

te reko pārau

Mai 2022 - N°24



LE JOURNAL DES PROFESSIONNELS
DE LA FILIÈRE PERLICOLE



DIRECTION DES
RESSOURCES MARINES
PU FA'AHOTU MOANA



ÉDITO

03

POINT D'ÉTAPE

Recherche, innovation et valorisation, avancées et bilan à 2021

04 - 06

PRÉSERVATION DU MILIEU

L'après Vaitiā

08 - 12

Les microplastiques menacent la perliculture

13 - 15

Vers la réduction des déchets plastiques produits par l'activité de collectage

16 - 18

Le projet MANA (2017 - 2022) et ses avancées

19 - 22

AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ

La couleur des perles décodée, un pas de plus vers des performances améliorées

24 - 25

Vers la "perle blanche de Tahiti" ?

26 - 27

Soutien au développement concerté de programmes d'améliorations génétiques des lignées d'huîtres perlières

28 - 30

Maintenir la qualité du greffon pour obtenir des perles de valeur

31 - 34

Point de belles perles sans nucléus propre et de qualité !

35 - 37

Contrôle et valorisation des perles de culture de Tahiti

38 - 40

DIVERSIFICATION

La production combinée de mabé, keshi et perle à partir de l'huître perlière

42 - 43

Diversification et valorisation de la filière nacre en Polynésie française

44 - 46

Une formation à la greffe des perles blister (mabé) à Takapoto

47 - 49

PERSPECTIVES

Recherche, innovation et valorisation, perspectives pour les 5 prochaines années

50 - 51



C'est avec beaucoup de plaisir que la Direction des ressources marines vous présente ce vingt-quatrième numéro de notre journal d'information dédié à la filière perlicole, plus de neuf ans après le dernier numéro et près de trente ans après le premier numéro*.

C'est au cours des ateliers de travail qui se sont tenus en marge du Conseil de la Perliculture en novembre dernier que vous avez exprimés le souhait de voir renaître ce support. L'enjeu que vous avez soulevé était avant tout de partager de l'information et notamment de transférer les résultats des travaux menés par la Direction des ressources marines et ses partenaires pour accompagner votre filière.

Ce nouveau numéro met donc en avant les activités de Recherche et Développement de la Cellule Innovation et Valorisation de la Direction des ressources marines. L'histoire de la perliculture est en effet intimement liée à la recherche et son développement est jalonné de découvertes clés et de maîtrises de nouvelles techniques.

Avec l'accélération des progrès technologiques, notamment dans des domaines tels que l'électronique, l'informatique ou la génétique, les champs d'intervention se sont incroyablement diversifiés et les applications possibles se multiplient. Promouvoir la veille scientifique, orienter les recherches et soutenir l'innovation sont donc des missions permanentes de la Direction des ressources marines avec un objectif clair de valorisation et de transfert vers la filière.

Vous trouverez donc dans ce numéro différents articles rédigés par les agents de la Direction des ressources marines et par nos partenaires scientifiques. Certains des résultats présentés sont directement transférables et pourront par exemple être intégrés dans les futurs référentiels de formation.

D'autres permettent d'éclairer les décideurs sur les bonnes actions à mener à court terme, souvent pour préserver un potentiel à long terme. Enfin, d'autres sont des pistes, des opportunités qui attendent une prise en main par des porteurs de projets ou un partenariat public-privé.

Toutes ces solutions et tous ces résultats mettent cependant en avant la nécessité de préserver la ressource sauvage et en premier lieu, la santé de nos lagons, seul moyen de garantir une perliculture durable. Il est important de rappeler que la science ne pourra pas apporter toutes les solutions et que ce sont d'abord les pratiques, les comportements et finalement la volonté collective de bien faire qui détermineront l'avenir de cette filière.

Cédric PONSONNET

Directeur de la Direction des Ressources marines

**Tous les précédents numéros de Te Reko Parau sont disponibles en téléchargement à l'adresse suivante : <http://www.ressources-marines.gov.pf/cdi/te-reko-parau/>*

POINT D'ÉTAPE "RECHERCHE INNOVATION & VALORISATION 2021"

LES DIFFÉRENTES ORIENTATIONS DES PROGRAMMES DE RECHERCHE INNOVATION & VALORISATION MIS EN ŒUVRE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE PERLICOLE DE POLYNÉSIE FRANÇAISE : POINT D'ÉTAPE 2021

La perliculture est le fruit de travaux de recherches initiés au début du XX^e siècle par des scientifiques Australiens et Japonais notamment. En Polynésie française, on doit son développement au Dr DOMARD ancien chef du service de la pêche qui fit appel à un technicien japonais MUROI, formé à l'Université des Sciences Marines de Tokyo. La recherche dans le domaine de la perliculture en Polynésie française a été initiée suite à des épisodes de fortes mortalités d'huîtres perlières intervenue en 1985 et c'est en 1990 que le Programme Général de Recherche sur la Nacre (PGRN) a été mis en place par le Pays, l'Etat et l'Union Européenne. De nos jours, il est devenu vital de mener une stratégie de développement durable de la filière perlicole en Polynésie française.

« Ensemble...

Préservons notre environnement

Gérons notre ressource en huîtres perlières

Organisons de manière optimale la filière

Valorisons nos produits perliers

...œuvrons pour une perliculture durable »



Suite aux recommandations du PGRN en 1992-1999 et après consultation lors de différents évènements publics des professionnels de la filière, 3 grands axes stratégiques ont été identifiés avec leurs objectifs :

1. LA GESTION DE LA RESSOURCE : “Pérenniser la ressource en huîtres perlières”

2. LA GESTION DE LA PRODUCTION : “Tendre vers des exploitations économiquement viables”

3. LA GESTION DE LA COMMERCIALISATION : “Accroître les exportations des produits perliers et mieux structurer le marché local”

Depuis, de nombreux programmes regroupant des organismes de recherche et des scientifiques du monde entier ont apporté leur soutien à la filière perlicole autour du modèle de l’huître perlière, *Pinctada margaritifera*. Ces compétences sont extrêmement diversifiées et impliquent des experts dans des domaines aussi variés que l’écologie, la biologie, la génétique, l’informatique, la chimie, la physique des matériaux... Des chercheurs impliqués, bien sûr, mais aussi des industriels ou société privées qui apportent leurs produits, outils technologiques et compétences pour participer à l’innovation et au transfert technologique.

Tout comme les acteurs de cette recherche, les sources de financement sont aussi diversifiées et proviennent du Pays, de l’Etat dans le cadre de contrat de projet et de l’Europe dans le cadre du FED (Fig. 1). La recherche de financements extérieurs a permis de rassembler autour de la thématique “huître perlière”, les meilleurs spécialistes et ainsi obtenir des financements spécifiques (Ministère Outre-mer, Agence Nationale de la Recherche, Délégation à la recherche, financement d’entreprises privées).

Évolution du budget R&D depuis 2013

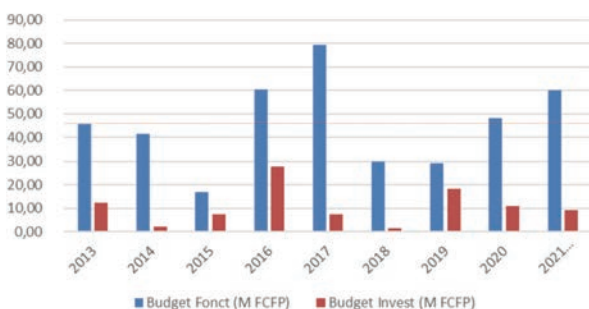


Figure 1 - Évolution du budget de la Direction des ressources marines pour la Recherche et le Développement (R&D) en perliculture de 2013 à 2021

La recherche en perliculture a débuté par une phase d’acquisition de connaissance pluridisciplinaire sur le modèle huître perlière *Pinctada margaritifera*.

À partir de 2003, des programmes plus ciblés pour leurs applications directes ont été financés et mis en œuvre avec la collaboration des professionnels notamment ceux dédiés à l’amélioration de la qualité des perles (zootechne, élevage larvaire, domestication, sélection, analyse microstructurale...).

En 2011, suite à la création de la Direction des ressources marines issue de la fusion entre le service de la perliculture et le service de la pêche, la cellule sanitaire & environnement a vu le jour et a pris en charge la thématique de prévention des risques sanitaires et écologiques.

Depuis 2013, nous avons abordé une période d’application de ces résultats multidisciplinaires avec le soutien direct des professionnels qui s’engagent non seulement en termes de mise à disposition de moyens matériels et humains, mais aussi financièrement.

Puis, finalement à partir de 2017, la thématique dédiée à la gestion et au suivi de l’environnement perlicole et aquacole s’est trouvée renforcée par de nouveaux effectifs humains dédiés.

Des premiers programmes de recherche en 1992 à aujourd’hui, une très grande diversité de thèmes de recherche et d’innovation ont été abordés en fonction de l’évolution des besoins et priorités de la filière perlicole (Fig. 2).

Synthèse et perspective des collaborations de recherche



Figure 2 - Des axes de recherche innovation diversifiés et des outils innovants

1. Afin de préserver le milieu et les huîtres perlières, deux axes de recherches majeurs visent à atteindre :

- la pérennisation du collectage naturel :

grâce à l'évaluation des stocks de géniteurs naturels, à la modélisation du déplacement des larves dans les lagons pour une meilleure compréhension spatio-temporelle des zones de collectage naturel (1 *article Andrefouet*), la définition de stratégies de réensemencement de stocks de géniteurs sauvages, l'étude de l'environnement lagonaire de Takaroa et Takapoto afin de comprendre pourquoi le collectage n'a pas repris à Takaroa, et mieux comprendre les interactions entre les naissains d'huîtres *P. margaritifera* et de pipi *P. maculata* lors du collectage,

- la préservation de l'environnement :

en essayant de mieux comprendre les phénomènes d'efflorescences algales (vaitia) (1 *article Lo Yat*), améliorer les connaissances sur le lien entre l'activité des fermes et la qualité de l'eau du lagon, ainsi que les facteurs environnementaux influençant la qualité des perles, un meilleur suivi de l'environnement grâce à la création du "Réseau d'observation des lagons de Polynésie" (RESOLAG), en étudiant le comportement des huîtres par l'enregistrement et l'analyse du mouvement des valves, en évaluant l'impact des plastiques (macro et micro) (1 *article Gardon*), et en réduisant l'impact des plastiques sur nos lagons par la recherche de matériaux de substitution, notamment pour les collecteurs (1 *article Cruzot*).

2. Pour accroître les performances économiques des fermes perlières, nous avons développé 2 axes de recherches qui permettront :

- d'augmenter le ratio de perles commercialisables : Amélioration des performances pratiques et génétiques, qualité des nucléus (1 *article Lo*) et enrobages biosourcés, sélection des nacres, analyses microstructurales (1 *article Cuif*), pratiques de zootechnie et de greffe, approvisionnement des producteurs en huîtres perlières génétiquement améliorées issues d'écloseries, mise à disposition d'outils de contrôle automatisés de la qualité des perles pour une meilleure valorisation commerciale.

- d'approvisionner les producteurs en huîtres perlières génétiquement améliorées en écloseries : les programmes de R&D dédiés sont développés en collaboration avec des organismes de recherche (Ifremer et CNRS) et à présent avec l'appui aux entreprises pour le développement de programmes de sélections rationnelles par l'intermédiaire du SYSAAF (Syndicat des Sélectionneurs Aquacoles et Avicoles Français). (1 *article Haffray*).

La mise en place des outils et techniques contribuera :

- à sécuriser l'approvisionnement des professionnels en matière première (huîtres perlières) de manière pérenne en complément ou en soutien au collectage naturel de naissains,

- à optimiser la productivité de la filière par la mise à disposition de **techniques innovantes de production**,

- à permettre l'utilisation de **lignées génétiquement sélectionnées** répondant aux critères d'intérêt commercial dans le but d'améliorer la qualité des perles,

- à préserver voire réhabiliter et valoriser les **caractéristiques génétiques spécifiques** aux différents archipels qui composent la Polynésie française.

3. Pour sécuriser l'approvisionnement en nucléus et valoriser des produits 100% locaux, nous avons développé un axe de recherche qui permettra d'encourager la production locale de nucléus à partir de nacre de *P. margaritifera*, d'enrobage et de perles blister 100% biosourcés.

4. Pour améliorer l'offre de produits issus de la filière perlicole, nous avons développé depuis 2020 un axe de recherche afin d'encourager la diversification et une valorisation des produits de la "nacre". Cette filière historique a un potentiel important de développement, bien sûr, au niveau de l'amélioration de la qualité des nacres pour l'artisanat d'art mais aussi par l'intermédiaire de programmes de recherche spécifiques innovants et de formations dédiées qui sont abordés dans ce numéro (2 *articles Tuira & De Villèle*).

5. Pour mieux structurer l'offre à l'export des perles brutes, nous avons développé 2 axes de recherche afin :

- d'améliorer les moyens techniques de contrôle de la qualité des produits perliers, notamment en améliorant les performances du logiciel de contrôle automatisé de la qualité des perles mais aussi en automatisant le comptage des perles à haut débit (*article Loesdau*),

- de mettre en place un procédé de certification de la qualité des perles de culture de Tahiti en prospectant les outils et technologies disponibles dans une démarche de protection et de valorisation (marquage physique ou chimique des perles).

Remarques : Ces programmes participeront à la *segmentation des produits perliers qui pourront conduire au développement pour la Polynésie française de produits labélisés et/ou certifiés tels que les "Avaiki pearls des Iles Cook" valorisant ainsi "Les plus belles perles de culture de Tahiti" selon des critères biens définis (qualité et CdC strict).*

Les acteurs de cette recherche, coordonnée par la DRM, sont l'Ifremer, l'UPF, le CRIOBE - CNRS, l'IRD et certains laboratoires privés localement ainsi que d'autres universités et compétences en France et dans le monde. Depuis 2020 le Syndicat des sélectionneurs aquacoles et avicoles français (SYSAAF) apporte également son expertise et accompagne la DRM et les écloseries privées intéressées pour la mise en place d'une sélection rationnelle pour la filière.

Dr. Cédrik LO (DRM)



PRÉSERVATION DU MILIEU



LES LAGONS SONT DES MILIEUX FRAGILES

L'APRÈS VAITĪA...

Le vaitĭa ou les eaux colorées qui inquiètent ! Les perliculteurs de Takapoto et plus récemment ceux de Takaroa s'en souviennent. Les chercheurs vous en parlent et vous saurez pourquoi il faut s'en méfier. Ils révèlent aussi comment les huîtres perlières continuent à être impactées par ce phénomène naturel quelques années après son passage dévastateur.



Photo 1 - Le vaitĭa est une prolifération du phytoplancton. Dans les eaux du lagon, le phénomène se traduit par des eaux très colorées qui peuvent être très localisées et brèves comme au premier plan de la photo - © A. Lo-Yat

**“CELA A DURÉ AU MOINS UN AN !
LE LAGON ÉTAIT TOUT VERT ET JAUNE,
JE N'AVAIS JAMAIS VU UN VAITĪA AUSSI
INTENSE ET AVEC UNE TELLE DURÉE !”**

s'exclame Tonohia Hauata, un des rares perliculteurs encore présents à Takaroa, après l'épisode monstre d'efflorescence algale (vaitĭa en paumotu) vécu sur l'atoll en 2013-2014. Les algues microscopiques (100 à

200 fois plus petit qu'un millimètre) qui constituent le phytoplancton peuvent en effet se multiplier subitement et proliférer jusqu'à atteindre de très fortes concentrations qui expliquent la coloration intense des eaux habituellement assez claires du lagon (voir photos 1 et 2). Le plus souvent, les vaitĭa sont brefs et localisés dans certaines parties du lagon, si bien que personne ne s'en aperçoit vraiment. A Takaroa, le phénomène a atteint des proportions hors du commun puisque les



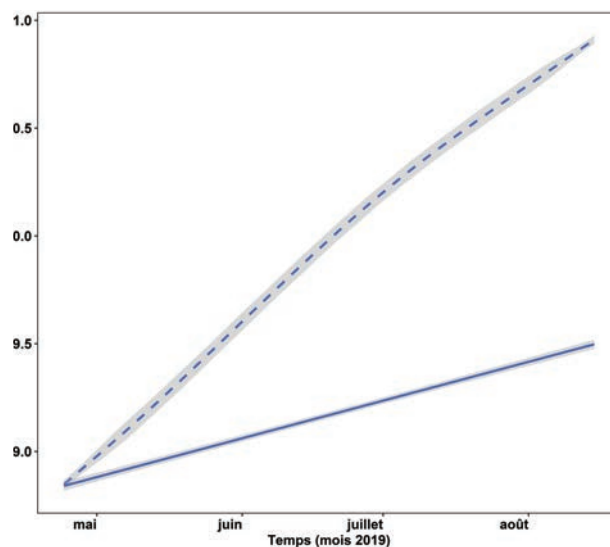
Photo 2 - Vaitia composé d'amas de cyanobactéries filamenteuses du genre *Trichodesmium*. Le phénomène a été photographié par T. Hauata à Takaroa en février 2021. Cette efflorescence algale, localisée en bordure de plage, a été de faible ampleur contrairement au vaitia de 2014 dont les espèces de phytoplanctons incriminées ne sont toujours pas connues, principalement à cause de l'absence de prélèvement correctement conservé - © T. Hauata

eaux colorées s'étaient vues sur l'ensemble du lagon, à toutes les profondeurs et surtout, pendant une durée exceptionnellement longue. Plusieurs éléments peuvent en être responsables. "Les proliférations de phytoplancton sont probablement liés aux conditions hydroclimatiques autour de l'atoll. Un temps calme ou sans vent, surtout durant la saison chaude fait que le renouvellement de l'eau du lagon est moins actif. Dans le cas d'atolls fermés (Takapoto) ou semi-fermés (Takaroa), des conditions de vagues de faibles hauteurs peuvent mener à l'isolation du lagon et les vents faibles ou absents peuvent arrêter la circulation de l'eau, menant à la stratification de la colonne d'eau. Cette situation favorise l'isolation des couches d'eau de subsurface de la zone d'au-dessus, où se font les échanges air-eau. Cette situation mène rapidement à l'anoxie, c'est-à-dire à un manque d'oxygène dans les couches d'eau isolées. Et si après une longue période de calme survient un évènement de forte énergie comme des vents forts ou de la houle et des grosses vagues, il y a alors de fortes chances que les nutriments accumulés au fond du

lagon se retrouvent dans la colonne d'eau du fait du fort brassage", explique Serge Andréfouët, chercheur à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et familier de l'étude des lagons du fenua. Il est ainsi facile d'imaginer la suite. Les sels nutritifs libérés dans le lagon agissent comme de l'engrais qui va favoriser la multiplication et la croissance très rapide des algues microscopiques à grande échelle, c'est le début du vaitia. Le phytoplancton est la nourriture naturelle des filtreurs bivalves comme l'huître perlière *Pinctada margaritifera*. Cependant, le trop plein de microalgues crée un environnement de vie peu propice au bon développement des bivalves d'autant plus que certaines espèces de phytoplancton proliférantes peuvent potentiellement contenir des toxines marines. "Les huîtres sont asphyxiées par l'excès de phytoplancton et certaines espèces calcaires ou siliceuses peuvent même créer des lésions au niveau des branchies des bivalves", précise Martine Rodier, spécialiste des microalgues à l'IRD.

