelée
- Le mésocosme strict

Pour ce protocole, l'obtention quantitative de nauplii endogènes est impératif. On prépare donc le mésocosme par un bloom phytoplanctonique suivi d'un ensemencement en copépodes étalé sur une semaine à 10 jours. Les excédents de pompage permettent d'ajouter des nauplii par incubation des œufs séparés.

- Avantages de ce protocole : ne nécessite aucun intrant avant le sevrage, ne requiert pas de productions de proies-vivantes
- Inconvénients : préparation longue (2-3 semaines) qui comporte une part d'aléa, aucun recours en cas de surpâturage
- Le mésocosme intermédiaire

Par mésocosme intermédiaire, on inclut tous les degrés de préparation qui permettent d'associer une production endogène de proies, ce qui est le propre du mésocosme, à la possibilité d'apport exogènes, principalement de rotifères.

Dans un exemple de cette variante, le bassin est préparé une semaine avant la mise en élevage par un bloom phytoplanctonique naturel léger auquel on ajoute des copépodes adultes (0,1-0,2/ml), de façon à avoir potentiellement des nauplii en plus des rotifères pour l'entrée dans l'exotrophie. Le bloom peut être soutenu par l'apport de pâte d'algue au moment de l'apport des premiers rotifères. L'avantage de cette méthode intermédiaire est de fournir d'autres sources alimentaires que les rotifères tout en minimisant l'aléa lié au mésocosme strict. Par rapport à ce dernier, l'obtention de nauplii endogènes n'est plus une nécessité absolue. Il faut noter que si les nauplii sont obtenus en concentration suffisante (0,1-0,5/ml), l'apport de rotifères n'aura qu'un effet indirect sur les copépodes adultes car les larves ne les consommeront pas et privilégieront les nauplii.

- Avantages : proies-vivantes diversifiées, aléa moindre qu'en mésocosme strict, en cas d'anomalies de pompages les copépodes adultes stockés dans le mésocosme sont mieux nourris (bloom diversifié) et plus durablement établis que dans un larvaire semi-intensif sur pâte d'algues.
- Inconvénients : production de proie-vivantes, éventuellement utilisation de pâte d'algues à stocker congelées, préparation qui peut être longue et comporter une dimension aléatoire.

4.3 Collecte de planctons

La collecte quantitative de planctons d'intérêt pour l'élevage larvaire est l'une des réussites du programme.

Pour la suite des travaux sur le mésocosme, la collecte de plancton devrait être orientée vers l'usage de pompes à membranes électriques, plutôt que d'airlifts, car ce système permet de rincer les copépodes durant la collecte et évite l'étape chronophage de relevage des pompes. Une pompe à membrane électrique a été commandée en septembre 2023 pour remplacer la pompe à membrane thermique testée au premier semestre 2023 pour des collectes itinérantes autonomes.

Associée au bac de rinçage employé dans le kit itinérant ou au bac de rinçage de la station de pompage par airlift, cette pompe à membrane électrique devrait permettre de collecter des copépodes pour les mésocosmes avec une main d'œuvre réduite. Ainsi, une personne seule sera à même de gérer l'ensemble des opérations nécessaires à la production en mésocosme : élevage larvaire, collecte de plancton et, éventuellement, production de rotifères sur levure pour pallier un manque de nauplii en début d'élevage larvaire (ou pour un protocole semi-intensif).

Enfin, la collecte quantitative de copépodes ayant permis d'éliminer les *Artemia* en mésocosme et en élevage larvaire semi-intensif, il serait pertinent de tester cette substitution en nurserie de crevettes. L'usage de copépodes sauvages permettrait aux crevetticulteurs de réaliser des économies substantielles en s'affranchissant de l'importation de cystes d'*Artemia* issus de pêcheries sous tension (90 % des cystes d'*Artemia* commercialisés dans le monde proviennent de lacs salins menacés par le réchauffement climatique).

4.4 Extraction et cryoconservation d'œufs de copépodes

La découverte en 2022 d'une méthode efficace de séparation et d'incubation des œufs de copépodes *Oithona* permet d'obtenir aisément des nauplii de petite taille pour l'entrée dans l'exotrophie des larves de poisson.

Il serait intéressant de reprendre les travaux amorcés en cryoconservation de ces œufs. En effet, la conservation durable de grands nombres d'œufs sauvages permettrait de constituer un stock à éclore au moment voulu, ce qui faciliterait grandement les élevages larvaires qui ne seraient plus tributaires d'une préparation parfois longue et incertaine. Le développement d'une telle technologie serait également très intéressant en écloserie conventionnelle pour réduire la dépendance envers les cultures de proies-vivantes coûteuses.

La capacité à stocker des proie-vivantes de petite taille et à les délivrer à la demande, comme il est possible de le faire avec les cystes d'*Artemia* en deuxième partie d'élevage larvaire, est un enjeu commercial majeur en écloserie de poisson. Les retombées commerciales du développement d'une telle technologie seraient considérables.