PANNE DE CROISSANCE

A Takaraoa, les conséquences ont été catastrophiques puisque la majorité des perliculteurs ont dû arrêter leur activité après 2014. "Le collectage du naissain ne fonctionnait plus. Les collecteurs que nous avons mis à l'eau étaient quasiment vides. Certains perliculteurs ont vu beaucoup de leurs nacres mourir durant le vaitia. Aujourd'hui encore, 6 ans après, le collectage n'est pas aussi fort qu'avant le vaitia mais heureusement que les nacres que nous avons, réussissent à croître et donnent encore des perles", explique Tonohia Hauata avec espoir. Dans le cadre du programme ANR MANA, l'Ifremer et l'IRD ont ausculté la situation à Takaraoa en 2019 en suivant durant un an la croissance et la reproduction des huîtres perlières. "Nos mesures ont montré qu'il n'y a pas eu de mortalité et que les animaux suivis ont pu grossir et se reproduire durant la durée de l'étude. Cependant, nous avons constaté que la croissance des adultes était extrêmement faible, jusqu'à plus de deux fois moins que le taux de croissance rapporté par d'autres études à Ahe ou à Takapoto" révèle Cristián Monaco, écophysiologiste à l'Ifremer. "Nous avons également simulé la croissance théorique de *Pinctada margaritifera* à partir des données de chlorophylle-a (un indicateur de la concentration en phytoplancton) et de température du lagon mesurées par nos instruments tout au long de l'étude. Le modèle physiologique DEB (dynamic energy budget) a aussi montré que les huîtres ont moins grossi qu'en situation standard. Plusieurs hypothèses explicatives : les températures étaient normales et la nourriture était abondante, mais



Graphie 3 - Le suivi réalisé par l'Ifremer de février à novembre 2019 a montré que la croissance réelle de la longueur de coquille des huîtres perlières mesurées à Takaraoa (courbe pleine) était inférieure à la croissance théorique calculée (courbe en pointillés) . si les animaux avaient été en pleine forme. Les spécialistes utilisent pour cela un modèle de croissance "dynamic energy budget (DEB)". Les chercheurs suspectent que le vaitia géant survenu 5 ans avant soit toujours responsable de cet état - © C. Monaco

peut-être que les espèces de phytoplancton que préfère l'huître ne sont pas présentes, même quelques années après le vaitia ?", suspecte le chercheur. Pour ceux qui s'en souviennent (voir encadré **Déjà un épisode catastrophe à Takapoto**), le scénario vécu par la toute proche Takapoto semble se répéter...

Dr. Alain LO-YAT
(Ifremer)

Déjà un épisode catastrophe à Takapoto

1985 est une date qui marquera l'atoll de Takapoto. Une mortalité massive des organismes vivants dans le lagon a provoqué l'arrêt net de la perliculture, alors que cette activité y était à son plus fort. Premier véritable coup de semonce vécu par les perliculteurs polynésiens, à tel point que le gouvernement de l'époque a décidé de financer le programme général de recherche sur la nacre (PGRN) piloté dans les années 90

par l'EVAAM (l'équivalent de la DRM d'aujourd'hui). Les recherches n'ont pas trouvé de maladie ou de parasite qui auraient pu expliquer le crash écologique de Takapoto. La grégarine, un parasite de l'appareil digestif des huîtres perlières, a bien été détectée mais pas en nombre suffisant pour décimer tout un cheptel. Alors les chercheurs ont suspecté une crise dystrophique, un trouble de la nutrition et du développement des organismes du lagon, sans doute après un épisode de vaitia, comme celui survenu en 2014 à Takaraoa. "Dans le

cadre de nos recherches à Takaroa en 2019 (voir l'article), nous avons également examiné au microscope des prélèvements de l'appareil digestif et reproducteur de l'huître perlière. Ces échantillons sont ceux archivés par la DRM depuis 2003 pour son réseau de veille sanitaire. Nous avons eu de la chance de retrouver des prélèvements faits en 2014, à l'époque du vaitiā spectaculaire de Takaroa. Et effectivement, nous avons observé que les glandes digestives étaient complètement vides en 2014 et 2015, puis pleines à seulement 60% en 2019" précise Cristian Monaco, chercheur à l'Ifremer.

Paradoxalement, le trop plein de phytoplancton de 2014 a donc en réalité affamé les huîtres perlières. Incapable de se nourrir correctement, les animaux ont utilisé leurs réserves contenues dans la glande digestive, jusqu'à épuisement. Après une telle crise, la reprise et le retour à la normale sont très lents à cause des profonds déséquilibres causés par un vaitiā, à la fois dans la chaîne alimentaire de tout le système lagonaire mais aussi par la reconstitution lente du stock naturel de reproducteurs, eux-aussi éradiqués par le vaitiā. Finalement, Takaroa et Takapoto, c'est sans doute une histoire qui se répète, malheureusement.

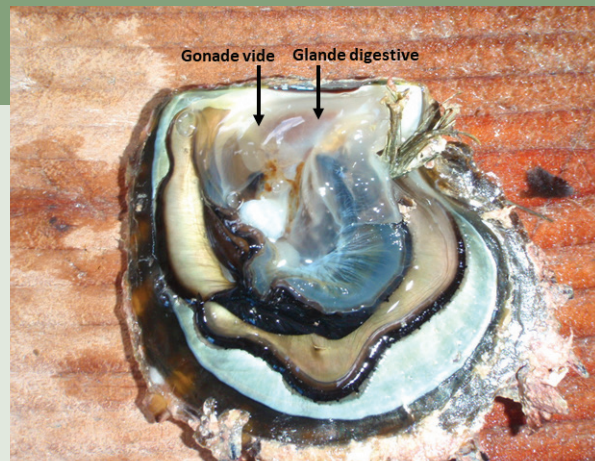


Photo 4 - Les huîtres perlières de Takaroa examinées au cours du vaitiā de 2014, avaient l'appareil reproducteur (ou gonade) vide, si bien que la glande digestive sous-jacente se voyait par transparence. Après examen au microscope, Angélique Fougerouse-Tsing de la DRM a trouvé les glandes digestives également vides (voir photo 5). Le bivalve affamé n'a pas pu reconstituer, ni sa réserve d'énergie, ni son stock de cellules reproductrices - © A. Fougerouse-Tsing

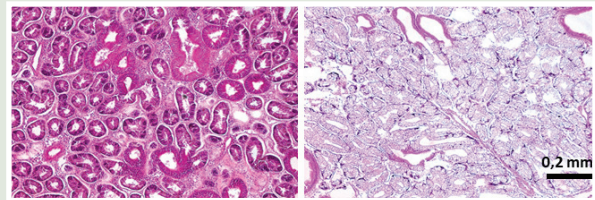


Photo 5 - Voici à quoi ressemble au microscope les structures cellulaires de la glande digestive des huîtres perlières. À gauche, la glande est pleine lorsque les animaux se nourrissent normalement. À droite, la glande s'est vidée. Cause probable : le vaitiā a empêché l'huître perlière de se nourrir - © Ifremer/DRM

Pour que Takapoto ne perde pas son MANA

Le projet MANAgeMENT of atolls (avec l'acronyme MANA) est un programme de recherche financé par l'agence nationale de la recherche (ANR) et la DRM. Il est piloté par l'IRD (UMR ENTROPIE). Les recherches sont consacrées quasi exclusivement au développement d'outils de gestion des lagons perlicoles. "L'Ifremer collabore avec l'IRD et la DRM pour étudier la dispersion des larves d'huîtres perlières, la dynamique du collectage de naissains, la croissance et la reproduction des adultes. Dans ce contexte, nous devons aussi nous intéresser à caractériser les lagons perlicoles, mesurer les températures, les teneurs en phytoplancton et zooplancton, les concentrations en sels nutritifs.

Ces données sont utiles pour comprendre le fonctionnement des différents lagons" explique Alain Lo-Yat de l'Ifremer. "Avec ma collègue Martine Rodier de l'IRD, nous allons effectuer plusieurs missions à Takapoto pour faire toutes ces mesures. Le lagon de Takapoto a connu une grave crise en 1985, puis une traversée du désert qui a duré plusieurs années avant de redevenir depuis 2012 très propice au collectage et à l'élevage des huîtres perlières. Aujourd'hui, le lagon est de nouveau très chargé en nacres et nous avons des craintes pour l'avenir. Nos mesures permettront ainsi de faire un état des lieux et de tirer la sonnette d'alarme si nous observons des valeurs anormales". Un minimum à entreprendre du côté des scientifiques pour que Takapoto ne perde pas son mana.

Le vaitia n'a pas livré tous ses mystères

Dans notre article, l'explication de l'apparition du vaitia de Takaroa pourrait être proche de celle de Hikueru en 1994 où la faune a tout autant été décimée.

“C'est un mécanisme probable mais pas confirmé à Hikueru ou ailleurs. En effet, les chercheurs arrivent le plus souvent trop tardivement après qu'un vaitia ait été signalé, si bien que le phénomène a déjà disparu. Pour Takaroa en 2014, ce qui est surprenant, c'est la durée

inhabituellement longue du vaitia et ça, nous ne savons pas encore l'expliquer” s'étonne Serge Andréfouët.

Et de rajouter “Attention, les vaitia peuvent apparaître aussi dans des lagons ayant des passes. En effet, nous savons que les passes ne renouvellent rapidement que les eaux des zones proches de celles-ci. Plus loin, les eaux peuvent être stagnantes, notamment si le vent, la houle ou les hoa actifs sont absents. Dans ces conditions, un vaitia peut survenir”.

Découverte récente à Takaroa

Après le vaitia géant de 2014, les habitants de Takaroa sont sur le qui-vive. La moindre anomalie sur le lagon est source d'inquiétude. “En février 2021, j'ai d'abord été alerté par une forte odeur venant de la plage, près de chez moi. J'ai pensé à une pollution chimique ou en hydrocarbure. En m'approchant du rivage, j'ai découvert la mer colonisée par une matière épaisse de couleur marron” se souvient Tonohia Hauata (voir photo 2). Avec les bons réflexes, le perliculteur a prélevé cette eau dans une bouteille plastique en y ajoutant un peu de formol que les scientifiques lui avaient laissé pour éviter que l'échantillon ne se décompose. “L'observation que j'ai faite au microscope montre qu'il s'agit en majorité de *Trichodesmium erythraeum*, une cyanobactérie filamenteuse qui forme des amas dans le lagon quand elle prolifère. Ces organismes phytoplanctoniques

dégagent effectivement une forte odeur quand ils s'accumulent en surface et se dégradent. Ces cyanobactéries ont la particularité d'être diazotrophes, c'est-à-dire qu'elles sont capables de transformer l'azote N₂, présent en grande quantité dans l'atmosphère et la mer (une ressource inépuisable), en ammonium NH₄⁺, une autre forme d'azote qu'elles assimilent pour produire leurs protéines et croître. Ces diazotrophes ont alors un avantage sur les autres organismes phytoplanctoniques qui ne peuvent utiliser que l'ammonium ou le nitrate par exemple. Or ces deux dernières formes d'azote sont souvent en faibles quantités dans les lagons”, explique Martine Rodier de l'IRD. À titre de comparaison et du côté des végétaux terrestres, les légumineuses (soja, haricot, acacia, etc.) sont elles aussi diazotrophes et sont bien connues pour enrichir le sol en azote, tel un engrais naturel.

Pour en savoir plus

Les travaux cités dans l'article font références à des publications scientifiques. Pour ceux qui souhaiteraient connaître le détail des résultats, voici les références de ces articles :

- Andréfouët, S., Dutheil, C., Menkes, C. E., Bador, M., Lengaigne, M. (2015). Mass mortality events in atoll lagoons: environmental control and increased future vulnerability. *Global Change Biology*, 21(1), 195-205.
- Monaco, C. J., Sangare, N., Le Moullac, G., Basset, C., Belliard, C., Mizuno, K., Smith, D. L., Lo-Yat, A. (2021). Dynamic Energy Budget model suggests feeding constraints and physiological stress in black-lip pearl oysters, 5 years post mass-mortality event. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112329.



MICROPLASTIQUES : UN FLÉAU QUI TOUCHE LES LAGONS DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

LES MICROPLASTIQUES MENACENT LA PERLICULTURE

*La pollution plastique du milieu marin est un enjeu mondial sur le plan environnemental, sanitaire et socio-économique. En Polynésie française, une source spécifique de déchets plastiques est associée à la perliculture dont les structures d'élevage s'accumulent dans les lagons depuis plus de 40 ans (voir Photo 1). Ce gisement de plastiques est susceptible de se dégrader sous la forme de microplastiques (particules < 5 mm) qui suscitent une grande préoccupation à cause des risques qu'ils représentent pour les organismes et les écosystèmes polynésiens. Après trois années de recherche, les scientifiques de l'Ifremer dressent un premier bilan sur la contamination en microplastiques dans les lagons perlicoles de Polynésie française et leurs impacts sur l'huître perlière (*Pinctada margaritifera*). Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet Microlag (Microplastiques dans les lagons) co-financé par l'Ifremer et la Direction des Ressources Marines.*

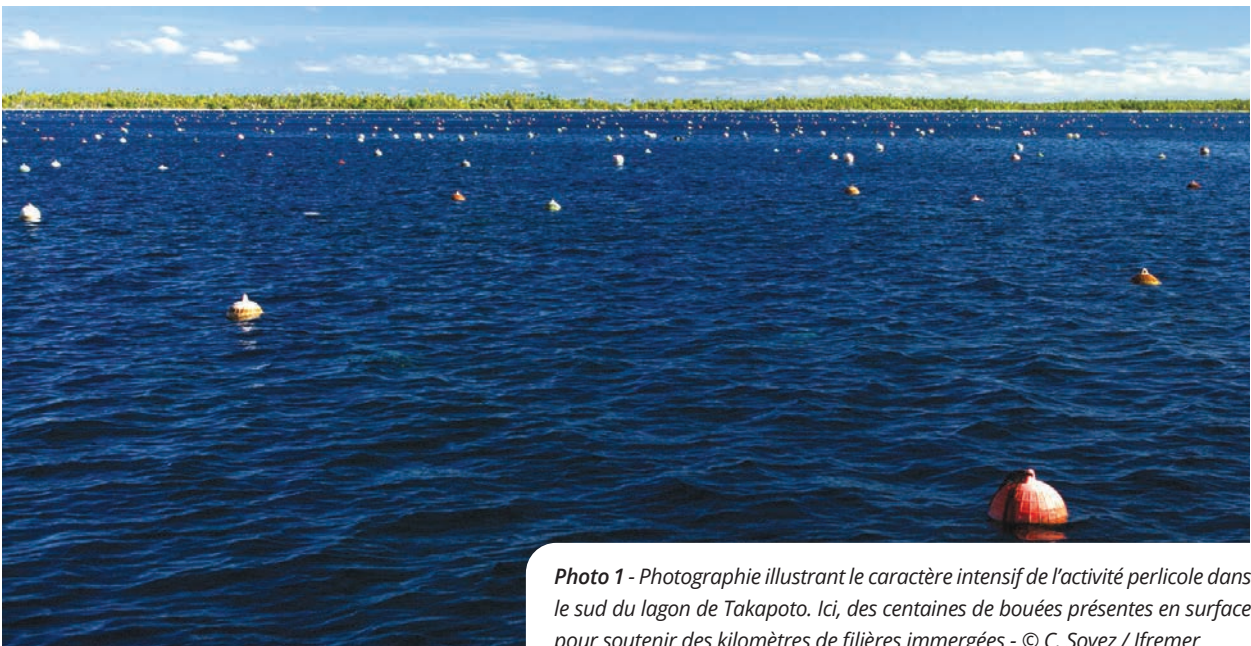


Photo 1 - Photographie illustrant le caractère intensif de l'activité perlicole dans le sud du lagon de Takapoto. Ici, des centaines de bouées présentes en surface pour soutenir des kilomètres de filières immergées - © C. Soyez / Ifremer

DES MICROPLASTIQUES OMNIPRÉSENTS DANS LES LAGONS PERLICOLES

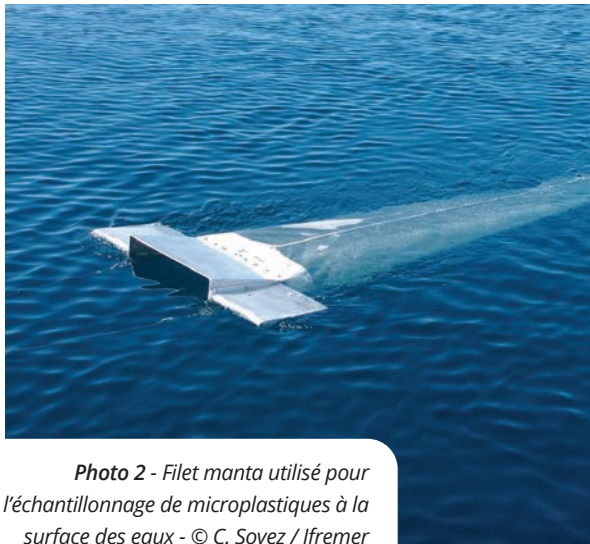


Photo 2 - Filet manta utilisé pour l'échantillonnage de microplastiques à la surface des eaux - © C. Soyez / Ifremer

Pour la première fois, une étude à grande échelle s'est attachée à évaluer la contamination en microplastiques (MP) dans trois lagons perlicoles de l'archipel des Tuamotu : Ahe, Manihi et Takaroa. Les résultats, publiés dans la revue scientifique *Journal of Hazardous Materials* (Gardon et al., 2021), révèlent l'omniprésence des MP dans les eaux de surface (de 0,2 à 8,4 MP/m³ ; Photos 2-3), la colonne d'eau (de 14,0 à 716,2 MP/m³) et les tissus d'huîtres perlières en élevage (de 0,3 à 21,5 MP/g de chair humide). Par comparaison avec d'autres sites dans le monde, ces niveaux de contamination par les MP sont élevés. Ceci représente une menace pour *P. margaritifera* qui, pour se nourrir, filtre jusqu'à 25 litres d'eau de mer par heure et retient une large gamme de tailles de particules (entre 2 et 200 µm).

Les niveaux de contamination mesurés sont surprenants pour ces zones faiblement peuplées, préservées d'une forte fréquentation touristique, et n'abritant pas d'industrie lourde. Les principales activités économiques sur ces territoires insulaires sont la pêche et la perliculture. Ainsi, pour remonter la source des MP collectés, la taille, la forme, la couleur et la nature des particules ont été caractérisées. Les caractéristiques observées mettent en évidence

la présence dominante de fragments compris entre 20 et 200 µm qui semblent provenir de la fragmentation de débris de plus grande taille. Parmi les plastiques identifiés, le polyéthylène et le polypropylène sont ceux que l'on retrouve en plus grande abondance.

Cette composition couplée à la prédominance des MP de couleur noire montre des similitudes avec les équipements en plastique utilisés en perliculture, notamment les collecteurs de naissains et les cordes utilisées comme lien pour relier les structures d'élevage. Ainsi, les structures perlicoles (opérationnelles et/ou abandonnées) semblent être une source importante de contamination du fait de leur accumulation dans certains lagons depuis plusieurs décennies. En effet, ces structures en plastique se fragilisent avec le temps sous l'action combinée du soleil, de la houle et des courants, et libèrent des MP qui se disséminent dans l'environnement marin.

À cette source de contamination pourraient également s'adjoindre les déchets plastiques issus des activités domestiques, de la pêche ou de la proximité du gyre océanique du Pacifique sud (réunion de différents courants marins qui charrient également une grande quantité de plastiques).



Photo 3 - Microplastiques collectés et isolés à partir d'un prélèvement d'eau de surface (~ 150 m³ d'eau de mer filtrée) réalisé dans le lagon de Ahe - © T. Gardon / Ifremer



Les microplastiques altèrent la santé de l'huître et la qualité de la perle

Afin d'évaluer l'impact des MP sur la biologie de l'huître perlière et la qualité de la perle, deux expérimentations ont été menées en laboratoire. Les résultats publiés de la première expérimentation font état d'un dérèglement énergétique important chez les individus exposés à des fortes doses de microbilles de polystyrène ; se répercutant sur la capacité reproductive de l'huître (Gardon et al., 2018) et entraînant une modulation de l'expression de gènes impliqués dans les mécanismes de défense face au stress (Gardon et al., 2020b).