Le stockage d'œufs capables de se développer en nauplii malgré une phase de réfrigération demande aujourd'hui des travaux spécifiques. La demi-douzaine d'essais de cryopréservation réalisés sur les œufs collectés en 2022 dans le cadre de PROTEGE n'a pas permis d'obtenir de succès, contrairement aux essais de cryoconservation des larves trochophores de *Saccostrea cucullata*. Il serait pertinent de reprendre ces travaux de cryoconservation dans le cadre d'un programme dédié. Les essais pourraient porter sur la cryoconservation des œufs mais aussi nauplii, avec utilisation éventuelle d'agents cryopréservateurs.

4.5 Alevinage en structures immergées

Depuis 2021, les EPV sont contraintes de prégrossir leurs Paraha Peue de 1g à 30g dans des bassins-terre avant de les livrer aux fermiers. Les essais de grossissement en cages lagunaires en dessous de 30g se soldent systématiquement par des mortalités majeures par ténacibaculose.

Le protocole actuel de prégrossissement en bassin-terre est problématique à bien des égards :

- Les phases de transfert de l'écloserie vers les bassins-terre puis des bassins-terre vers les cages sont démesurément chronophages. En 2021, le coût d'un transfert avait été évalué à 20 f cfp/alevins. Par ailleurs, les manipulations en épuisettes ou filets induisent des lésions superficielles, qui favorisent l'apparition de la ténacibaculose.
- Le prégrossissement en bassins-terre exige beaucoup de pompage (hauteur d'eau importante) dans un contexte de limitation des flux.
- L'utilisation de plusieurs bassins-terre est en concurrence avec le développement d'autres activités par la CAPF (crevetticulture, poissons d'aquarium).

- Les survies en prégrossissement en bassins-terre sont insuffisantes pour envisager une augmentation de la production de la filière sans davantage de bassins. L'augmentation des tonnages est donc impossible et la rentabilité de la filière est aujourd'hui compromise par le prégrossissement.

Dans ce contexte, une solution d'alevinage en structures immergées permettrait :

- Un alevinage à très faible coût énergétique (50W/airlift environ) par déplacement de l'eau à l'horizontale.
- Une facilitation des transferts.
- La possibilité de traitements prophylactiques (voire curatifs) par dessalure à partir d'une citerne à terre.

Les essais en tarpaulins dans le cadre de PROTEGE ont permis de démontrer le fonctionnement des structures immergées. A l'avenir, l'aménagement de citernes rigides en PEHD en utilisant les méthodes développées pendant PROTEGE (renouvellement par airlift latéral, purge centrale) permettrait de proposer une solution d'alevinage à bas-coût, à l'épreuve des courants forts et capable de répondre à la ténacibacullose.