La seconde expérimentation avait pour but de simuler le cycle de production d'une perle en condition d'exposition à des MP produits à partir de structures perlicoles à des doses proches d'un scénario environnemental lagunaire. Même à ces doses, les résultats obtenus ont aussi permis d'observer des dérèglements énergétiques chez l'huître. Quant à la qualité de la perle, celle-ci s'est avérée impactée au niveau de la microstructure des dépôts nacriers. Ces résultats sont en cours de valorisation et seront

rendu public en 2022. Par ailleurs, une approche toxicologique menée en parallèle sur les plastiques perlicoles a permis de démontrer leur potentiel de toxicité chimique à travers une désorption importante d'additifs dans de l'eau de mer (lixiviation). Des embryons de *P. margaritifera* ont été exposés à ces lixivats et une altération du développement embryo-larvaire a été observée in vitro. Ces résultats, publiés dans la revue *Water Research* (Gardon et al., 2020a), suggèrent que les zones d'accumulation massive de structures perlicoles en plastique pourraient représenter des points chauds de désorption de contaminants chimiques, impactant *P. margaritifera*, en contact étroit avec ces équipements, mais aussi le biote environnant. Dans l'ensemble, ces travaux démontrent une menace associée aux microplastiques qui pèse sur l'huître perlière, la durabilité de son industrie et plus largement, sur l'écosystème lagunaire. Autant d'arguments qui plaident pour une filière perlicole qui diminue sa dépendance au plastique.

Dr. Tony GARDON

*Chercheur post-doctorant
à Ifremer (tony.gardon@ifremer.fr)*

Références citées :

- Gardon, T., El Rakwe, M., Paul-Pont, I., Le Luyer, J., Thomas, L., Prado, E., Boukerma, K., Cassone, A.-L., Quillien, V., Soyez, C., Costes, L., Crusot, M., Dreanno, C., Le Moullac, G., Huvet, A., 2021. Microplastics contamination in pearl-farming lagoons of French Polynesia. *J. Hazard. Mater.* 419, 126396. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126396>
- Gardon, T., Huvet, A., Paul-Pont, I., Cassone, A.-L., Sham Koua, M., Soyez, C., Jezequel, R., Receveur, J., Le Moullac, G., 2020a. Toxic effects of leachates from plastic pearl-farming gear on embryo-larval development in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Water Res.* 179, 115890. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115890>
- Gardon, T., Morvan, L., Huvet, A., Quillien, V., Soyez, C., Le Moullac, G., Le Luyer, J., 2020b. Microplastics induce dose-specific transcriptomic disruptions in energy metabolism and immunity of the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Environ. Pollut.* 266, 115180. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115180>
- Gardon, T., Reisser, C., Soyez, C., Quillien, V., Le Moullac, G., 2018. Microplastics Affect Energy Balance and Gametogenesis in the Pearl Oyster *Pinctada margaritifera*. *Environ. Sci. Technol.* 52, 5277–5286. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00168>

VERS LA RÉDUCTION DES DÉCHETS PLASTIQUES PRODUITS PAR L'ACTIVITÉ DE PERLICULTURE

DES COLLECTEURS ALTERNATIFS MOINS POLLUANTS

Depuis de nombreuses années, l'UPF (UMR-241 EIO) conduit des travaux de recherche sur l'étude des interactions entre la perliculture et l'environnement en collaboration avec la DRM. D'abord focalisés sur les flux de nutriments, les interactions trophiques et le biofouling (ANR-Polyperl 2012-2015), ces travaux se sont ensuite intéressés aux pratiques perlicoles pour aborder la question des déchets produits par cette activité (programme RESCCUE 2014-2018). Ces résultats ont débouché dès 2017 sur un nouveau partenariat avec la DRM (projets PERLIBIO et Proto-COLL) visant à caractériser les déchets de production et à proposer des solutions alternatives au plastique pour l'étape de collectage des nacres.

L'ÉTAPE DE COLLECTAGE EN PERLICULTURE : UNE SOURCE IMPORTANTE DE PLASTIQUES

L'aquaculture est une industrie très utilisatrice de plastique, du fait des propriétés de ce matériau (résistant, imputrescible, léger etc...) et de son caractère peu onéreux. Activité essentielle pour l'économie Polynésienne, la perliculture n'échappe pas à cette règle et utilise principalement des infrastructures d'élevage en plastique (cordages, bouées, grillage, etc.) (Photo 1).

Or, aujourd'hui, il n'existe aucune véritable solution de gestion des déchets perlicoles lorsque ce matériel arrive en fin de vie. Ces déchets vont donc s'accumuler sur place ou être régulièrement incinérés (malgré la dangerosité de cette pratique (Photo 2).



Photo 1 - Matériel perlicole neuf - © Aming



Photo 2 - Déchets perlicoles immergés

Cette situation engendre une forte préoccupation des autorités, des acteurs de la perliculture et des populations locales. Une première étude a été réalisée à Mangareva, afin de définir le type et l'origine des déchets perlicoles tout en les quantifiant (Gaertner-Mazouni et al., 2018).

Ce travail a notamment montré que l'étape de collectage représente une source importante de déchets, du fait de très nombreux collecteurs en ombrière utilisés et de leur faible durée de vie (Photo 3).

Par ailleurs, les travaux récents menés à l'Ifrémer ont montré la dangerosité de ce matériel, qui est à la fois source de microplastiques et de composés toxiques pour les larves d'huîtres perlières (cf Gardon, "Les microplastiques menacent la perliculture", pages 13 à 15).

VERS DE NOUVEAUX TYPES DE COLLECTEURS DE NACRES

Une première étude a porté sur l'analyse d'une nouvelle forme de collecteur comme alternative, la coupelle. Ce type de collecteur plastique réutilisable, est disponible sur le marché français. Il est utilisé pour le collectage d'autres espèces de bivalves comme l'huître creuse *Crassostrea gigas* depuis de nombreuses années.

Il est composé de coupelles en plastique semi-rigide et résistant lui permettant d'avoir une durée de vie de 3 à 10 ans dans des conditions environnementales stressantes (i.e. exposition aux marées et au soleil). Trois séries d'expérimentations ont été réalisées à Takapoto sur des durées de 4, 6 et 16 mois, afin de tester l'efficacité de ce nouveau type de collecteurs (Photo 4). Tous les tests ont abouti à la conclusion d'une meilleure efficacité des collecteurs coupelles, pouvant collecter 1,5 fois (et même jusqu'à 11 fois) plus de nacres que les collecteurs en ombrière selon la période d'immersion (Crusot et al, 2021). Ces collecteurs coupelles, qui ont démontré une bonne résistance aux conditions expérimentales, représentent donc une alternative à l'utilisation des collecteurs en ombrière (Photo 5).

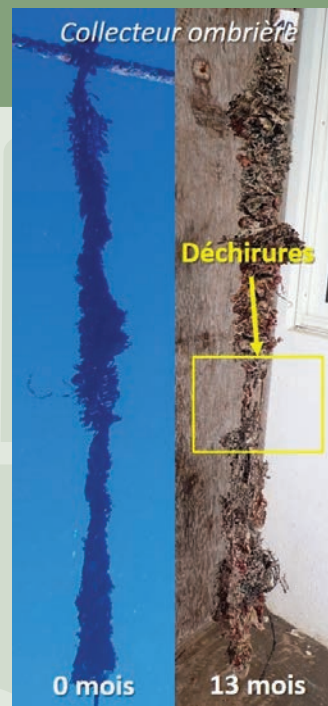


Photo 3 - Collecteurs en ombrière à la mise à l'eau (0 mois) puis présentant des déchirures après 13 mois de collectage

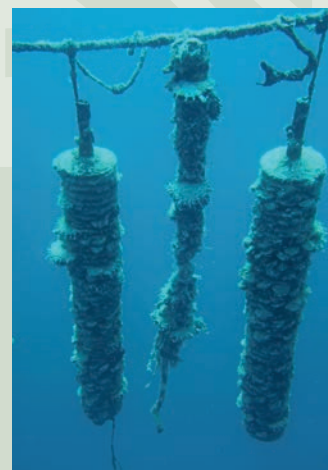


Photo 4 - Collecteurs coupelles et ombrières installés en alternance sur la ligne mère depuis 16 mois



Photo 5 - Collecteurs coupelles à la mise à l'eau (0 mois) puis après 16 mois de collectage

VERS UN COLLECTEUR COUPELLES BIODÉGRADABLE

La seconde étape de nos travaux a été focalisée sur le développement d'un nouveau collecteur coupelles biodégradable. En partenariat avec l'institut Néo-Zélandais SCION, une formulation spécifique a été élaborée à partir de différents matériaux qui ont été sélectionnés pour leurs propriétés et associés.

Une première série de prototypes de collecteurs en biomatériaux a été produite. Ces prototypes ont ensuite été testés dans le lagon de Takapoto. L'expérimentation *in situ* a été réalisée sur une durée de 6 à 13 mois afin de comparer les performances des collecteurs en ombrière, des coupelles plastiques et des prototypes en biomatériaux (Photo 6). Les résultats, encore en cours d'analyse, sont très prometteurs car ils

confirment l'efficacité de ces nouveaux collecteurs biodégradables. En revanche, ces premiers prototypes se sont avérés trop fragiles.

Ainsi, la prochaine étape de nos recherches concerne la production locale d'une nouvelle série de prototypes (bioplates) grâce à un partenariat avec la société Plastiserd. Ce projet, financé par la délégation à la recherche de Polynésie française est réalisé dans le cadre de l'Appel à projets Partenariat public-privé. Il associe l'UPF, la société Plastiserd et la DRM et permettra de réaliser la "preuve de concept" en partenariat avec des perliculteurs.

M. CRUSOT, Dr. C. LO, Dr. MJ. LEGUEN,
Pr. JC. GAERTNER, Dr. T. RICHMOND,
Pr. N. GAERTNER-MAZOUNI
nabila.gaertner-mazouni@upf.pf



Photo 6 - Collecteurs coupelles, ombrières et biodégradables installés en alternance sur la ligne mère

Références :

- Crusot, M., Lo, C., Gaertner-Mazouni, N., 2021. Assessment of an alternative *Pinctada margaritifera* spat collector in French Polynesia. Aquac. Reports 20, 100751. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100751>
- Gaertner-Mazouni, N., Rodriguez, T., Gaertner, J.-C., 2018. Macro-déchets immergés au sein du lagon des Gambier : bilan des connaissances et étude sur l'opportunité et la faisabilité de leur collecte. Projet RESCCUE, Communauté du Pacifique-CPS (2015-2018), 35 pages + annexes



LE PROJET MANA (2017-2022) ET SES AVANCÉES

OBJECTIFS DU PROJET

Le collectage de naissains est une activité critique de la perliculture. Le collectage est d'abord affecté par les conditions environnementales du lagon, par l'état du stock naturel d'huîtres adultes et en élevage, et par les pratiques et décisions des perliculteurs. Le collectage est très variable dans l'espace du lagon et dans le temps, comme le montrent les variations observées par les professionnels d'une année sur l'autre ou la diminution progressive ou brutale du collectage dans certains atolls. Des outils de gestion, longtemps jugés prioritaires par les gestionnaires, devaient donc être orientés vers 1) la compréhension de la variabilité du collectage, 2) la gestion des stocks d'huîtres afin de maintenir ce collectage, et 3) la planification de l'occupation des lagons perlicoles. Le projet MANA (pour Management of Atolls en anglais) a pour objectif de fournir des connaissances

et des outils de gestion utiles à ces 3 objectifs. MANA est un projet financé, hors personnel permanent, par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), par les moyens navigants mis à disposition par la Commission Nationale de la Flotte Côtière (CNFC) avec l'utilisation du bateau Océanographique ALIS et localement par les investissements de la Direction des Ressources Marines (DRM) en matériels de mesures. Ce projet qui arrive à sa fin en mars 2022 s'est consacré principalement au développement d'outils de gestion des lagons dédiés à la perliculture dans l'Océan Pacifique Central, dont la Polynésie française et les Iles Cook. Le projet qui inclut de nombreux partenaires scientifiques en Polynésie, en Nouvelle-Calédonie et en métropole (Encadré 1) a démarré concrètement à la mi-2017, et a bénéficié d'une prolongation en raison de la situation sanitaire liée à la Covid-19, comme tous les projets ANR encore en cours en 2020.

1 : Partenaires initiaux du projet MANA

Le projet ANR MANA est porté par l'IRD, via l'unité de recherche ENTROPIE. L'IFREMER était initialement présent au début en tant qu'unité propre (IFREMER à Nouméa) qui a ensuite rejoint ENTROPIE. Les autres unités de recherche présentes au début du projet et financées par l'ANR sont EIO (Papeete), MIO (Marseille), LOG (Lille), LOCEAN (Nouméa) et LEGOS (Nouméa). Les organismes gouvernementaux et gestionnaires sont représentés par la DRM et le MMR des Iles Cook. D'autres partenaires se sont intégrés au cours du projet, notamment le LEMAR et le LOPS avec des scientifiques travaillant depuis le lagon de Brest. La société GeoPolynésie a effectué l'acquisition des données bathymétriques des lagons de Raroia et Takume.



L'APPROCHE DU PROJET

Afin de pouvoir contribuer utilement aux objectifs, il était nécessaire de planifier toute une série d'activités et d'acquisition de données pour caractériser l'environnement des atolls et des huîtres, pour les atolls jugés prioritaires, qui ont été choisis par la DRM en 2017, à savoir Raroia, Ahe, et Takaroa. Aux Iles Cook, le Ministry of Marine Resources (MMR) a priorisé Manihiki.

L'intérêt scientifique de ces 4 atolls était aussi d'offrir une palette de lagons avec différentes configurations de taille et d'ouverture sur l'océan, et de prendre en compte l'ensemble des connaissances déjà disponibles sur Ahe et Takaroa tout en incluant un atoll sur lequel quasi aucune connaissance scientifique n'était disponible, en l'occurrence Raroia.

L'approche originale de MANA est d'utiliser la modélisation hydrodynamique 3D des lagons pour mieux comprendre la dispersion des larves d'huîtres pendant leurs phases larvaires, quand elles dérivent dans le lagon au gré des courants avant de se fixer sur un support naturel ou artificiel.

L'étude de l'hydrodynamique des lagons perlicoles n'est pas récente mais le développement systématique des modèles hydrodynamiques l'est (cf Encadré 2).

La modélisation hydrodynamique consiste à reproduire avec des programmes informatiques les courants dans un lagon en fonction de la bathymétrie, de la géomorphologie de la couronne (via la passe et les hoa), du vent, des vagues et de la marée, et d'autres

facteurs climatiques régionaux. Elle requiert aussi des mesures *in situ* pour calibrer et valider les calculs. Ceci a été développé pour chacun des atolls étudiés.

Pour mieux modéliser la dispersion des larves, les modèles les plus évolués et réalistes peuvent bénéficier de l'information sur la nourriture disponible dans le lagon, sur la distribution des stocks, et sur la fréquence des pontes. On parle alors de modèle biophysique couplé. En pratique ce type de modèle est toutefois plus coûteux à développer, calibrer, valider et faire tourner. Au bout de ce spectre d'innovation, pour l'atoll le plus étudié depuis une décennie, c'est-à-dire Ahe, les mécanismes principaux qui contrôlent le niveau de nourriture des huîtres partout dans le lagon sont aussi pris en compte. Ceci passe par la connaissance et la modélisation de la dynamique de la chaîne alimentaire planctonique dans les lagons, et ce qui la contrôle, comme les flux d'éléments nutritifs. Dans ce cas, on parle alors de modèle couplé hydro-biogéochimique.

MANA a donc développé :

1) des modèles hydrodynamiques 3D sur Ahe, Takaroa et Raroia, qui sont maintenant utilisables pour les applications sur le collectage ; 2) des modèles couplés biophysiques pour Ahe et Takaroa qui sont utilisés pour étudier des périodes particulières comme les périodes de mortalité de 2013-2014 à Takaroa ou le devenir d'un épisode de ponte observé à Ahe en 2008 ; 3) un modèle pilote couplé hydro-biogéochimique 3D pour Ahe, encore expérimental et en cours de test.

2 : Historique des études hydrodynamiques dans les lagons d'atolls :

Historiquement, certains aspects de l'hydrodynamique de quelques atolls ont été ponctuellement étudiés pour mieux comprendre le fonctionnement général des atolls, notamment autour des passes et hoa de Rangiroa et Tikehau. Dans un contexte de perliculture, l'hydrodynamique des atolls a commencé à être étudiée avec le Programme Général de Recherche sur la Nacre, mais sans modélisation et uniquement à partir de quelques observations dans les passes et hoa de nombreux atolls. La faisabilité de projets de modélisation 3D, pour applications au collectage, a été discutée pendant un workshop conduit en 2004 à l'ex-centre IRD d'Arue. La modélisation a véritablement commencé avec le projet FED 'Professionnalisation et Pérennisation de la Perliculture' en 2008-2010 avec Ahe et Takaroa qui ont été instrumentés pour la première fois. Puis, en 2013-2014, dans le cadre du projet ANR Polyperl, Ahe a été de nouveau étudié, en ajoutant cette fois l'étude des stocks de nacres. Le dernier épisode de cette série, cette fois quasi complètement dédié à l'hydrodynamique et au collectage, est donc le projet MANA, et MANA-étendu (Encadré 4). Le projet MANA est donc l'aboutissement d'une longue recherche et de nombreux travaux, qui devront être continués car il reste de nombreuses inconnues et sites à étudier.



ACTIVITÉS DE TERRAIN ET RÉSULTATS

Sur chaque atoll, il a été nécessaire de mener entre 2017 et 2019 des activités de terrain, parfois lourdes, pour mieux connaître :

- La bathymétrie du lagon et des pentes externes de Raroia (et de Takume).
- La distribution du stock naturel reproducteur de Raroia.
- Les courants dans les hoa, passes et dans les lagons de Raroia, via plusieurs campagnes avec l'ALIS, (cf Encadré 3).
- Des éléments de la chaîne alimentaire planctonique et le niveau et type de nourriture à Raroia, Takaroa et Ahe.
- Le collectage et la dynamique de populations d'huîtres (croissance, reproduction) à Ahe et Takaroa, en fonction des conditions environnementales qui ont été également suivies *in situ* (température, nourriture) notamment grâce aux instruments et sondes de la DRM et avec l'aide de perliculteurs.
- La distribution d'autres activités dans un lagon perlicole, comme la pêche (Takaroa).

3 : Le navire océanographique Alis à Raroia

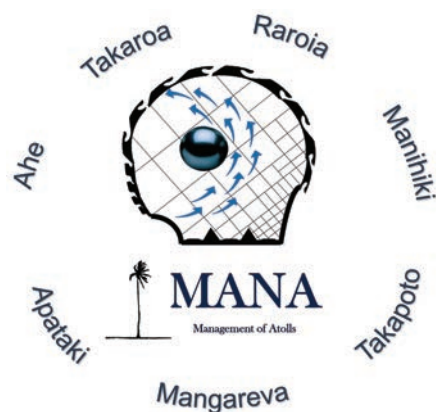
Le navire océanographique ALIS, de 28 m de long et basé en Nouvelle-Calédonie, permet grâce à son équipage et ses capacités, les opérations en laboratoires, en plongée, de poses d'instruments, et de mesures bathymétriques en restant plusieurs semaines sur site. A Raroia, les écoliers ont pu visiter le bateau en 2018 lors des 2 campagnes nommées MALIS 1 et 2.



Tous les résultats ne peuvent pas être présentés ici, mais beaucoup le seront dans le prochain numéro de Te Reko Parau dédié au projet MANA. Deux exemples de résultats sur Raroia sont toutefois illustrés pour donner une idée du format et du type des résultats : une carte des stocks de nacres sauvages et un exemple de scénario de dispersion de larves en fonction des stocks naturels et du vent, calculé à partir du modèle hydrodynamique (Figure 1). Les bons résultats et la dynamique entre les partenaires du projet et la DRM ont permis aussi de motiver le même type de travaux sur d'autres sites, cette fois sur des financements de fonctionnement DRM.