6 Annexe photo



Figure 1: bassin de 4m³ en élevage larvaire semi-intensif



Figure 2: bassin de 7m³ en mésocosme



Figure 3: bassin larvaire de 4m³, incubateur immergé cylindro-conique



Figure 4: bassin de 7m³ avec panier flottant



Figure 5: bassin-terre de 400m³



Figure 6: incubateurs immergés en bassin-terre



Figure 7: structure flottante des tarpaulins immergés

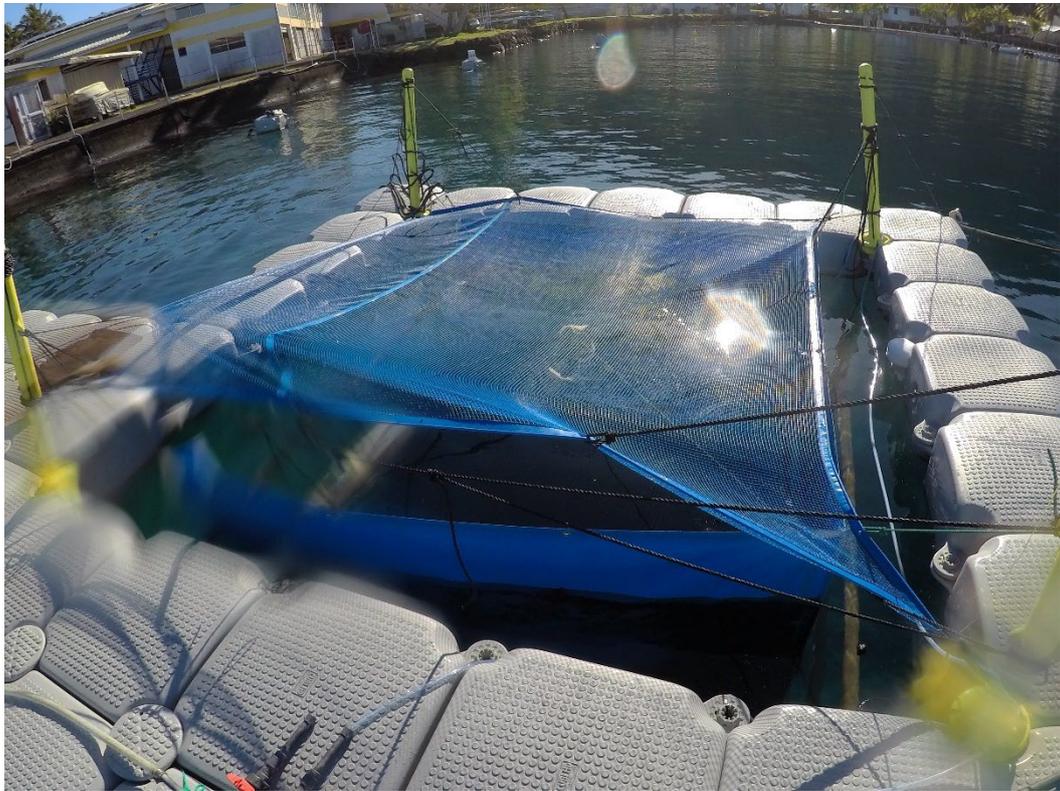


Figure 8: tarpaulin immergé, vue du dessus



Figure 9: tarpaulins immergés

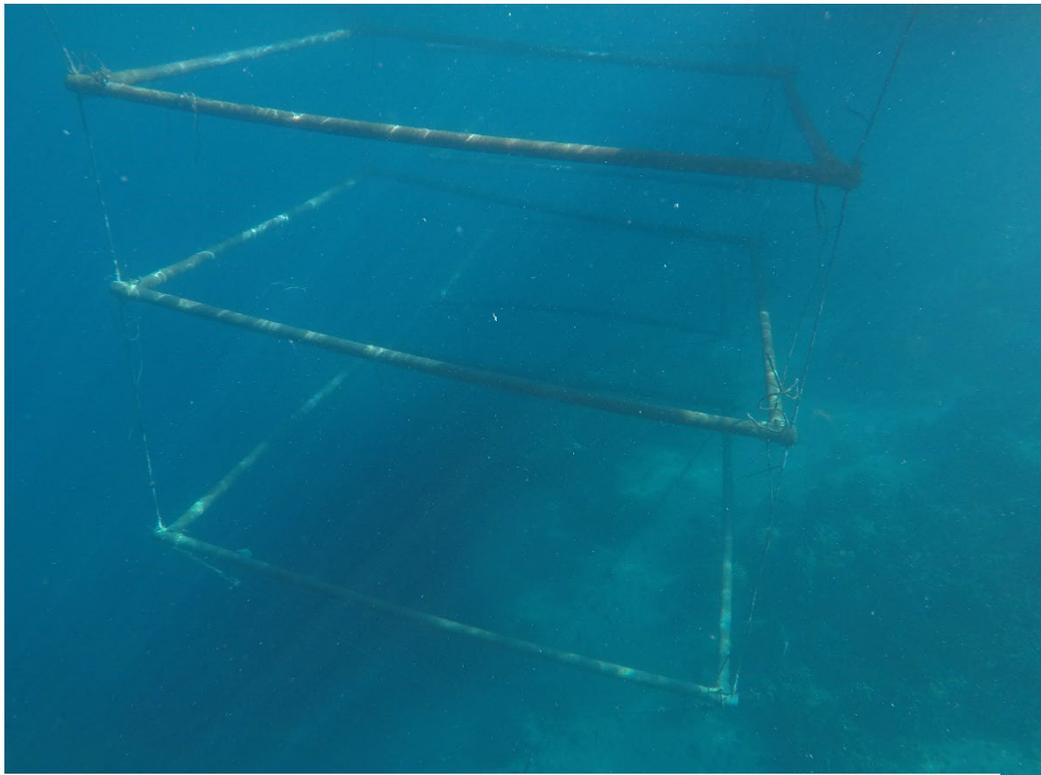


Figure 10: exosquelette des tarpaulins immergés

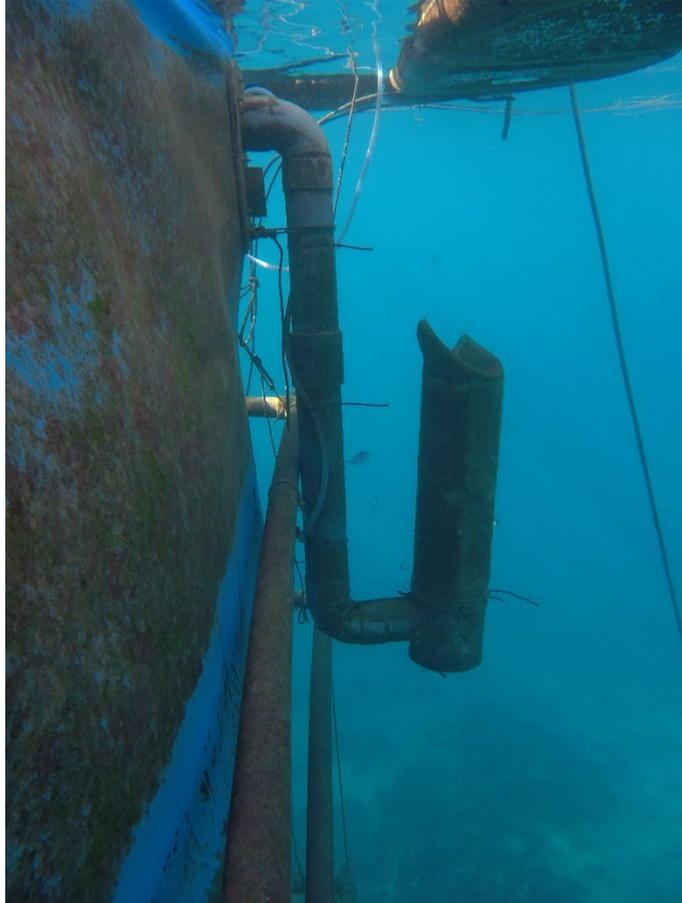


Figure 11: airlift de renouvellement d'un tarpaulin



Figure 12: purge basse à airlift d'un tarpaulin immergé



Figure13-14: pompe vide-cave et dispositif de séparation des planctons en cascade

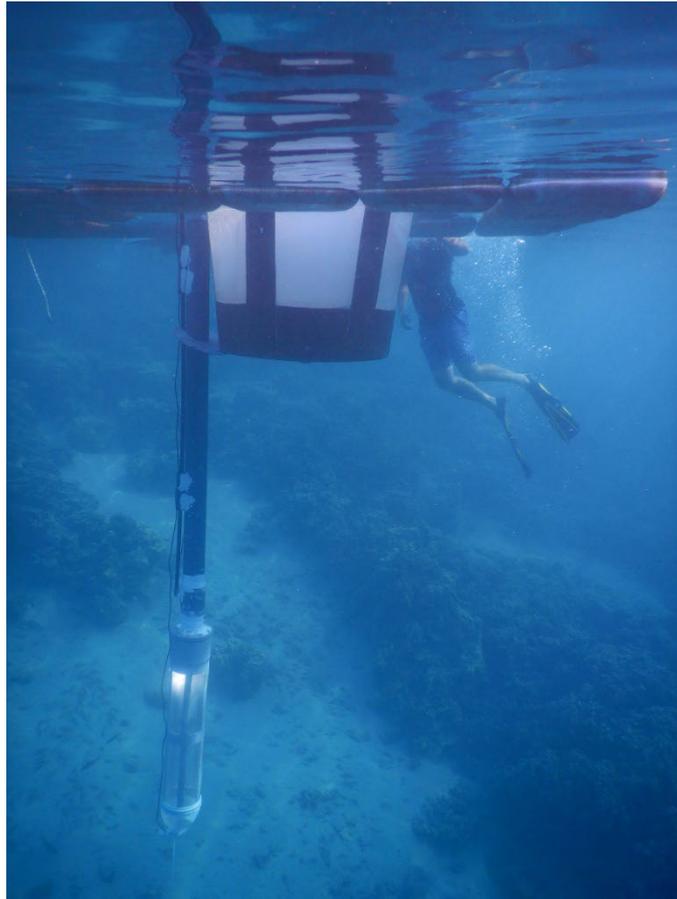


Figure 15: pompe à plancton "pélagique"



Figure 16: pompe à plancton, vue du dessus en service



Figure 17: pompe à plancton pélagique en position de récolte



Figure 18: pompe à plancton à faible tirant-d'eau, premier modèle



Figure 19: pompe à plancton à faible tirant-d'eau, deuxième modèle



Figure 20: pompe à plancton en service (premier plan), tarpaulins immergé (deuxième plan)



Figure 21: excédent de récolte tamisé



Figure 22: composition typique d'un pompage (non trié), *Oithona*, *Acartia*, *Labidocera*