On parle de projet MANA-étendu (cf Encadré 4).

4 : MANA étendu sur de nouveaux sites



Le projet MANA initial s'est étendu avec des financements DRM aux Gambier et à Takapoto dès la fin 2019, pour y conduire les mêmes activités que pour les sites premiers de MANA (acquisition bathymétrique, étude des stocks, des courants, et de la biogéochimie des lagons) à des vues de modélisation hydrodynamique et de meilleure compréhension des processus liés au collectage. Le prochain site étudié sera Apataki, avec la campagne MALIS3 conduite à bord de l'ALIS, en Juillet 2022. Ceci est illustré par le logo du projet ci-dessus. Le numéro spécial MANA du prochain Te Reko Parau présentera aussi les résultats de MANA étendu.

L'activité présentée ici se prolongera donc dans le futur. Il reste en particulier de nombreux défis pour mieux comprendre et prédire le collectage, vis à vis notamment de : 1) la connaissance des périodes de pontes et de la densité réelle des larves dans un lagon, et leur durée de vie, tout ceci demandant aussi un suivi des conditions environnementales (nourriture, température, etc.) sur l'ensemble du lagon.

2) Que se passe-t-il sur les collecteurs si des larves s'y fixent ? La modélisation donne une probabilité que des larves se situent autour de collecteurs, mais ne peut rendre compte des jours, semaines et mois qui suivent la fixation. Ceci est à améliorer.

3) La collecte d'informations connues par les perliculteurs eux-mêmes. En effet, eux seuls ont la capacité de renseigner si tel ou tel endroit a collecté et quand, compte tenu que les scientifiques sont limités dans leur temps de séjour à quelques semaines d'observations au mieux sur un nombre de stations limité.

Les observations des perliculteurs, traitées confidentiellement, seraient très utiles pour valider les modèles, et comprendre l'influence des différentes variables, comme le vent, la houle, la température, ou les stocks.

4) Tout le travail effectué par le projet MANA ne concerne que 3 atolls de Polynésie française. Evidemment, de nombreux autres sites sont d'intérêt.

L'étude de nouveaux sites a commencé (Mangareva, Takapoto) mais d'autres sites sont à considérer : Apataki, Katiu, Arutua, etc.

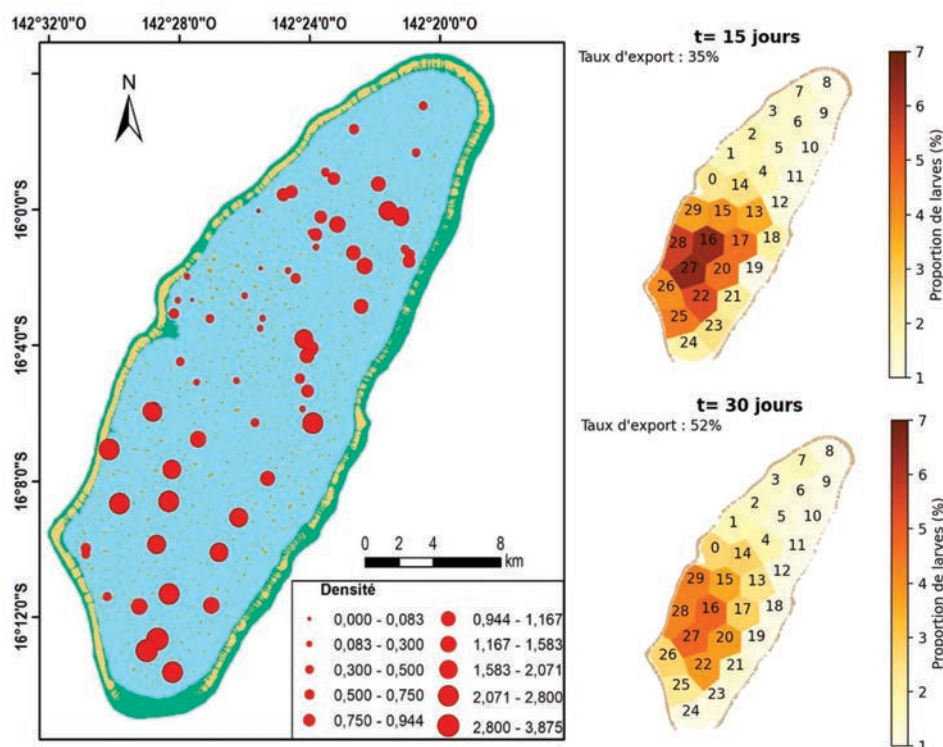


Figure 1 :

À gauche : carte synthétisant les mesures de densité de nacres sauvages dans le lagon de Raroia effectuées en 2018-2019, entre 0 et 10m de profondeur, c'est-à-dire là où les densités étaient de loin les plus élevées. Les densités sont en nombre d'individus par 100 m². À droite, utilisant les informations de stocks et considérant un vent dominant d'est (alizés) et une ponte simultanée sur chacun des sites de stock, la figure représente la proportion de larves dans le lagon après 15 jours et 30 jours de dérive dans le lagon. Le lagon est alors représenté par 29 polygones de taille identique. Le taux d'export total de larves en dehors du lagon est aussi indiqué (ex : 35% des larves disponibles après la ponte ont quitté le lagon du fait de la passe et des courants après 15 jours). Le modèle hydrodynamique suggère ainsi que dans les conditions de vent d'est, la partie sud et plutôt ouest du lagon est la plus à même d'accumuler les larves restantes, même si elles sont originaires du nord du lagon. Dans d'autres conditions de vent, et pour des durées différentes, il peut en être différemment.

L'équipe MANA

Remerciements : Mauruuru roa aux populations des atolls étudiés, aux différentes instances et à toutes les personnes qui ont permis de mener à bien les travaux de ce projet en Polynésie française. Ont contribué scientifiquement au projet Andréfouët Serge (chef de Projet), André Laure, Aucan Jérôme, Basset Caline, Beliaeff Benoit, Bionaz Océane, Bruyère Oriane, Buttin Julie, Chauveau Mathilde, Chinain Mireille, Desclaux Térance, Dutheil Cyril, Gatti Clémence, Jullien Swenn, Le Gendre Romain, Le Moullac Gilles, Lefebvre Sébastien, Liao Vetea, Lo Cédrik, Lo-Yat Alain, Menkes Christophe, Monaco Cristian, Paul Mégane, Pinazo Christel, Reisser Céline, Rodier Martine, Sangare Nathanaël, Seceh Claire, Thomas Yoann, Van Wynsberge Simon, Varillon David, Verpoorter Charles. Ont contribué aux opérations hyperbares : Bourgeois Bertrand, Butscher John, Campanozzi-Tarahu Joseph, Tertre Fabien. Enfin, nous remercions tout l'équipage de l'ALIS sous le commandement de Jean-François Barazer.



AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ



PERLES DE POLYNÉSIE : LEUR COULEUR DÉCODÉE

LA COULEUR DES PERLES DÉCODÉE, UN PAS DE PLUS VERS DES PERFORMANCES AMÉLIORÉES

Ces résultats ont été publiés dans les revues scientifiques Genes et Frontiers in Genetics dans le cadre du projet Ameligen (Amélioration génétique de l'huître perlière en Polynésie française). Ce projet visait à avoir une meilleure compréhension des facteurs impliqués dans les variations de la qualité des perles, notamment les gènes et les paramètres environnementaux responsables de la couleur. Ce projet a été mené par l'unité Ifremer Ressources marines en Polynésie, en partenariat avec le Criobe (Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement – CNRS, Ecole pratique des hautes études, université de Perpignan Via Domitia) et des acteurs privés (D.Devaux, SCA Regahiga, Mangareva, Archipel des Gambier). Il a été co-financé par la Polynésie française et la Direction des ressources marines.

Les scientifiques ont percé le secret de la couleur de la perle de l'huître de Polynésie, en remontant jusqu'à son origine génétique et en décryptant les voies de fabrication des pigments par les cellules du bivalve. Ils ont aussi démontré pourquoi la couleur est influencée par la profondeur à laquelle les huîtres perlières sont élevées en mer. Des résultats majeurs pour la filière perlicole, à retrouver dans deux articles publiés en 2021 par un consortium mené par l'Ifremer.

La première des deux études, menée par l'Ifremer en collaboration avec le CRIOBE, l'Institut Fresnel de Marseille, et l'IHPE de Montpellier, a été publiée dans la revue internationale Genes cette année. Celle-ci a montré comment l'expression plus ou moins forte de certains gènes amène à la production de pigments particuliers.

L'exemple frappant de la coloration rouge

Cette couleur rouge est bien connue des perliculteurs et c'est l'une des rares, avec l'albinisme, à présenter une coloration à la fois sur la face interne et externe de la coquille. Dans cette étude, les scientifiques ont démontré comment la faible expression d'un seul gène amène à l'accumulation dans la coquille d'un pigment rouge bien connu chez d'autres espèces de mollusque : l'Uroporphyrine I. Cette plus faible expression de ce gène pourrait être due à une mutation génétique chez les individus rouges. Il s'agit donc ici d'un parfait exemple de couleur mono-génique car elle n'est codée que par un seul gène. Cette caractéristique permet d'imaginer aisément l'intégration de ce caractère dans des plans de croisement afin de produire plus de perles rouges ou présentant des reflets rouges.



Le jaune et le vert, des couleurs sœurs

Nos chercheurs se sont également intéressés à deux autres colorations d'importance pour la perliculture : le jaune et le vert. Au cours de cette même étude, ils ont démontré que ces deux colorations sont étroitement liées. Ainsi, un subtil cocktail moléculaire et une expression plus ou moins forte de certains gènes communs ou spécifiques à chacune de ces couleurs permettent leur différenciation. Comme plusieurs gènes sont impliqués, on parle ici de polygénie et ce caractère explique pourquoi il est courant de trouver des huîtres présentant ces deux colorations sur la face intérieure de leur coquille.

UN AFFINAGE DES PERLES ?

En parallèle de cette étude portant sur l'identification des gènes de la couleur, les équipes de recherche se sont également intéressées aux effets de l'environnement sur cette dernière.

Cet article publié dans le journal *Frontiers in genetics* démontre l'importance que peut avoir l'environnement notamment sur la coloration des perles. Ainsi, l'équipe a montré que des variations environnementales, ici la profondeur, induisaient des modifications chimiques de l'ADN appelé méthylation de l'ADN. La localisation précise de ces modifications au niveau de certains gènes impliqués dans les processus de pigmentation induit un assombrissement de la coquille avec la profondeur. Ces changements, dits épigénomiques (portés par l'ADN), pourraient expliquer pourquoi les coquilles des huîtres et les perles s'assombrissent lorsqu'elles sont cultivées en profondeur (-30m dans l'étude). Une meilleure compréhension de ces mécanismes pourrait conduire à de nouvelles pratiques d'élevage.

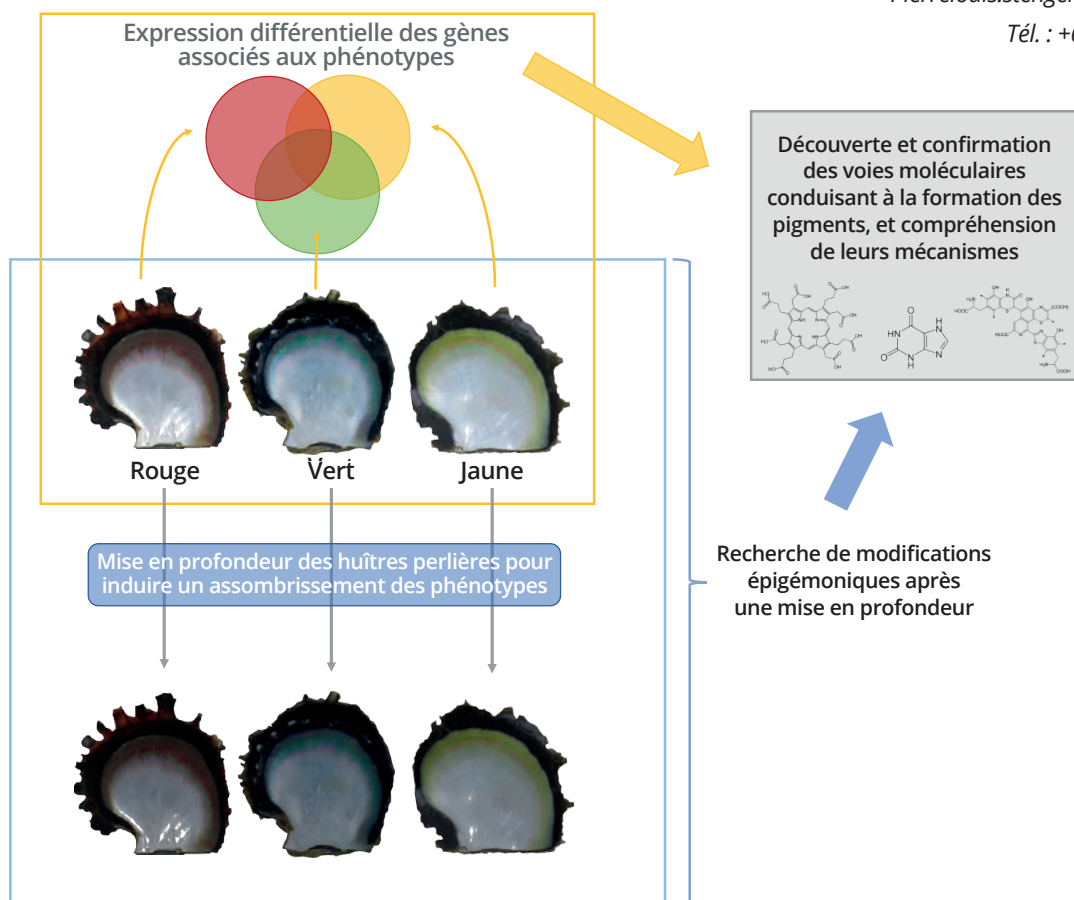
Dr. Jérémie VIDAL-DUPIOL (*lfremer*)

Jeremie.Vidal.Dupiol@ifremer.fr

Dr. Pierre-Louis STENGER

Pierrelouis.stenger@gmail.com

Tél. : +689 85 80 57



LES HUÎTRES PERLIÈRES “PUPURE” OU ALBINOS

VERS LA “PERLE BLANCHE DE TAHITI” ?

Tout le monde sait que la perle dite “noire”, véritable emblème de la Polynésie peut aussi être blanche. Il suffit pour cela d'utiliser lors de l'acte de greffe, des greffons prélevés à partir d'huître perlière à coquille blanche, rare dans la nature. Ces nacres à coquille blanche présentent une mutation de coloration caractéristique du monde animal : l'albinisme. Le projet de recherche ColoGEN2 visait, dans un de ses volets, à étudier cette mutation au travers de la collecte de géniteurs albinos, de leur reproduction en écloserie en vue d'obtenir du naissain 100% albinos (Photo 1) exploitable en production, mais aussi à des fins de recherche appliquée et fondamentale.

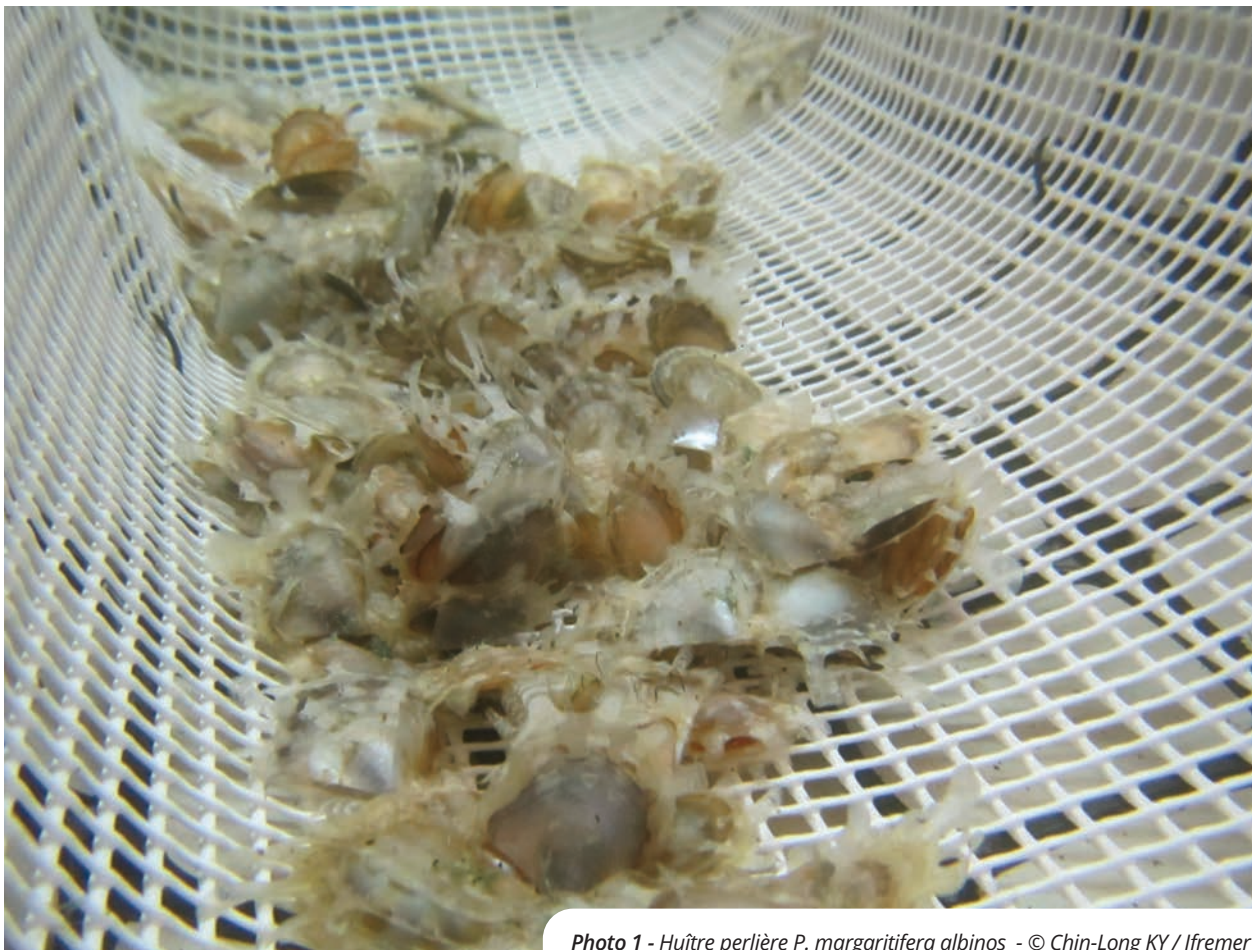


Photo 1 - Huître perlière *P. margaritifera albinos* - © Chin-Long KY / Ifremer



Photo 2 - Perles produites à partir de d'huître perlière donneuse *P. margaritifera albinos* - © Chin-Long KY / Ifremer

UN EFFORT DE RECHERCHE CONSIDÉRABLE DÉPLOYÉ

Afin d'identifier les gènes responsables de cette coloration atypique chez l'huître perlière blanche, cinq années de recherche ont été nécessaires. Tout d'abord, il a fallu reproduire en nombre, par voie d'écloserie, des familles standardisées, exprimant toute la coloration blanche des coquilles, à partir de géniteurs sauvages. Ces familles ont été élevées, et tout au long de leurs stades de vie, trois tissus ont été échantillonnés : l'animal entier au stade juvénile (cf photo 1), le manteau d'adulte exploitable en greffe et enfin la poche perlière de la receveuse à la récolte (receveuse ayant été greffée avec un greffon albinos). Ces trois tissus ont ensuite fait l'objet d'analyses moléculaires au travers du séquençage des gènes qu'ils exprimaient, en comparaison à leurs homologues non-albinos.