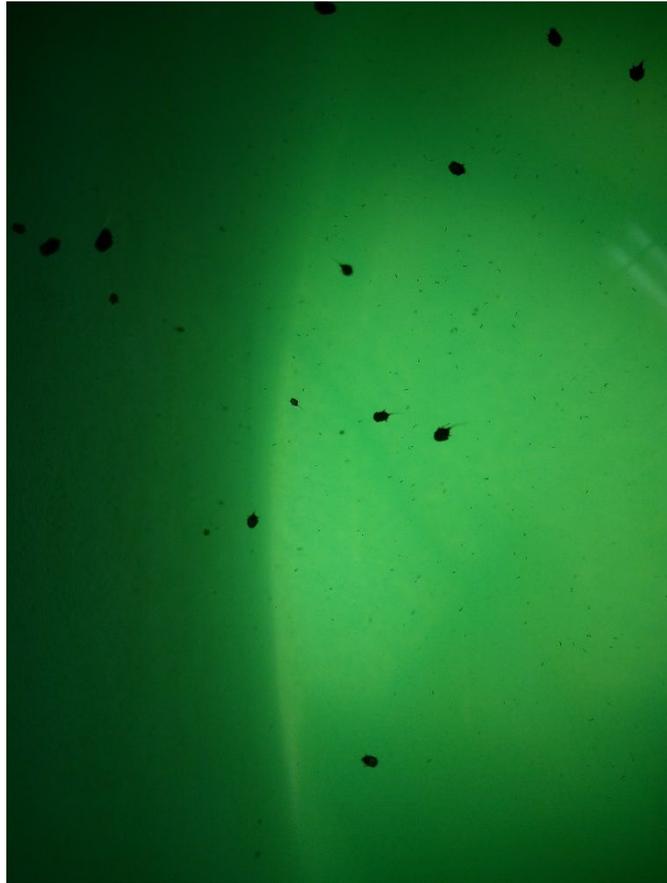


Figure 23: larves de Paraha Peue et copépodes dans un mésocosme

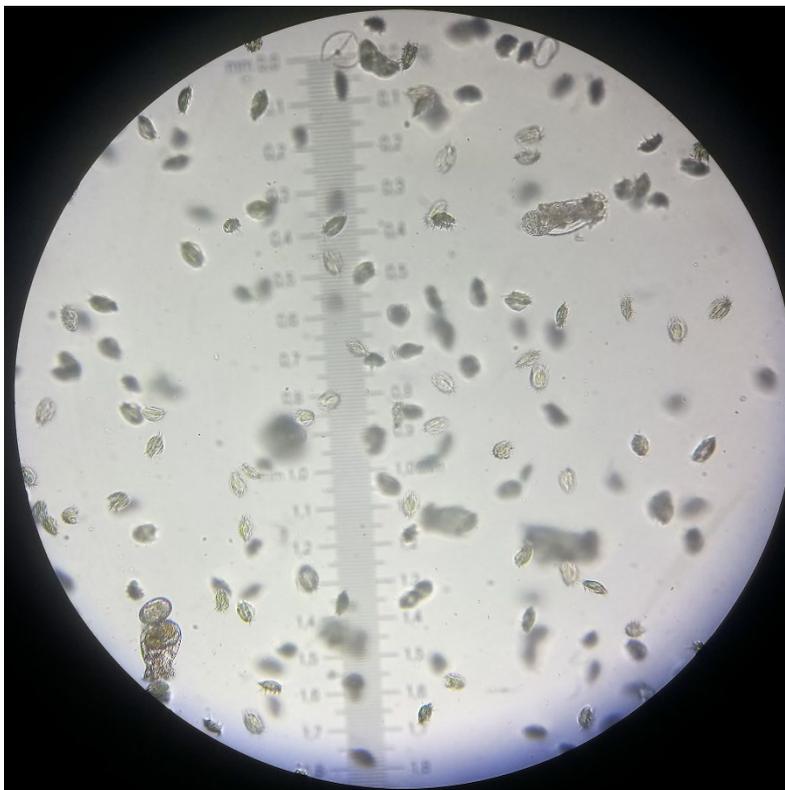


Figure 24: culture de ciliés issus d'élevages de rotifères

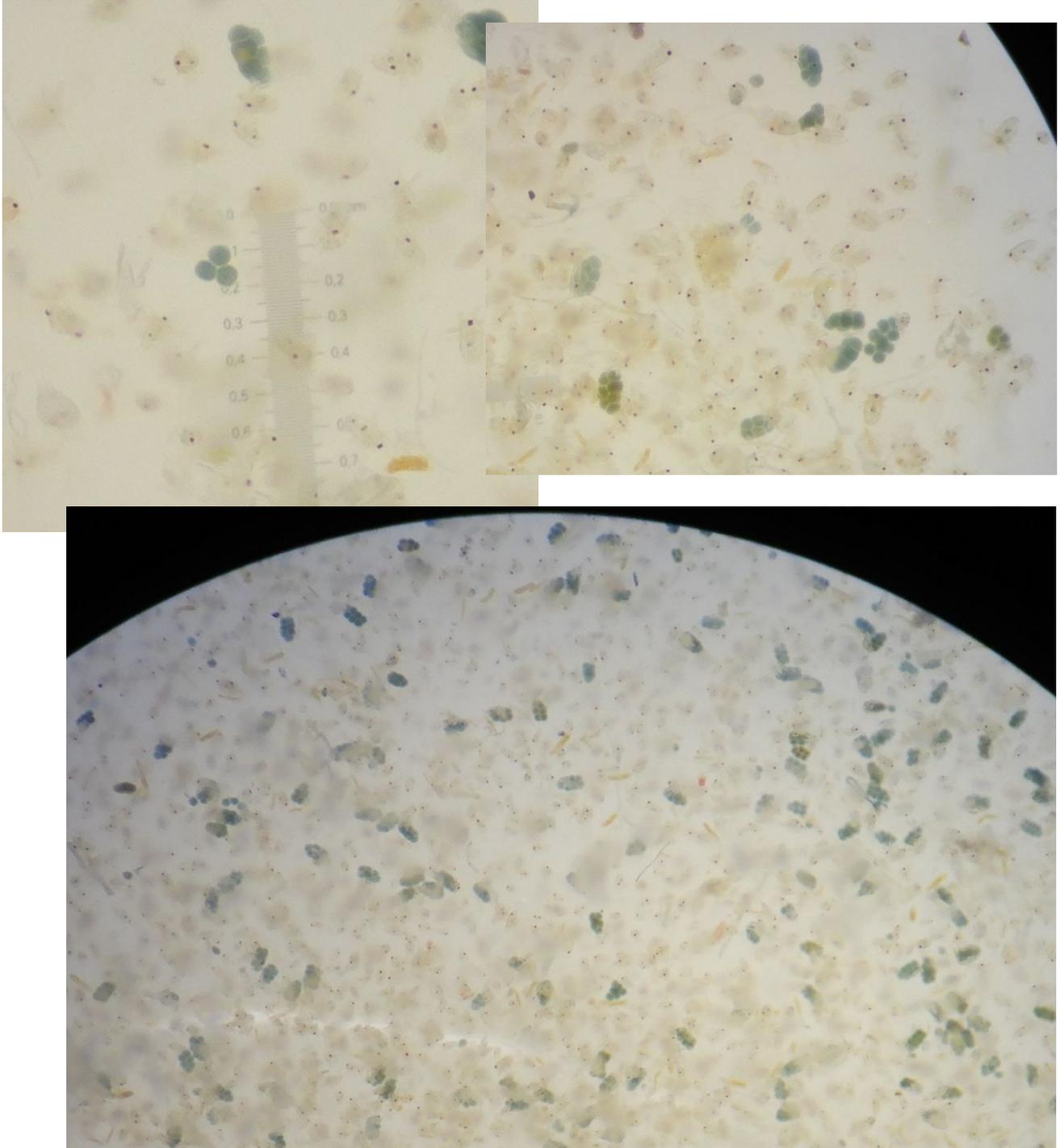


Figure 25-26-27: nauplii et œufs de copépodes *Oithona*

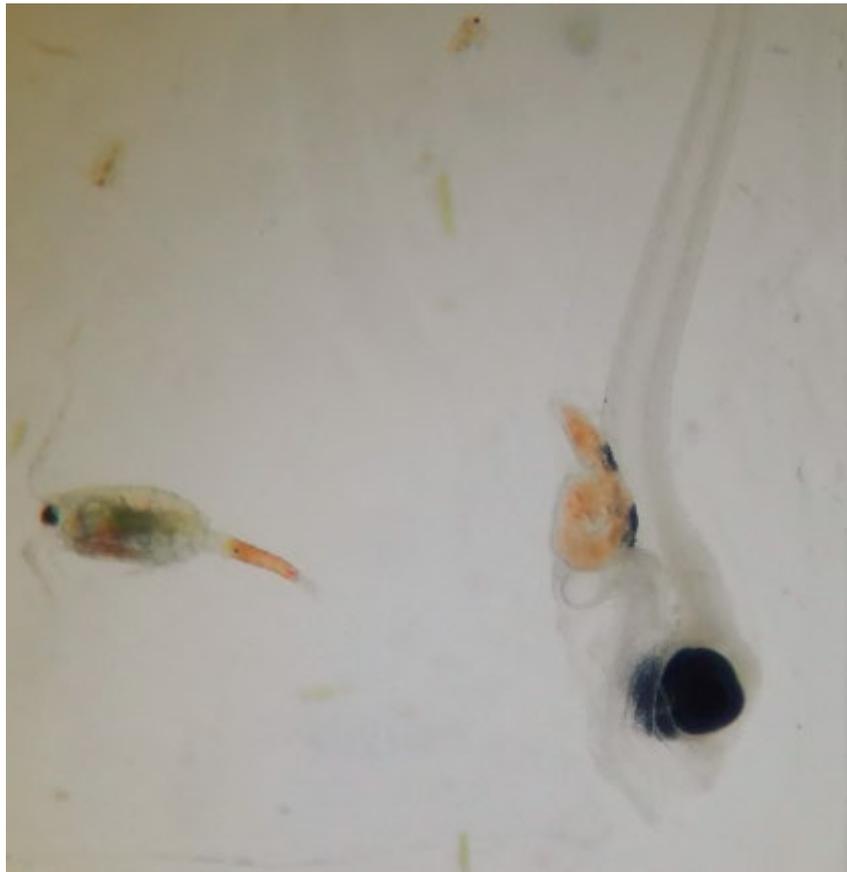


Figure 28 : larve de Marava ayant consommé des nauplii de copépodes



Figure 29 : larve de Paraha Peue ayant consommé des nauplii de copépodes



Figure 30 : dissection du tube digestif d'une larve de Paraha Peue en cours de métamorphose