Les résultats de ce différentiel d'expression ont permis de décrire la complexité de l'ensemble des voies de régulation menant à l'expression de cette pigmentation atypique. Ces résultats ont fait l'objet d'une publication dans la revue internationale BMC Genomics en 2020 (Tracing key genes associated with the *Pinctada margaritifera* albino phenotype

from juvenile to cultured pearl harvest stages using multiple whole transcriptome sequencing. Auffret P, Le Luyer J, Sham Koua M, Quillien V, Ky C-L. BMC GENOMICS, 21(1), 662 (13p.). Publisher's official version : <https://doi.org/10.1186/s12864-020-07015-w>.

DES "PUPURE", POURQUOI ET POUR QUOI FAIRE ?

Grâce aux productions d'huîtres perlières par voie d'écloserie, des colorations autrefois rares, pourraient devenir plus abondantes et ouvrir de nouvelles perspectives de production et de valorisation des produits perliers. Les coquilles, avant tout, pourraient être valorisées dans l'artisanat local au travers des gravures (au côté des coquilles noires) et dans la confection de leurres prisés pour la pêche au gros. Même si le marché pour la "perle blanche de Tahiti" est inexistant, l'espèce *P. margaritifera* est capable de la produire à grande échelle et venir concurrencer les perles produites par *P. fucata* ou *P. maxima*, avec cette particularité de présenter des irisations uniques bleu ciel ou rose sur fond blanc.

Dr. Chin-Long KY
chercheur en génétique à l'Ifremer (chinky@ifremer.fr)

UNE CONVENTION DE 5 ANS POUR APPUYER LES ÉCLOSERIES

SOUTIEN AU DÉVELOPPEMENT CONCERTÉ DE PROGRAMMES D'AMÉLIORATIONS GÉNÉTIQUES DES LIGNÉES D'HUÎTRES PERLIÈRES PINCTADA MARGARITIFERA PAR LA FILIÈRE EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

Après une pré-étude¹ pour préciser divers éléments relatifs au développement de programmes de sélection génétique de l'huître perlière, la DRM a demandé l'appui du SYSAAF dans le cadre de la convention EXPER² pour une durée de 5 ans afin de l'accompagner dans la mise en œuvre d'une stratégie d'appui technique aux écloseries. Cet article illustre pourquoi cette convention, ses objectifs et sa mise en œuvre commencée mi 2021.

Déjà 2 écloseries en activité, Régahiga Pearl (Mangareva) et Precious Pearl (Fakarava) commencent à produire du naissain d'écloserie, pour usage interne ou pour la vente à d'autres perliculteurs. D'autres projets sont évoqués et attendus. Outre les aspects technologiques et de savoir-faire biologiques, ce mode de production de naissains repose sur le choix rationnel des reproducteurs pour améliorer la qualité des naissains et *in-fine* du produit final la perle. Cette sélection s'inspire aujourd'hui essentiellement des savoir-faire et des pratiques des autres filières perlicoles étrangères par sélection massale des donneuses sur des caractères de couleur de la coquille interne ou des receveuses sur la croissance ou la taille de la poche sans connaissance des pédigrées.



Collecteur de naissain d'écloserie d'huîtres perlières

¹ASSIST (2018-2019) : Appui à la mise en place des modalités techniques de la stratégie d'amélioration génétique appliquée de *Pinctada margaritifera* en Polynésie française : production commerciale, approvisionnement, sécurisation génétique et sanitaire.

²EXPER (2021-2025) : Expertise pour le développement de programmes d'amélioration génétiques des lignées d'huîtres perlières *Pinctada margaritifera* par la filière en Polynésie française.



DES ENJEUX ÉCOLOGIQUES ET ÉCONOMIQUES AU DÉVELOPPEMENT DES ÉCLOSERIES

La perliculture polynésienne est une des rares productions basées sur du naissain sauvage capté dans le milieu naturel. Cette possibilité tient au renouvellement d'eau limité de certains atolls, la pose de collecteurs dans ces derniers permettant une collecte des larves alors utilisables pour l'élevage. Le nombre de ces atolls constitue une des nombreuses fragilités de la filière, qui peut être amplifiée par la variation de facteurs environnementaux, biologiques ou climatologiques. Alors que d'autres entreprises investissent dans l'amélioration de la qualité des perles grâce à leurs éclosiers, il importe que la Polynésie accompagne aussi de tels projets afin de ne pas se priver de ce potentiel d'amélioration de la qualité des perles. L'amélioration de la valeur des perles pourrait aussi améliorer la durabilité de la filière en réduisant la taille des cheptels, limitant de fait l'empreinte écologique de cette activité économique. L'accompagnement d'un développement rationnel des éclosiers présente donc de multiples enjeux pour la filière et le Pays.

¹ASSIST (2018-2019) : *Appui à la mise en place des modalités techniques de la stratégie d'amélioration génétique appliquée de Pinctada margaritifera en Polynésie française : production commerciale, approvisionnement, sécurisation génétique et sanitaire.*

²EXPER (2021-2025) : *Expertise pour le développement de programmes d'amélioration génétiques des lignées d'huîtres perlières Pinctada margaritifera par la filière en Polynésie française.*

UNE RECHERCHE EN GÉNÉTIQUE À LA POINTE DE L'INNOVATION

Les éleveurs disposent en Polynésie d'un des rares pôles mondiaux de recherche publique en matière de génétique et de perliculture grâce en particulier aux projets de R&D soutenus par le Pays. De premières expérimentations conduites par l'Ifremer ont démontré un déterminisme génétique simple de

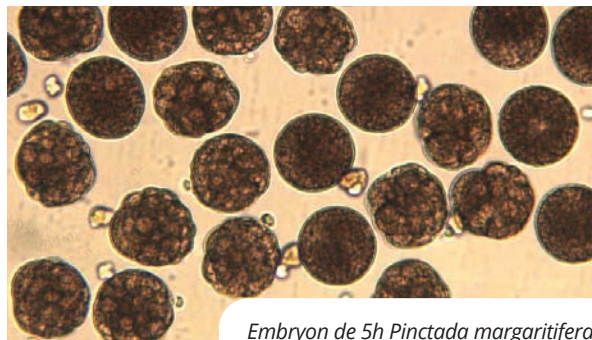
certaines caractères de couleurs (rouge, jaune, vert, blanc) dus vraisemblablement à des mutations très rares induisant la transformation de métabolites en pigments (ou une absence de pigment) fixés dans la nacre des coquilles et des perles. Une première évaluation de la part de la différence de la performance de qualité due aux parents (et donc héritable) a permis de quantifier l'importance de l'origine parentale des donneuses. Ce travail et ceux conduits en Chine, en Australie ou au Japon, montrent que la majorité des caractères d'intérêt présente un déterminisme polygénique conditionné par un très grand nombre de gènes (lustre, orient, couleurs). Améliorer ces caractères nécessitera l'utilisation de méthodes de sélection plus fines prenant en compte les performances d'apparentés (frères, sœurs, tante, grand-parent...). Enfin, l'Ifremer et le CRIOBE ont séquencé le génome de l'huître perlière, qui était uniquement disponible chez l'huître Akoya *Pinctada fucata* grâce à des travaux chinois et japonais. L'Ifremer vient aussi de développer un outil d'aide à la caractérisation génétique (puce de génotypage) regroupant de l'ordre de 70 000 marqueurs génétiques identifiés à partir du génome de l'huître perlière. Cet outil, le premier au monde chez les espèces perlicoles, et les travaux en cours et à venir devraient permettre une accélération des connaissances utiles à la filière et il importe que la filière puisse capter ces avancées scientifiques.

LE MÉTIER D'ÉCLOSEUR ? UN NOUVEAU MÉTIER

Comme toute production agricole, la production de juvéniles est une activité économique au même titre que les autres métiers de l'élevage. La sélection des reproducteurs consiste à choisir des reproducteurs pour créer la nouvelle génération en espérant l'améliorer ainsi progressivement à chaque génération sur un nombre restreint de caractères. De ces reproducteurs sont aussi dérivés des descendants

destinés à la production de donneuses et de receveuses. L'élevage de ces animaux, la mesure des caractères d'intérêt, le suivi de traçabilité des lots et la production de juvéniles destinés à la production constituent les principales activités d'une éclosérie avec la commercialisation.

Les deux entreprises Regahiga Pearl et Precious Pearls ont initié depuis quelques années la domestication et la sélection de géniteurs. D'autres projets sont en cours qui nécessitent des capacités d'investissement minimum (5-10 ans) et un savoir-faire spécifique.



Embryon de 5h *Pinctada margaritifera*

POURQUOI LE PROJET EXPER ?

Une gestion inadéquate des appariements entre des reproducteurs trop apparentés (plus proches que cousins) peut induire des baisses de performances ou une fragilisation du naissain par augmentation de la consanguinité. L'adoption de bonnes pratiques de sélection permet aussi un gain maîtrisé. Le nouveau métier d'éclosier et l'absence de référentiel technique sur les possibilités de sélection ont motivé la DRM à contractualiser avec le SYSAAF³ pour l'accompagner et conseiller toute éclosérie le souhaitant en Polynésie afin de rationaliser la sélection et la gestion des géniteurs pendant une durée de 5 ans (2021-2025). Le SYSAAF emploie 25 généticiens pour conseiller une trentaine d'entreprises françaises de sélection de 28 espèces avicoles, piscicoles, conchyliques, crevetticoles et entomocoles en métropole, dont déjà la DRM pour la gestion des géniteurs de crevette à Vairao.

³SYSAAF : Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français ; www.sysaaf.fr

LE PROJET EXPER

Le projet EXPER présente comme objectifs :

- de conseiller la DRM en matière de mise en œuvre de la stratégie polynésienne pour initier une amélioration génétique maîtrisée de l'huître perlière à lèvre noire,
- d'apporter un appui technique aux écloséries désireuses d'améliorer leurs pratiques.

L'appui à la DRM porte sur différents aspects comme la veille scientifique et technologique en amélioration génétique, l'identification de besoins de R&D appliqués à la reproduction et la sélection génétique perlicole et nacricole, l'appui à la conception de projets de R&D en partenariat avec les entreprises intéressées et les structures de recherche polynésiennes (UPF, Ifremer, CRIOBE), le conseil pour le développement de l'activité prenant en compte des objectifs de préservation des populations sauvages en interaction avec les structures professionnelles comme les comités de gestion et le Conseil de la Perliculture. En matière de R&D, trois axes sont d'ores et déjà privilégiés pour développer et tester un outil d'établissement du pedigree par empreintes génétiques à partir de marqueurs génétiques identifiés par l'Ifremer et le CRIOBE, pour comparer différentes méthodes de mesure de la qualité des perles et des nacres et enfin pour estimer la part des différences observables dues aux parents afin de disposer d'éléments sur les progrès génétiques potentiels.

L'appui aux écloséries vise à proposer à toute éclosérie des conseils afin de former les cadres et le personnel aux bases de la sélection génétique, de limiter les risques de consanguinité, de rationaliser la sélection des reproducteurs et la valorisation de cet investissement et à améliorer les pratiques à partir des résultats de projets de R&D conduits en Polynésie ou à l'étranger sur toutes espèces perlicoles (*Hyeropsis sp.*, *Pinctada sp.*) et conchyliques.

Les avancées seront régulièrement présentées lors du Forum de la Perliculture et une évaluation sera conduite à mi-parcours avec le Conseil de la perliculture.

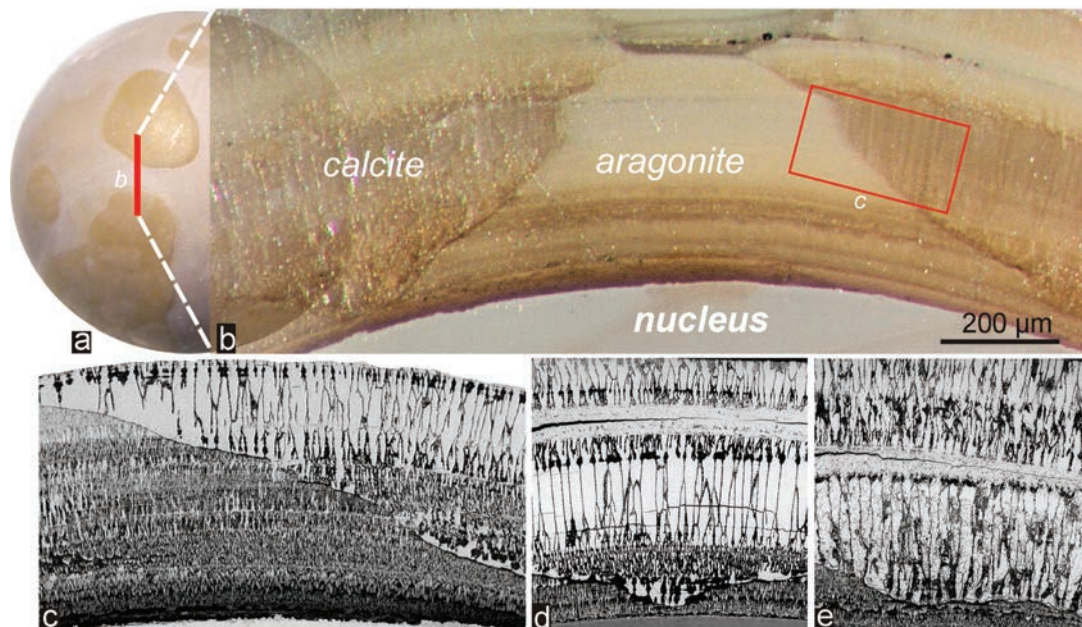
Dr. Pierrick HAFFRAY (SYSAAF)
et Dr. Cédrik LO (DRM)



IL EST ESSENTIEL DE MAINTENIR LA QUALITÉ DU GREFFON POUR OBTENIR DES PERLES DE VALEUR !

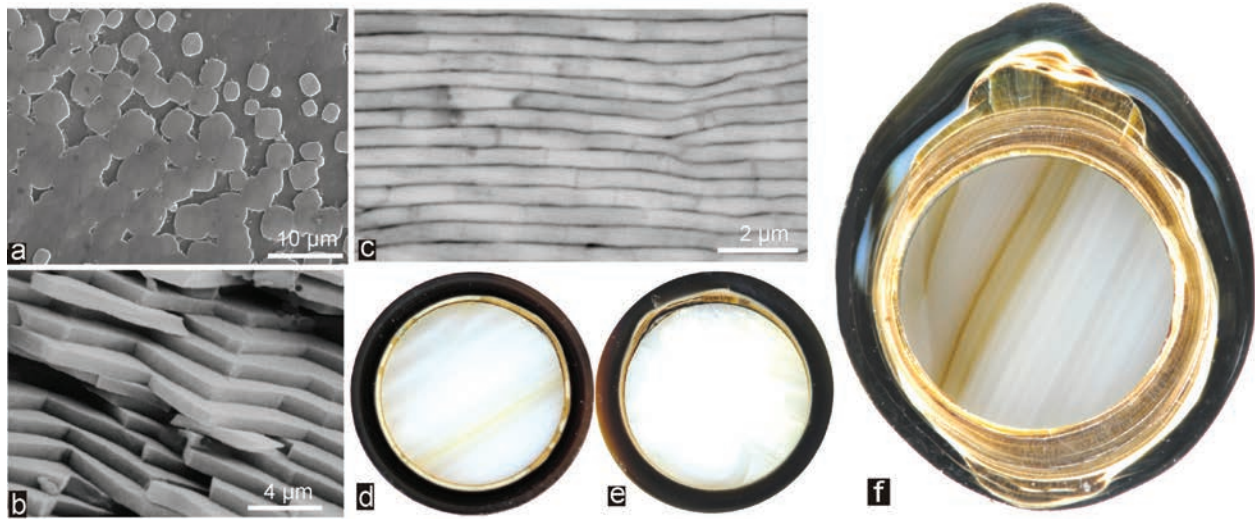
UNE REPRISE DE LA BIOMINÉRALISATION DES CELLULES DU GREFFON PAS SI ÉVIDENTE !

Tout le monde sait qu'après une récolte la première étape de l'évaluation des perles obtenues consiste à rechercher celles qui sont bien rondes : ce n'est qu'après ce premier classement qu'on examine leurs qualités de surface. La question qui se pose au perliculteur est donc toute simple : pourquoi les perles ne sont-elles pas toujours rondes ? Elles sont pourtant formées par un noyau parfaitement sphérique sur lequel le sac perlier doit déposer de la nacre, elle-même formée de tablettes plates très fines et régulières (Figures 1a, 1b).



Cette perle (a) montre ce que peut produire le sac perlier au début de son fonctionnement. Une coupe de la jeune couche perlière (b) montre qu'elle n'est pas formée par de la nacre mais par des structures calcitiques ou aragonitiques qui varient selon les endroits (c, d, e). Le fonctionnement des cellules du greffon a donc été altéré au cours de la greffe.

Figure 1 : Morphologie des unités de la nacre et des dépôts anormaux



(a, b) : Les tablettes de nacre, très fines et plates, sont bien visibles au microscope électronique. (c, d, e) : Exemples de perles coupées pour observer les dépôts formés sous la couche de nacre. Ils passent souvent inaperçus bien que les perles ne soient déjà plus parfaitement rondes. On constate aussi qu'ils peuvent prendre des proportions très importantes, dont le rapport avec la déformation de la perle est alors bien visible. Sur l'exemple (1e) le volume de ces dépôts représente plus de la moitié de la couche perlrière.

La réponse apparaît clairement en faisant une coupe dans une de ces nombreuses perles imparfaites : entre le noyau et la couche de nacre, se sont déposées des structures minérales irrégulières qui ne sont pas de la nacre. Ces matériels sont bien visibles sur une coupe et spécialement chez les perles Polynésiennes, car ils ne sont pas colorés comme la nacre. La vraie question qu'on doit se poser est donc : comment ces dépôts ont-ils été produits puisque le greffon a été préparé dans la région du manteau qui produit la nacre ?

Quand on effectue de nombreuses coupes de perles on constate rapidement que ces dépôts non nacrés commencent toujours à se développer à la base de la couche perlrière, parfois peu épais (1a, 1b), le plus souvent irréguliers et avec des épaisseurs très variables. Quand leur production dure longtemps avant d'être remplacés par la nacre, le rapport de la malformation de la perle avec la présence de ces dépôts non nacrés est évident (1e). En effet quand après ces dépôts, la production de nacre est rétablie, il est trop tard : la nacre se dépose sur une surface

qui est devenue irrégulière et la forme ronde du nucleus est définitivement perdue. La perle est devenue plus ou moins baroque et sa valeur est fortement diminuée, peut-être même nulle. Il est évidemment important de bien comprendre la nature de ce matériel inattendu (et non-souhaitable) pour établir la cause de sa production tellement nuisible à la valeur de la récolte.

C'est en examinant ces matériaux avec différents instruments qu'on peut mieux comprendre ces dépôts. On peut les observer de deux façons : d'abord sur des coupes de perles récoltées après la durée normale, mais aussi en regardant la surface de perles produites spécialement pour cette recherche. Au lieu d'attendre deux ans, on les récolte après un ou deux mois et on observe alors directement les produits de la greffe dès le début d'activité du sac perlrier. On peut alors observer ce qui s'est déposé sur toute la surface du nucleus pendant le temps de culture choisi et réaliser différentes analyses sur les secteurs qui révèlent l'activité minéralisatrice anormale du sac perlrier après la greffe et son caractère souvent irrégulier.



L'observation des premiers dépôts minéraux post-greffe

Bien qu'ils fonctionnent sur des principes très différents, on peut réunir sous le nom de microscope ces instruments qui fournissent des informations sur la structure et la composition chimique de ces matériaux produits par les débuts du fonctionnement du sac perlier.