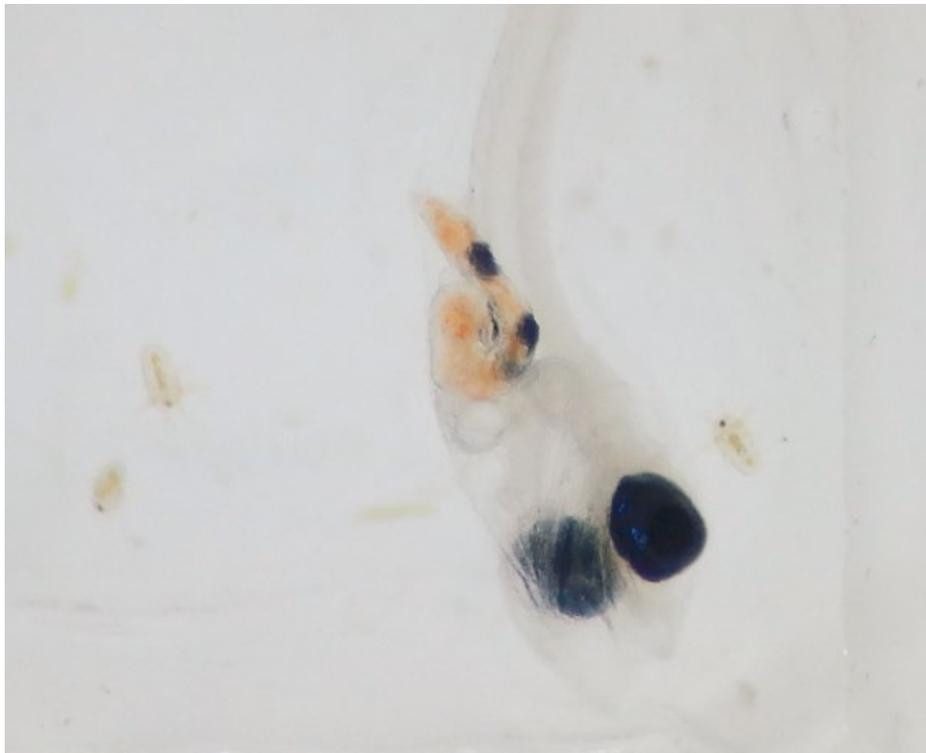


Figure 31 : larve de Paraha Peue et nauplii de copépodes



Figure 32 : tests alimentaires sur *Oithona*



Figure 33 : stockages temporaires de copépodes en bassin de 4m³ avec apport de microalgues



Figure 34 : récolteur à nauplii pour stockage de copépodes



Figure 35 : récolteur/rinceur de 700l pour le kit de pompage mobile (pompe à membrane thermique)