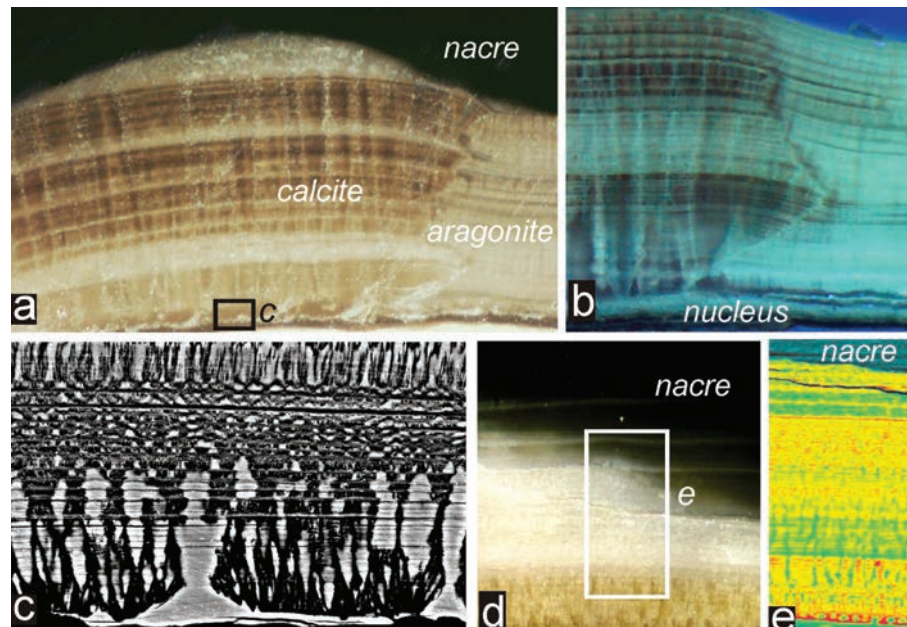


Figure 2 : Exemples d'observations réalisées à la base de la couche perlère sur des coupes de perles polies. (a, b) montrent que les dépôts de la base de la couche perlère sont faits de deux régions différentes et que les couches de croissance passent en continuité d'un dépôt à l'autre. Cela montre que le sac perlier comporte deux régions différentes produisant en même temps de la calcite et de l'aragonite, alors que le greffon faisait de la nacre avant d'être coupé. Ceci arrive assez fréquemment et témoigne de la dégradation causée par la greffe dans le mécanisme de biominéralisation (c) : Le microscope électronique (en mode électrons rétrodiffusés) permet de mettre en évidence la présence de matériels organiques avec des dispositions qui changent au cours de la croissance et ne sont pas celles de la nacre (d,e) : Les figures montrent le retour à la production de nacre avec les changements de composition de la composante organique.

Le microscope montre déjà une propriété surprenante de ces dépôts anormaux. On peut bien voir leurs couches de croissance, qui correspondent aux sécrétions répétées du sac perlier mais on constate que les dépôts qu'il produit, ne sont pas les mêmes partout. Ainsi sur les photos 2a et 2b, on voit bien les couches de croissance superposées mais au lieu de la nacre elles comportent deux régions différentes, l'une en calcite l'autre en aragonite, mais à ce moment du développement ce qui se dépose n'est pas de la nacre, même dans la région aragonitique.

Des images encore plus démonstratives sont obtenues avec d'autres microscopes utilisant les rayons X (Figure 3). Avec les rayons X, on peut en effet obtenir des images de fluorescence en sélectionnant les éléments chimiques

dont on veut voir la répartition sur la surface observée.

Les figures 3a à 3e montrent par exemple la répartition du soufre dans la zone basale de la couche perlère (3a, 3b). Le secteur 3c est à la limite de deux régions de la couche basale et les figures 3d et 3e montrent que la répartition du soufre y est très différente (et même complémentaire).

En fait ces deux images correspondent à deux états chimiques du soufre, quand il est associé à des polysaccharides (3d) ou à des protéines (3e).

On voit ainsi d'abord que les sécrétions du sac perlier ne sont pas les mêmes selon les régions, et aussi que la minéralogie des dépôts est déterminée par la composition biochimique des sécrétions cellulaires.

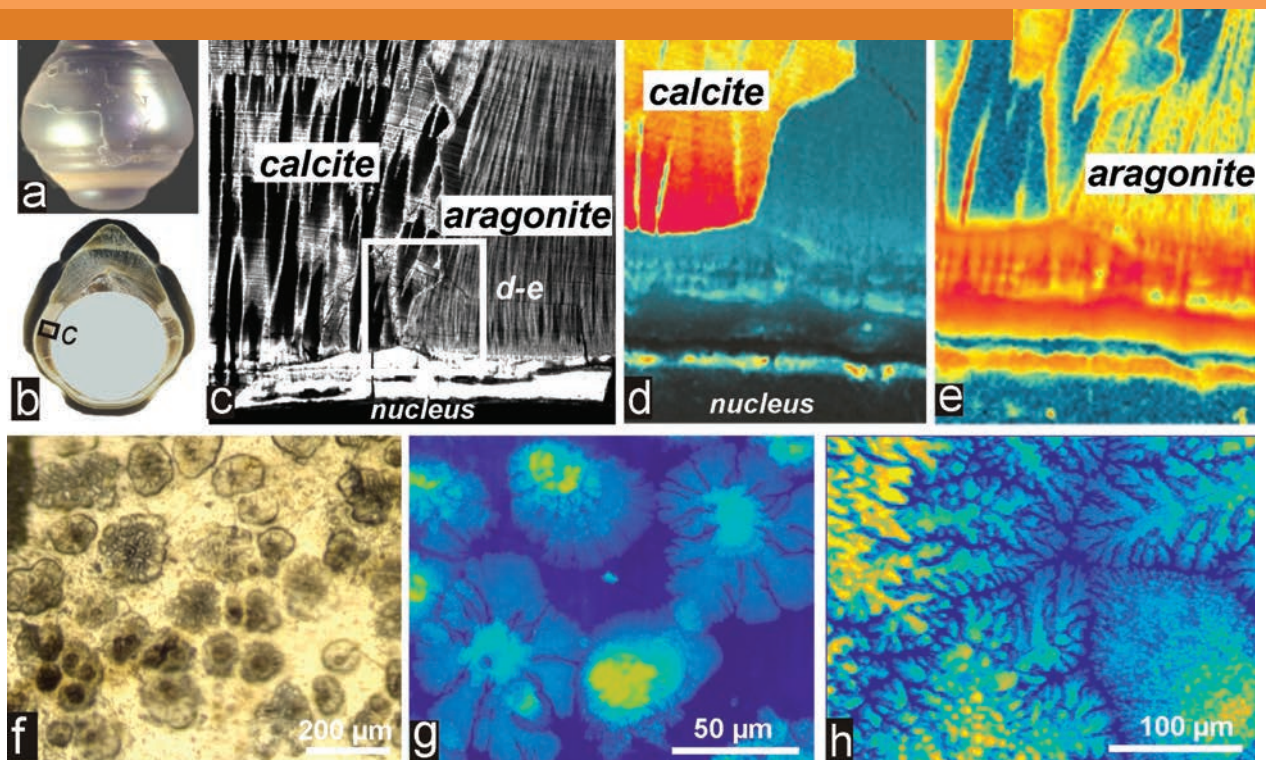


Figure 3 : Exemples de recherche sur la région basale des couches perlrières, à partir de coupe de perles (de 3a - 3e) et par l'observation directe des dépôts à la surface du nucleus (3f-3h). (a-e) : La répartition de deux états chimiques du soufre révèle l'hétérogénéité des sécrétions du sac perlier dans une même perle. (f-h) : La fluorescence du calcium mesurée sur un dépôt détaché du nucleus sur lequel il s'est produit montre la diversité morphologique des premières minéralisations.

L'autre forme d'observation en fluorescence (Figures 3f -3h) montre un fragment de la première couche déposée par le sac perlier sur le nucleus après 20 jours de culture seulement. On voit en microscopie optique que la minéralisation commence par des petits disques séparés les uns des autres. Une carte réalisée en fluorescence du calcium par rayons X permet d'obtenir des images bien plus précises (3g) qui montrent que ces premiers dépôts se sont formés à partir d'un centre suivi par des éléments qui divergent. La figure 3h, obtenue sur un secteur où la couverture du nucleus est plus avancée, montre que ces éléments ramifiés

convergent jusqu'à couvrir toute la surface du nucleus. En combinant ces deux approches analytiques on peut reconstituer assez précisément la façon dont se sont formés ces dépôts anormaux : les sécrétions du sac perlier ont été altérées et comme les dépôts anormaux commencent dès la reprise de la minéralisation post-greffe, cela prouve que l'altération des activités génomiques des cellules du greffon (d'où provient le fonctionnement déficient du sac perlier) s'est produite pendant la greffe.

Dr. J-P CUIF (MNHN de Paris) et Dr. Cédrik LO (DRM)

Conclusion :

Pour augmenter la proportion de perles rondes dans une récolte, il faut donc effectuer la greffe dans des conditions qui préservent les cellules du greffon de conditions nuisibles aux expressions génomiques qui étaient établies dans le manteau de la coquille avant la découpe du greffon. Ce sont les cellules du greffon qui donneront celles du sac perlier par conséquent toutes les altérations subies par les cellules du greffon lui seront transmises. On peut donc dire qu'une bonne part des défauts des perles proviennent de ces dépôts anormaux dont les causes sont maintenant bien établies, et qu'il serait certainement utile d'effectuer des recherches pour déterminer les conditions dans lesquelles les altérations génomiques des cellules du greffon soient évitées.



**DES OUTILS PERFORMANTS POUR FAVORISER
L'UTILISATION DE NUCLÉUS IMPECCABLES !**

POINT DE BELLES PERLES SANS NUCLÉUS PROPRE ET DE QUALITÉ !

Même si la production de perles de qualité restera fortement influencée par des facteurs externes difficilement maîtrisables souvent liés aux conditions du milieu, elle est aussi le fruit de l'application d'un ensemble de compétence et de technicité propre aux perliculteurs et greffeurs. C'est pour cela qu'il est essentiel, pour obtenir une perle de qualité de sélectionner avant la greffe des huîtres perlières de qualité (receveuses et donneuses de greffon), des greffeurs attentifs à la préservation du greffon et des nucléus propres et bien préservés. Pour ces derniers, le choix peut devenir problématique vu la diversité des offres du marché essentiellement originaire du Japon ou de Chine.

Les nucléus sont façonnés à partir de coquilles de moules d'eau douce (Famille des Unionidés) récoltées dans des fleuves en Chine ou aux USA. La qualité des nucléus proposés actuellement pour la filière perlicole Polynésienne est en général de qualité B et C car leur coût est moindre et les exigences au niveau de leur couleur uniforme blanche recherchées pour les perles Akoya (Japon) ou South Sea Pearl (Australie) sont moins essentielles pour notre perle de culture de Tahiti. Toutefois, quelques principes de bases sont à respecter pour espérer obtenir une perle, notamment en exigeant une surface propre sans impuretés ou débris divers. Il apparaît que l'observation de la surface de nucléus, ordinaire ou "biocoated" (après nettoyage de l'enrobage), à l'aide d'outils performants comme le microscope électronique à balayage permet de mettre en évidence la présence de problèmes sur la surface de ces nucléus. Nous avons voulu par ces observations conduites par un technicien d'Ifremer à l'aide du MEB de l'Université de Polynésie française (UPF), observer des échantillons de nucléus de qualité différente nettoyés ou pas en observant leur surface.



Photo1 - Microscope électronique à balayage (MEB) de l'UPF - © Cédrik LO / DRM

LE MEB, UN OUTIL PERFORMANT POUR OBSERVER LA QUALITÉ DE SURFACE DES NUCLÉUS

Les images obtenues grâce au MEB, nous ont permis d'identifier sur la surface des nucléus observés la présence de traces de perforation certainement dues à des microorganismes foreurs (photos 2), de débris divers (photos 3), de résidus de ponçage lors de l'usinage de ces derniers (photos 4). Les observations ont aussi permis de confirmer la qualité de surface supérieure des nucléus de qualité B sans résidus. Ces observations seraient certainement passées inaperçues à l'œil nu.

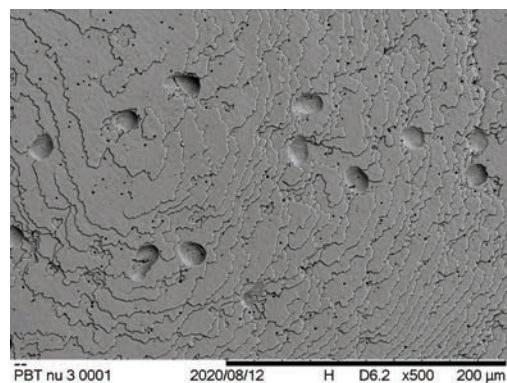
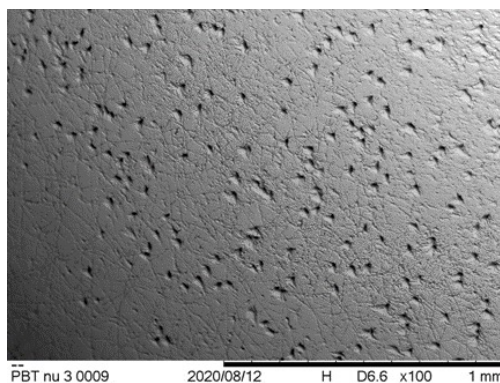
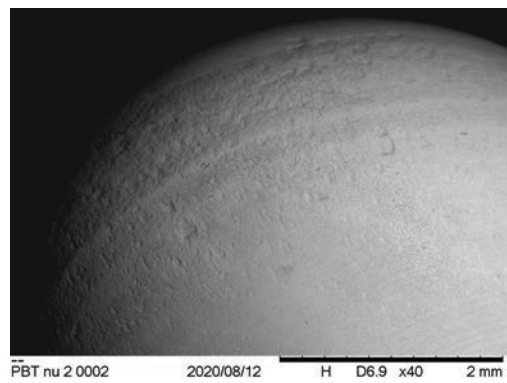
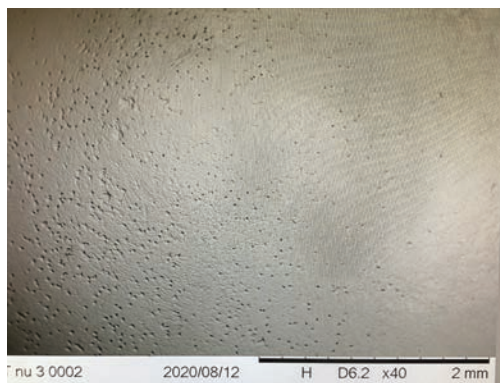


Photo 2 - Nucléus de mauvaise qualité avec présence de surface présentant des défauts ou des traces d'organismes foreurs au niveau de sa surface - (Photos de Claude Soyez et Caline Basset / Ifremer).

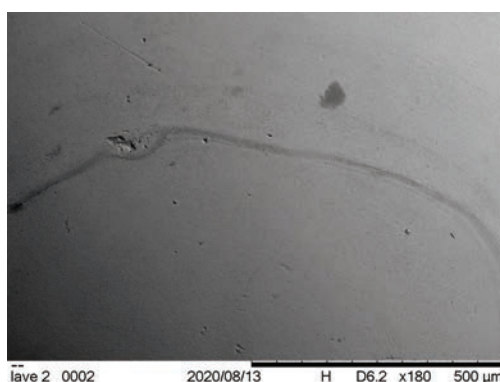


Photo 3 - Surface de nucléus de qualité B et présence de débris sur sa surface - (Photos de Claude Soyez et Caline Basset / Ifremer).

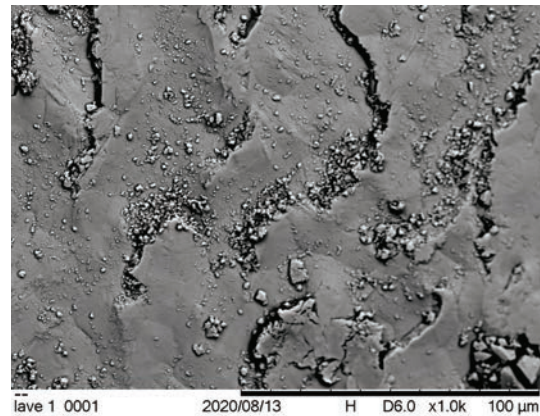
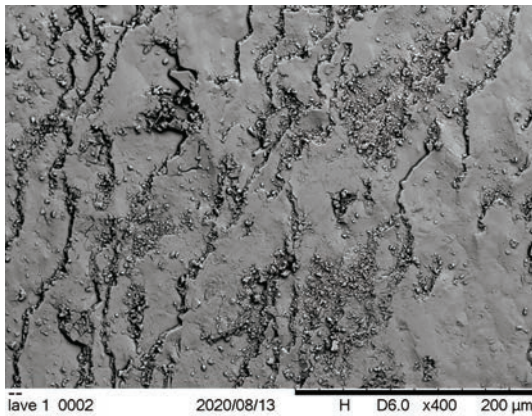


Photo 4 - Surface d'un nucléus mal nettoyé avec présence de résidus du ponçage - (Photos de Claude Soyez et Caline Basset / Ifremer). Remarque : Pour éviter ce type de dépôt nous suggérons un nettoyage dans une cuve à ultrason pour bien détacher les poussières des couches de nacre.

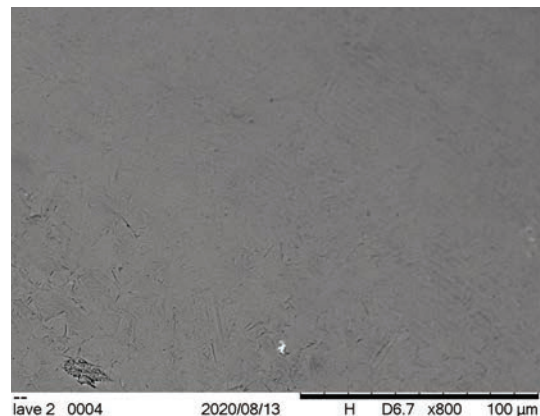
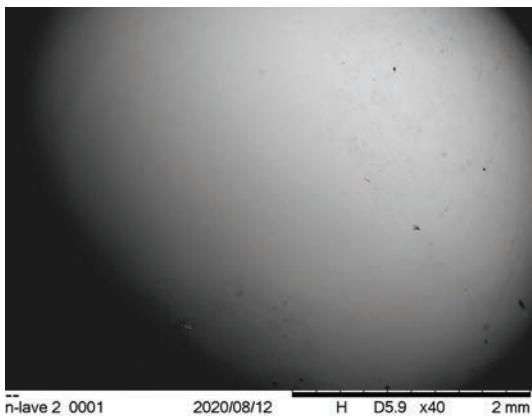


Photo 5 - Surface lisse et propre d'un nucléus nettoyé à la cuve à ultrason - (Clichés MEB et mise en évidence d'anomalies réalisés par Claude Soyez et Caline Basset de l'Ifremer).

Ces images MEB ont le mérite de mettre en évidence à la fois des problèmes de qualité des coquilles utilisées mais aussi ceux liés à la qualité du travail des fabricants de nucléus et au soin apporté au conditionnement du nucléus lors des greffes. Il est évident qu'un nucléus dont la surface est accidentée accrochera plus facilement les impuretés, débris divers et autres bactéries ce qui pourrait perturber la cicatrisation de la poche, la mise en place du sac perlier et la biominéralisation mais aussi générer des défauts (piqûre, cerclage...).

Que le nucléus soit enrobé (biocoated ou nu (ordinaire)), il est très important de limiter au maximum les manipulations et le risque d'introduction au moment de la greffe, de pollutions présentes sur leur surface.

En effet, les cellules biominéralisatrices du greffon doivent progresser sur la surface du nucléus pour l'envelopper totalement et former le sac perlier.

Même si un polissage parfait n'est pas toujours nécessaire, les poussières sur le nucléus, les traces de produits nocifs résiduels, les contaminations introduites lors de la greffe (les micro organismes, les bactéries...) ou d'autres débris cellulaires résultant de la découpe du greffon ou de l'incision de la poche perlière sont autant d'éléments pouvant perturber la reprise de la biominéralisation.

Dr. Cédrik LO
responsable projet R&D CIV perliculture
(cedrik.lo@drm.gov.pf)

LES PROJETS MAIAO : UNE AUTRE VISION DE LA PERLE

UN OUTIL NUMÉRIQUE EFFICACE ET FIABLE POUR GARANTIR L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE NACRE DE NOS PERLES DE CULTURE DE TAHITI

Au cours des projets MAIAO, issus d'une collaboration fructueuse entre le gouvernement, l'Université de la Polynésie française (UPF) et le secteur privé, un système de vision industrielle pour l'automatisation de l'évaluation de l'épaisseur de la couche de nacre de la perle de culture de Tahiti a été développé afin de permettre un contrôle efficace à grande échelle et une certification fiable basée sur des procédures numériques. Les projets ont abouti à 5 publications scientifiques, un brevet et l'implémentation d'un logiciel « made in Fenua » opérationnel sur les machines à rayons X de la Cellule Contrôle de la Qualité de la Perle (CCQP) de la Direction des Ressources Marines (DRM).

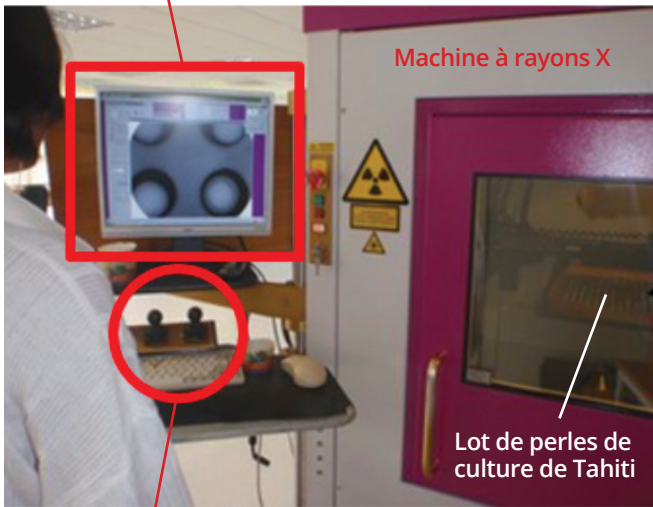
Les projets MAIAO (Mesure Automatique de l'épaisseur de la nacre par rayons X) s'inscrivent dans un effort collaboratif entre la Direction des Ressources Marines (DRM), l'Université de la Polynésie française (UPF) et Loesdau Machine Vision Tahiti (LMV Tahiti) afin d'augmenter la précision et la fiabilité de l'évaluation de l'épaisseur de la couche nacrée de la perle de culture de Tahiti. Cette évaluation, effectuée à la Cellule Contrôle de la Qualité de la Perle (CCQP) de la DRM, a pour but de garantir l'épaisseur des perles de culture de Tahiti vendues sur le marché international et permet de répondre à la demande des clients étrangers

souhaitant une certification fiable de l'épaisseur de la perle, critère de qualité.

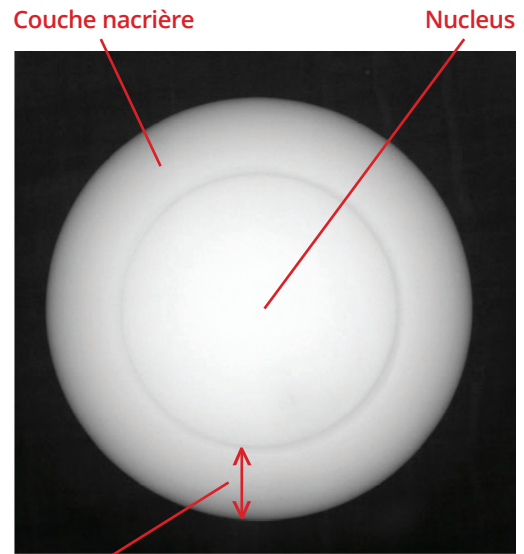
Le contrôle de qualité de la couche nacrée consiste notamment à une analyse de l'épaisseur de la couche de nacre de la perle de culture de Tahiti. Étant un paramètre de qualité qui dépend de la structure interne de la perle, il n'est pas analysable à l'œil nu. Des machines à rayons X sont utilisées à la CCQP pour visualiser sur un écran cette structure interne de la perle afin de permettre au contrôleur d'analyser et classer les perles selon l'épaisseur de leur couche nacrée.



Visualisation de la structure interne des perles radiographiées



Manettes pour piloter la machine à rayons X



Épaisseur local de la couche nacrée

Machine à rayons X utilisée à la Cellule Contrôle de la Qualité de la Perle pour visualiser la structure interne de la perle (à gauche) et l'image aux rayons X d'une perle ronde (à droite).

Auparavant, cette analyse était effectuée manuellement, à l'œil nu par les utilisateurs, ce qui était un processus fastidieux, fatigant, sans compter le manque de précision du résultat. Pour améliorer ce processus, le premier projet MAIAO a été créé en 2016 dans le cadre d'une collaboration entre la DRM et l'UPF (Laboratoire GePaSUD) afin d'analyser si l'évaluation de l'épaisseur de la couche de nacre de la perle de culture de Tahiti pouvait être automatisée avec des outils du domaine de la vision industrielle. Une étude de faisabilité a été

effectuée, démontrant que l'analyse effectuée à partir d'images en rayons X avec des outils de vision par ordinateur était réalisable.

Un logiciel a donc été développé dans le cadre d'une thèse de Doctorat, permettant de délimiter automatiquement les contours de la perle, du nucleus et des cavités à l'intérieur de la perle dans les images à rayons X. À partir de ces contours, le profil de l'épaisseur de la nacre est calculé, analysé et classifié avec ce même logiciel.

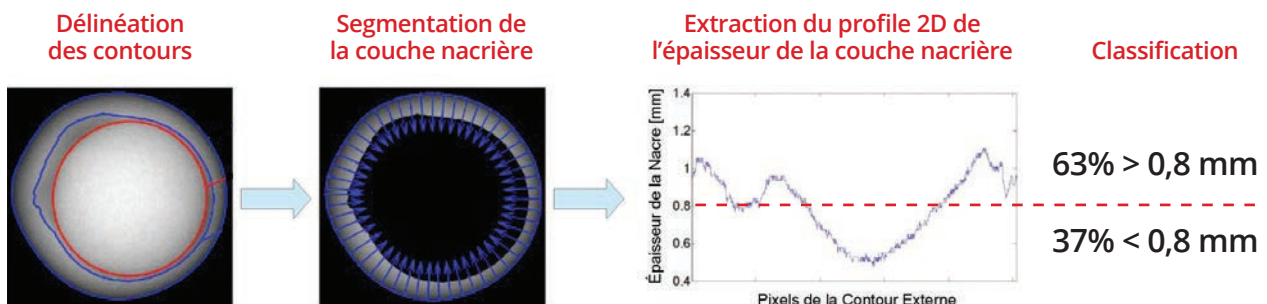


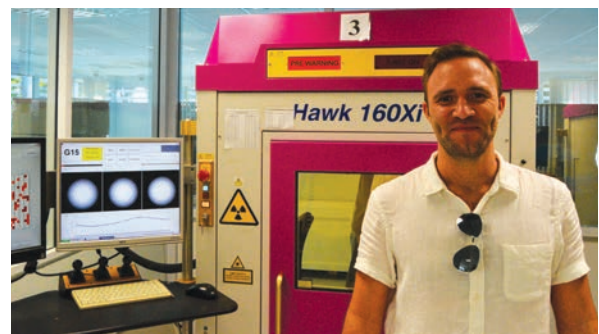
Schéma de la procédure de l'analyse automatisée de la couche nacrée de la perle de culture de Tahiti avec des outils de vision par ordinateur.

AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ

Dans une deuxième phase du projet, la faisabilité d'un paramétrage et d'un pilotage automatisé des machines à rayons X, afin de garantir une prise d'image à rayons X optimisée a été démontrée. Par la suite, un prototype d'un logiciel comportant l'analyse des images en rayons X, le paramétrage et le pilotage de la machine à rayons X et une interface graphique permettant à l'utilisateur de paramétrer et surveiller l'analyse automatique ont été développés et installés sur une machine à rayons X de la CCQP. Suite à la phase de test du premier prototype, un deuxième projet MAIAO, effectué toujours dans le cadre d'une collaboration entre la DRM et l'UPF, a été mis en place en 2018. Pendant ce projet, le prototype a été amélioré en se basant sur les résultats de la phase de test. La nouvelle version du prototype a été testée et mise en œuvre sur toutes les machines à rayons X de la CCQP, résultant en un système de vision industrielle opérationnelle pour une analyse automatisée à grande échelle de la couche nacrée de la perle de culture de Tahiti. Après un an d'analyse automatisée à grande échelle et des milliers de perles contrôlées avec les prototypes, un troisième projet entre la DRM et LMV Tahiti a débuté en 2020 afin de faire évoluer le logiciel prototype en version professionnelle et définitive. Une réécriture complète du logiciel a été effectuée en incorporant les résultats des analyses des années précédentes et l'expérience des contrôleurs de la CCQP avec le prototype. En plus de l'augmentation de la vitesse et de la précision de l'analyse automatisée, des fonctions supplémentaires ont été rajoutées, notamment la sauvegarde conséquente des données recueillies

pendant l'analyse de la structure interne des perles, comme par exemple, la taille du nucléus, la taille de la perle, la taille des cavités et le profil 2D de l'épaisseur de la nacre. Ces informations forment une base de données importante, exploitable pour tout autre projet relié à l'analyse de la nature et la culture de la perle de culture de Tahiti, comme par exemple, l'analyse des liens entre l'épaisseur de la couche nacrée et les paramètres de la culture de la perle comme la taille du nucléus, la situation géographique de la ferme perlière et la qualité de l'eau du lagon. L'exploitation de cette base de données ainsi qu'une implémentation d'intelligence artificielle pour encore améliorer le contrôle de qualité de la perle de culture de Tahiti sont envisagées dans la suite des projets MAIAO.

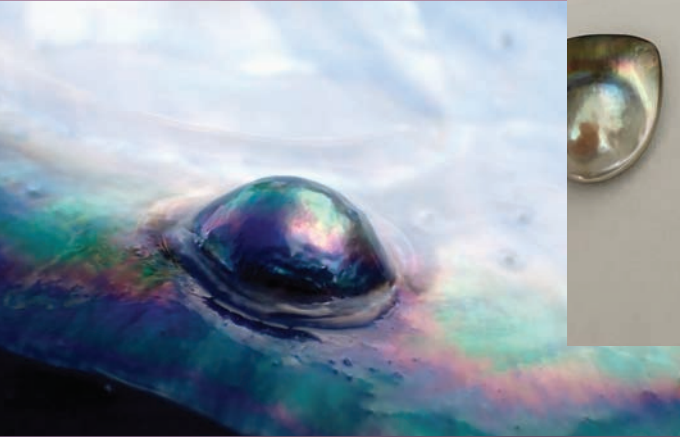
Dr. Martin LOESDAU



Martin LOESDAU, l'inventeur du logiciel MAIAO et directeur de Loesdau Machine Vision Tahiti devant une machine à rayons X utilisée à la Cellule Contrôle Qualité de la Perle de la Direction des ressources marines pour évaluer l'épaisseur de la couche de nacre de la perle de culture de Tahiti.

Conclusion :

En conclusion, les projets MAIAO issus d'une coopération fructueuse entre le gouvernement, l'Université de la Polynésie française et le secteur privé ont permis l'amélioration de l'évaluation de la couche de nacre de la perle de culture de Tahiti qui est passée d'une simple idée à une implémentation professionnelle opérationnelle "made in Fenua" au moyen de travaux scientifiques. Pour atteindre l'objectif principal qui était l'automatisation de l'évaluation de l'épaisseur de la couche nacrée à l'aide d'outils de vision industrielle, 5 publications scientifiques et un brevet sur la procédure de l'analyse automatisée appartenant à la Polynésie française ont été réalisés. Aujourd'hui, le logiciel développé permet un contrôle efficace à grande échelle et une certification fiable basée sur des procédures numériques, ceci pour répondre à la demande des clients internationaux et pour maintenir la haute réputation de la qualité de la perle de culture de Tahiti sur le marché international.



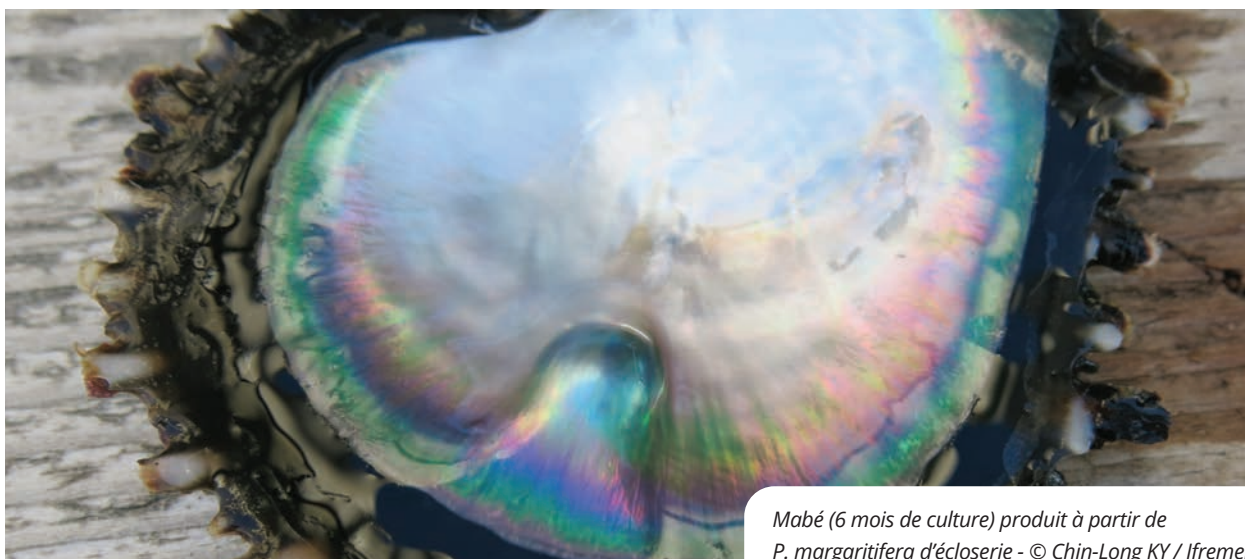
DIVERSIFICATION



VERS UNE DIVERSIFICATION DES PRODUITS PERLIERS ?

LA PRODUCTION COMBINÉE DE MABÉ, KESHI ET PERLE À PARTIR DE L'HUÎTRE PERLIÈRE

*Au côté de la perle de culture, l'huître perlière *P. margaritifera* en Polynésie française est peu exploitée, à grande échelle, pour la production de keshi colorés de haute valeur et encore moins de mabé colorés. Cela est lié à la difficulté de trouver des huîtres perlières dont la face interne de la coquille présente des colorations attractives (ex : arc-en-ciel), indispensables à la production de ces produits perliers « secondaires », puisque ces mêmes huîtres sont mobilisées en tant que donneuses de greffon. Impensable de gaspiller une donneuse de greffon pour produire de tels éléments, qui pourtant possèdent une valeur marchande importante ailleurs dans le monde (notamment au Japon, où une véritable industrie existe autour du mabé). La convention de recherche RikiGEN2 avait pour objectif d'expérimenter de telles productions secondaires, à partir de familles d'huîtres perlières produites en éclosion. Des greffes/ implantations combinées ont été réalisées pour produire, dans un même individu, des mabé + keshi ou des mabé + perle.*



Mabé (6 mois de culture) produit à partir de *P. margaritifera* d'éclosion - © Chin-Long KY / Ifremer



*Keshi multicolore produit à partir de
P. margaritifera colorées - © Chin-Long KY / Ifremer*

EST-IL POSSIBLE DE PRODUIRE SUR LA MÊME HÙÎTRE RECEVEUSE DES MABÉ ET UNE PERLE, SANS ALTÉRER LA QUALITÉ DE LA PERLE ?

Les résultats des expérimentations semblent le confirmer. Dans ce projet, des expérimentations ont été réalisées visant à étudier le potentiel de l'huître à cumuler à la fois la production de perles de culture et celle de mabé (noté P+M), ainsi que de keshi et mabé (noté K+M) (dans une même huître receveuse), en utilisant pour cela une famille d'huîtres perlières colorées de seconde génération produites en éclosérie.

Pour ces essais, les combinaisons P+M et K+M ont été comparées aux huîtres ne produisant uniquement que des perles (notée P), des mabé (notée M) et des keshi (notée K), au sein d'un dispositif expérimental utilisant des groupes de petites (queue de lot QL) et grandes (tête de lot TL) huîtres receveuses de cette famille G2.

Les résultats montrent qu'il n'y a aucune différence significative au sein de chacun des groupes QL et TL, sur le poids des perles, le poids du keshi ou l'épaisseur du mabé, quel que soit le type de combinaison.

Produire une perle seule, ou une perle et des mabé en même temps, ne semble pas constituer un obstacle pour l'huître perlière ; elle ne produira pas une plus petite perle, ou de qualité inférieure, parce qu'elle produit un mabé simultanément. En revanche, des différences significatives ont été observées entre les QL et TL. Les QL produisaient les mabé les plus épais, tandis que les TL produisaient les perles et les keshi les plus lourds. Ces résultats contrastés révèlent :

- 1) l'indépendance relative entre les deux tissus biominéralisateurs, à savoir, le manteau (croissance coquille et mabé) et le sac perlier (croissance perlière ou keshi),
- 2) la croissance compensatrice potentielle du petit groupe d'huîtres receveuses QL, qui présentait la performance de croissance de coquille la plus élevée en fin d'expérimentation (ce qui expliquerait que les TL aient produit les perles et keshi les plus lourds),
- 3) la haute capacité de biominéralisation du sac perlier du groupe TL.

Dr. Chin-Long KY
*chercheur en génétique
à Ifremer (chinky@ifremer.fr)*

DIVERSIFICATION ET VALORISATION DE LA FILIÈRE NACRE EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

La perliculture polynésienne est en pleine réorganisation. Les différentes crises auxquelles elle a dû faire face ces dernières décennies ont mis à mal la filière toute entière et les perles vendues ne permettent plus un revenu suffisant pour le producteur. Conscient de ces difficultés, la Direction des ressources marines s'est penchée sur des voies de valorisation de la coquille de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*. Ces coquilles représentent à l'exportation 1 299 tonnes en 2020 pour une valeur totale de 183 millions de francs pacifique.

Pourquoi valoriser la coquille P. margaritifera ?