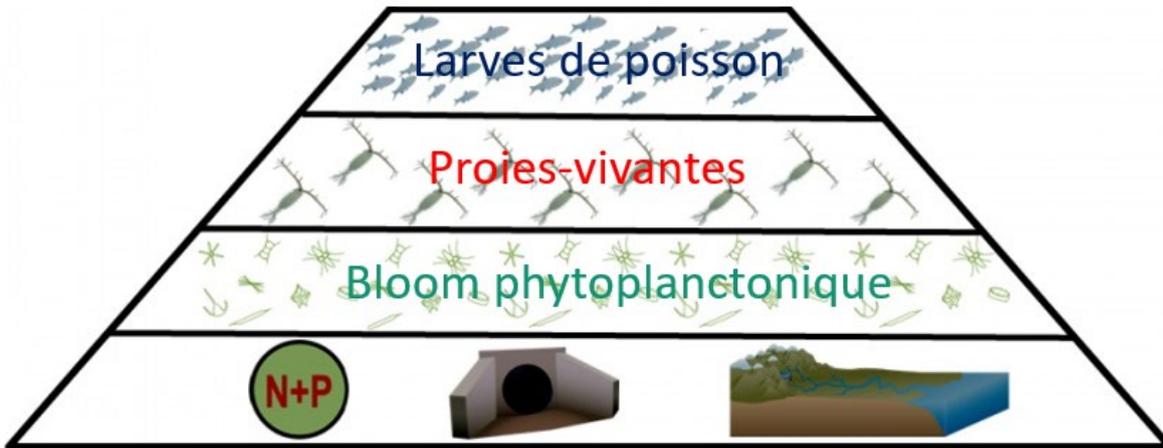


Figure 36 : les trois étages de la chaîne trophique typique d'un mésocosme

→ LE MÉSOCOSME PROTEGE TYPE

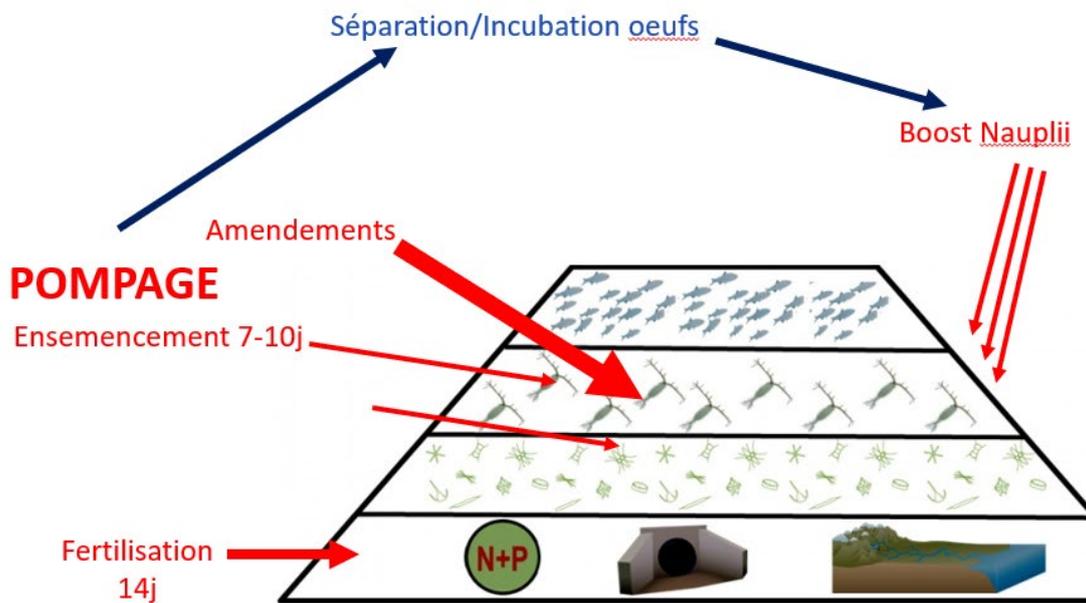


Figure 37 : le protocole schématique employé dans les mésocosmes PROTEGE 2022-2023

Période	Espèce	Volumes	Bloom	Proies-vivantes
11/2020	Marava	300l x 8	Salle d'algues	Rotifères, Copépodes
12/2020	Marava	300l x 8	salle d'algues	Nauplii exogènes, Rotifères
12/2020	Marava	300l x 8	eau claire	Aliment crevette <u>microencapsulé</u>
01/2021	Marava	4m ³ , 300l x 4	Salle d'algues	Copépodes + Nauplii exogènes
02/2021	Marava	4m ³ , 300l x 6	Salle d'algues	Copépodes + Nauplii exogènes
04/2021	Marava	300l x 8	Salle d'algues	Nauplii exogènes/Rotifères/Ciliés
04-05/2021	Paraha Peue	4m ³ x2, 7m ³ , 300l	Salle d'algues/PA/Bloom naturel	Copépodes, Rotifères
06/2021	Marava	4m ³ x2, 7m ³ , 300l	Salle d'algues	Copépodes, Nauplii exogènes, Rotifères, Ciliés
03/2022	Marava	4m ³ x2, 300l	<i>Nannochloropsis</i> extérieure	Copépodes, Nauplii exogènes, Rotifères
03-04/2022	Paraha Peue	Tarpaulin 12m ³ x 2	Bloom naturel/PA	Copépodes, Rotifères
04/2022	Marava	50l-300l	eau claire	Trochophores de <i>Saccostrea cucullata</i>
05/2022	Marava	50l-300l	pâte d'algues	Trochophores, Rotifères
05-06-2022	Marava	50l-300l	Salle d'algues	Trochophores, Rotifères, Nauplii issus d'œufs, Ciliés
04/2022	Marava	Tarpaulin 12m ³ x 2	Bloom naturel	Copépodes, boost nauplii
05-06/2022	Marava	Tarpaulin 12m ³ x 2	Bloom naturel	Copépodes, boost nauplii
06/2022	Marava	4m ³ x2, 300l	<i>Nannochloropsis</i> extérieure, bloom naturel	Copépodes, boost nauplii, ciliés, trochophores
07/2022	Paraha Peue	Tarpaulin 12m ³ x 2	Bloom naturel/PA	Copépodes, Rotifères
07/2022	Paraha Peue	Tarpaulin 12m ³ x 2	Bloom naturel/PA	Copépodes, Rotifères
03/2023	Paraha Peue	Bassin-terre 400m ³	Bloom naturel	Copépodes
05/2023	Paraha Peue	Bassin-béton 16m ³	Bloom naturel	Copépodes
07/2023	Paraha Peue	Bassin-terre 400m ³	Bloom naturel	Copépodes

Figure 38 : essais larvaires réalisés

Année	Volume m ³	Type	Protocole	Survie %	Productivité (alevins/m ³)	m ³ requis 10 000 alevins
2021	4	bac	semi-intensif	5,00	250	40
2021	7	bac	mésocosme	<1	14	714
2022	12	tarpaulin	semi-intensif	1,17	117	85
2023	14	Bassin-béton	mésocosme	1,00	114	88
2023	400	Bassin-terre	mésocosme	<1	0,4	25000
2023	400	Bassin-terre	mésocosme	<1	0,375	26667

Figure 39 : essais Paraha Peue, volume requis pour produire 10000 alevins sans amélioration de la survie



PROTeGe

PROJET RÉGIONAL OCÉANIC DES TERRITOIRES
POUR LA GESTION DURABLE DES ÉCOSYSTÈMES