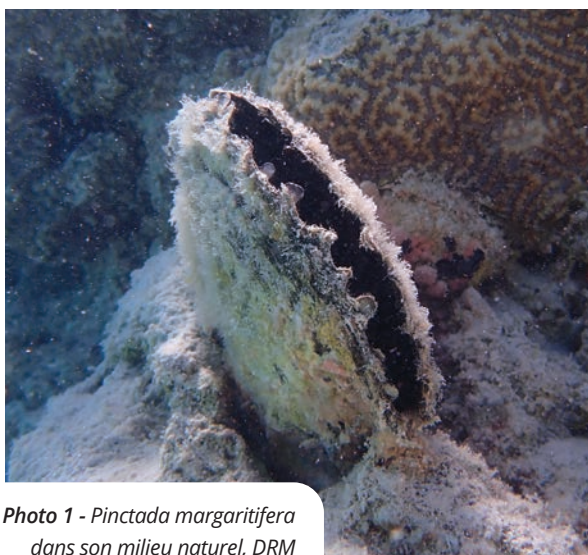


Photo 1 - *Pinctada margaritifera*
dans son milieu naturel, DRM

Ce mollusque est un organisme exceptionnel aux multiples propriétés que nous allons découvrir. De son vivant, il est capable de bio minéraliser des produits perliers exceptionnels comme la perle, le keshi ou encore les perles blister. Sa matière inorganique quant à elle renferme des propriétés extraordinaires.

VALORISATION DE LA P. MARGARITIFERA À L'ÉCHELLE LOCALE

Les produits perliers

Ce n'est un secret pour personne, la perle noire de culture de Tahiti est issue de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*. Cependant, au-delà des perles de culture de Tahiti, il y a les perles blister ; demi-perles issues de l'implantation d'un demi-nucléus sur la face interne de la coquille du mollusque. Une formation pilote a été réalisée sur l'atoll de Takapoto en juin et novembre 2021. Les résultats obtenus sont très intéressants et représentent un potentiel non-négligeable pour la diversification de la filière perlière.

À rappeler cependant qu'il est important de privilégier la qualité à la quantité.

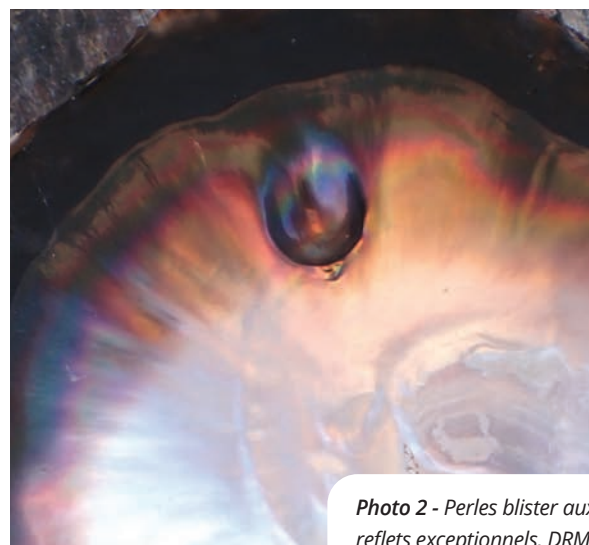


Photo 2 - Perles blister aux
reflets exceptionnels, DRM



La nacre, une explosion de couleurs

La coquille de *P. margaritifera* est utilisée depuis des siècles par le peuple polynésien. Elle a longtemps servi de monnaie d'échange, de présents voire même d'ustensiles. Cependant, elle a peu à peu cédé la place à un produit dont la valeur commerciale est plus importante, la perle de culture de Tahiti.

L'artisanat traditionnel et l'artisanat d'art demeurent néanmoins des secteurs de valorisation des différents coquillages de Polynésie française. Malheureusement, ce secteur rencontre de nombreuses difficultés à accéder à la matière première. Par l'évolution des pratiques de perliculture (moins de temps d'eau, moins de surgreffe, ...), les coquilles de *P. margaritifera* sont de petite taille rendant difficile le travail de l'artisan. Ces mêmes coquilles sont alors vendues directement à des négociants étrangers qui vont les exporter sur les marchés asiatiques.

Malgré leur petite taille, certaines coquilles présentent des couleurs exceptionnelles, allant d'une bande très irisée à des reflets rouges en passant par une bande jaune. Ces couleurs d'exception peuvent être mises en valeur par les artisans locaux de Polynésie française au travers de leurs créations.



Photo 3 - Bijoux en nacre fabriqués par des artisans locaux, DRM



Photo 4 - Montage de chutes de nacres, DRM

Afin de permettre un accès moins contraignant à cette matière première, la Direction des Ressources marines établit une liste des producteurs triant leurs coquilles et souhaitant les vendre aux artisans locaux.

La DRM poursuit également la réflexion sur les zones de grossissement des huîtres perlières pour qu'elles puissent atteindre les tailles de 12 cm et plus, ainsi que les coûts que cela peut engendrer.

L'activité des artisans génère également des sous-produits tels que de la poussière / poudre de nacre, ainsi que des chutes de nacres (photo 4) qui peuvent être utilisées et valorisées par la suite.

Nacre broyée aux propriétés exceptionnelles

Cette poudre de nacre peut être utilisée pour la fabrication de différents produits tels que de l'amendement calcique (Photo 5) pour l'agriculture permettant de neutraliser le pH du sol, des suppléments pour animaux notamment pour les poules pondeuses (Photo 6) nécessitant un apport quotidien en carbonate de calcium pour la formation de la coquille d'œuf.



Photo 5 - Granulats inférieurs à 1 mm de P. margaritifera pour l'amendement calcique, DRM



Photo 6 - Granulats supérieurs à 1 mm de P. margaritifera pour la supplémentation animale ou autre valorisation, DRM

D'autres produits peuvent être issus de cette poudre de nacre comme un béton coquillier (thèse en cours) ou un nucléus 100% polynésien, ou encore un amalgame pour substituer la résine utilisée pour remplir les perles blister (études en cours).

Les chutes de nacres quant à elles, peuvent être utilisées comme ornement, incrustation dans divers matériaux, comme revêtement pour un plan de travail, et bien plus avec de l'imagination et de la créativité.

Afin de mettre en place tous ces projets, des centres de valorisation de la nacre sont nécessaires. Ces centres de valorisation consistent à regrouper des volumes de nacres qui seront triées en fonction de leur taille, couleur, puis distribuées sur les différents circuits.

Pour celles destinées à l'artisanat, elles peuvent être polies pour faciliter le travail de l'artisan ou vendues à l'état brut. Les coquilles qui ne correspondent pas aux critères de l'artisanat seront broyées en différentes granulométries et les produits obtenus seront vendus aux clients finaux.

La DRM pourrait ainsi soutenir des porteurs de projet par un accompagnement technique. Une première convention de prêt de matériel (2021-2024) a déjà été établie avec une société privée qui effectue des essais sur le broyage des nacres, notamment pour des essais en agriculture, en collaboration avec la Direction de l'Agriculture (DAG).

L'avenir de la filière nacre

La coquille de *P. margaritifera* a de nombreuses qualités à exploiter. L'installation de centres de valorisation permettra de travailler les coquilles directement sur le territoire. Les perliculteurs pourront ainsi participer à cette valorisation à l'échelle locale, en vendant leur production à ces centres de valorisation, plutôt qu'en exportant cette matière première vers les marchés asiatiques. Cela permettra également aux artisans d'accéder plus facilement à la matière première tant convoitée pour leurs créations.

En développant de tels projets sur le territoire, le Pays répondra aux problématiques de dépendance de l'extérieur en assurant l'approvisionnement de certains produits (agricoles, nucléus, béton, ...). Bien évidemment ces projets prendront du temps avant d'être pleinement optimum sur le territoire de la Polynésie française.

La Polynésie française regorge de richesse à exploiter, et la nacre est une ressource à développer.

Roseline TUIRA (Chargée de la filière nacre)



UNE FORMATION À LA GREFFE DES PERLES BLISTER (MABÉ) À TAKAPOTO

La Direction des Ressources marines a mis en place une formation à la greffe de perles blister sur l'atoll de Takapoto, aujourd'hui considéré comme un atoll pilote pour y mener des projets. Cette formation d'initiation à la greffe de perles blister a été mise en place pour les détenteurs de la carte de Producteur de Produits Perliers (PPP). Les locaux de l'antenne de la DRM ont été le lieu de cette formation. Les perliculteurs de la place ont généreusement apporté à contribution leurs matériels lors des sessions de formation (tables, porte-nacres, pinces). Le CMNP de Rangiroa a également mis à disposition du matériel de greffe.

Pour cette première édition de formation, le formateur sélectionné est un ancien de Manihi, qui a fait ses armes au sein d'une ferme de renom ; la SPM de MR Rosenthal, où il a acquis de nombreuses compétences dans les suivantes, 1) les bonnes bases de la perliculture, 2)

une méthodologie pour la mise en place de tests comparatifs et des suivis très précis des mortalités et résultats. Ce point sur la méthodologie a notamment fait partie de la formation dispensée auprès des douze professionnels (PPP) de Takapoto. Outre la technique, pour une gestion de la ferme perlière, il est extrêmement important et essentiel de connaître :

- La quantité précise de nacres que nous greffons.
- La quantité précise de nacres mortes après chaque nettoyage.
- La quantité précise de nacres vivantes à la récolte.
- La quantité précise de perles ou perles blister commerciales récoltées.

DIVERSIFICATION

À partir de ces résultats, nous pouvons connaître précisément le pourcentage de réussite par rapport au nombre de nacres greffées. C'est à partir de cette base que nous pourrons effectuer des tests comparatifs.

Le premier point essentiel à connaître est le coût de revient. Le coût de revient correspond à l'ensemble des coûts directs et indirects (salaires, CPS, assurances, carburants, matériels, consommables, amortissements

des gros matériels, etc.).

Il s'agit du coût de fonctionnement de la ferme. Le coût de revient permet d'établir le prix de vente du produit.

Sans ces précisions, on obtient de mauvaises estimations, entraînant souvent la vente à perte, puis l'endettement et la faillite. Il s'agit malheureusement d'un schéma dans lequel de nombreux perliculteurs se sont retrouvés.

Dans l'encadré, un exemple de calcul de pourcentage

Exemple :

J'ai greffé **50 000 nacres**

Au 1^{er} nettoyage il y a **3 264 mortes** et **352 malades** : combien de **% de mortalité** ?
combien de **% de malades** ?

3264 : 50 000% = 6,53% de mortalité

352 : (50 000-3264) % =

352 : 46 736% = 0,7% de malades

À la récolte : il reste **32 520** nacres vivantes

On a **28 356 perles** : **quel % par rapport aux 50 000 nacres greffées ?**

quel % par rapport aux 32520 nacres vivantes (maintien) ?

28 356 : 50 000% = 56,7% par rapport aux nacres greffées au départ.

28 356 : 32 520% = 77,97% par rapport aux nacres vivantes à la récolte.

SECOND POINT ESSENTIEL ABORDÉ LORS DE LA FORMATION : LA QUALITE DU PRODUIT

Les perles blister sont assez rares à la vente. Il est donc important de ne pas reproduire les mêmes erreurs qu'avec la perle de culture de Tahiti. Il ne faut vendre que les perles blister de très bonne qualité, et détruire celles de qualité inférieure. En vendant uniquement des produits de qualité supérieure, le prix de vente sera correct pour les producteurs et cela permet de conserver une image de rareté et de qualité sur les marchés de vente. Voici quelques images des formations dispensées à l'antenne DRM de Takapoto :



Photo 1 - Session de formation à la greffe de perles blister



Photo 2 - Nacres sélectionnées pour la greffe de perles blister



Photo 3 - Récolte et résultats

Sur la figure 3, les résultats observés sont très positifs. Les perles blister sont colorées et de qualité. Après ces étapes, le tri des perles blister a été initié : forme, qualité, couleur, puis la découpe pour la vente aux artisans et bijoutiers.



Photo 4 - Tri des nacres greffées



Photo 5 - Formation à la découpe des perles blister après récolte

Remerciements : aux agents de la DRM, Roseline TUIRA et Cédrik LO (Fare Ute), Tavi et Raka (Antenne Takapoto), aux PPP qui ont été présents et motivés, à la commune et la population de Takapoto, au centre de formation du CMNP de Rangiroa et à Cyril Rosenthal.

Crédit photo : Roseline TUIRA, Vetea LIAO et Philippe de Villèle (auteur de l'article).

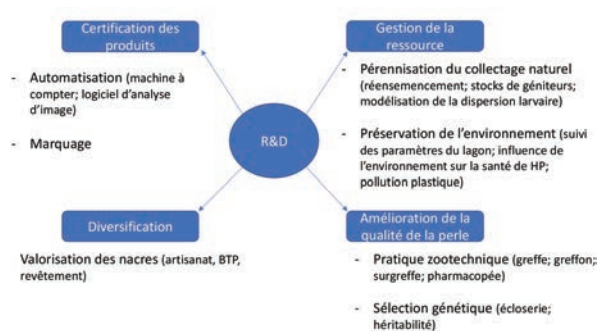
Philippe de VILLÈLE

PERSPECTIVES HORIZON 2026 "RECHERCHE INNOVATION & VALORISATION"

LA RECHERCHE INNOVATION & VALORISATION EN SOUTIEN AU DÉVELOPPEMENT ET À LA DIVERSIFICATION POUR LA VALORISATION DES PRODUITS DE LA FILIÈRE PERLICOLE ET NACRIÈRE - PERSPECTIVE À 5 ANS

Pour les 5 années à venir la Recherche Innovation & Valorisation continuera à accompagner le développement de la filière huître perlière et nacre dont les objectifs s'organiseront autour des axes habituels : l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel, la production et la commercialisation.

L'objectif pour les 5 années à venir est de poursuivre notre stratégie de développement durable de la perliculture sur les différents axes identifiés (Fig. 1).



I. Pour l'axe "Environnement & Sauvegarde du milieu naturel", il s'agira de poursuivre les travaux de recherche liés à la pérennisation du collectage naturel (évaluation des stocks de reproducteurs, modélisation du déplacement des larves, stratégies de réensemencement) en collaboration avec l'IRD et l'Ifremer. Ainsi que ceux liés à la préservation de l'environnement tels que le

suivi de la qualité de l'eau (programme RESOLAG), l'impact des variations environnementales sur les huîtres perlières par la valvométrie des nacres (Univ. Bordeaux), l'impact des pollutions plastiques sur l'environnement et sur les huîtres perlières et la recherche sur les matériaux de substitution au plastique utilisé dans la perliculture (financés par l'UE dans le cadre du programme PROTEGE) avec aussi la poursuite des travaux sur la mise au point de collecteurs biosourcés (UPF). Il faudra également veiller à préserver, voire réhabiliter, les caractéristiques génétiques des nacres spécifiques aux différents archipels de Polynésie française pour ne pas perdre la diversité génétique qui sera garante, dans le futur, de la conservation des qualités diverses de *Pinctada margaritifera*. Dans ce sens, un programme international a été financé par une grande entreprise de luxe afin d'apporter des réponses sur l'adaptation au changement climatique, sur les capacités d'adaptation génétique des populations d'huîtres perlières à l'échelle mondiale et sur la biominéralisation, la traçabilité des cheptels d'huîtres perlières en Polynésie française afin d'évaluer les opportunités de transfert inter îles ou à partir d'écloserie.



II. Pour l'axe "Production" et la sécurisation de l'approvisionnement des professionnels en huîtres perlières, il s'agira de poursuivre la stratégie de production de nacres sélectionnées en éclosérie.

Pour cela, les travaux de recherche en amélioration génétique des *P. margaritifera* se poursuivront avec l'Ifremer et le CNRS (Programme QUANAPA via 4 actions principales débouchant potentiellement sur des retombées très concrètes pour la filière (i) la greffe double (ii) la perle rouge (iii) une meilleure compréhension de la croissance et de son contrôle à des fins d'optimisation de la qualité de la perle (par ex. croissance compensatrice) (iv) la nacre des Marquises). De plus, le transfert technologique des résultats de la recherche sera soutenu par un appui du Syndicat des sélectionneurs avicoles et aquacoles français (SYSAAF) et sera adapté à la demande aux besoins des écloséries privées de production. Une éclosérie de recherche pilote sera fonctionnelle en 2022 à l'antenne de la DRM de Takapoto afin de soutenir l'effort de mise en place de programmes de sélections rationnels (nacre et perles) et de mener des expériences en éclosérie pour évaluer l'effet de la pharmacopée halieutique sur les huîtres perlières (optimisation de la croissance, migration cellulaire, réduction du stress, asepticité) en collaboration avec Texinfine Tahiti.

Pour améliorer la rentabilité des fermes, les programmes de recherche innovation & valorisation seront menés sur l'amélioration du ratio de perles commercialisables de qualité, notamment en tentant de réduire les défauts et en augmentant le taux de perles rondes. Pour cela, des travaux de recherche pour favoriser l'adhésion du greffon au nucléus avec l'Université Paris – Sorbonne seront poursuivis et des greffes expérimentales organisées. Des analyses microstructurales de la biominéralisation seront menées en collaboration avec le Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN) de Paris en utilisant les équipements d'observation disponibles à la DRM et à l'UPF. Ces différents outils d'observation ont pour objectif d'analyser la mise en place de la biominéralisation sur les nucléus de manière précoce afin de juger le plus rapidement possible de l'effet de telle ou telle expérimentation (qualité du nucléus, nouveaux enrobages, nouveaux nucléus ou perle blister 100% locaux biosourcés, technique de greffe innovante...) sur la qualité de la perle.

Au niveau zootechnie d'élevage, il sera proposé de mener des expériences dans les fermes pour lutter contre les prédateurs des nacres qui, dans certains sites perlicoles, impactent significativement les récoltes de perles.

III. Pour l'axe dédié à la "commercialisation" pour accroître les exportations des produits perliers et nacriers et éventuellement se diriger vers une labellisation de ces produits, il est prévu de poursuivre les travaux en cours pour améliorer les outils de contrôle de la qualité (machine à compter automatisée, mesure automatisée des différents critères de qualité) et de traçage des perles (marquage physique ou chimique).

En parallèle de la filière perliculture, une attention particulière sera apportée pour poursuivre nos efforts pour relancer la filière « NACRE » afin que ce produit retrouve ses lettres de noblesse et participe à la création de nouvelles sources de revenus pour les professionnels du secteur.

Pour cela, des travaux de recherche seront menés pour sécuriser la production de coquilles de grande taille et/ou épaisses destinées à l'approvisionnement de notre artisanat d'art traditionnel Polynésien, source de revenu à fort potentiel notamment pour nos jeunes créateurs Polynésiens, mais aussi répondre à la forte demande mondiale en nacre de qualité.

Les recherches innovantes sur un usage alternatif des nacres participeront à l'effort de création d'une économie circulaire autosuffisante avec, par exemple, l'amendement calcique agricole (financement UE PROTEGE, ADEME et Pays) en collaboration avec la DAG et des partenaires privés mais aussi la thèse initiée en 2022 et menée par un jeune Polynésien (UPPA, DRM) pour la valorisation des coquilles de *Pinctada* (nacre et pipi) dans les matériaux cimentaires.


Il est également proposé de poursuivre l'effort de diversification en soutenant le développement d'une production de haute qualité de perles blister 100% polynésienne et biosourcées qui pourra bénéficier des avancées en matière de sélection génétique des huîtres perlières (couleur, épaisseur...).

Tous ces travaux sur la nacre participeront aussi, nous le souhaitons, à la valorisation de l'ensemble des mollusques nacriers de Polynésie française (Pipi, troca, burgau, Chama, bénitier, moule géante...) dont la diversité et la qualité sont encore peu exploitées et valorisées.

Nos atouts sont nombreux et la "Recherche innovation & valorisation", basées sur les différents modèles d'études issus de nos ressources marines, participera au développement durable d'une économie circulaire qui nous l'espérons, permettra à la Polynésie française d'acquérir une certaine autosuffisance.

Dr. Cédrik LO (DRM)



Fare Ute - Immeuble Le Caill - 2^e étage
B.P. 20 - 98713 Papeete, Tahiti, Polynésie française
Tél. : (689) 40 50 25 50 - Fax : (689) 40 43 49 79
Email : drm@drm.gov.pf
www.ressources-marines.gov.pf
 [ressources marines](https://www.facebook.com/ressourcesmarines)



Plus d'infos, scannez le QR Code