



Projet HOBICAL

Synthèse et perspectives

I. RAPPEL DES OBJECTIFS

Notre projet de recherche est centré sur l'aquaculture de *H. scabra* dans et autour des bassins de crevetticulture, de manière à l'intégrer au mieux dans le tissu aquacole calédonien. Il est construit autour de deux grands axes que sont la culture en alternance crevettes - *H. scabra* dans un même bassin, et la culture intégrée crevette - *H. scabra* par une culture des holothuries en aval des bassins de crevettes.

Les objectifs scientifiques transversaux à ce projet sont :

- Evaluer l'importance relative des apports allochtones (aliments, effluents...) et de la production naturelle du milieu dans l'alimentation de *H. scabra*,
- Tracer le devenir de la matière organique et de ses nutriments associés au sein du système (assimilation, régénération, accumulation, export) et en déduire les facteurs de contrôle menant vers une bioremédiation ou inversement une eutrophisation du milieu,
- Lier les conditions environnementales qui en découlent aux performances de croissance de *H. scabra* et de *L. stylirostris*.

II. AXE 1 : CULTURE EN ALTERNANCE

Notre premier objectif a été de définir des protocoles de nutrition et d'associer à chacun d'eux, les performances de production, le degré d'assimilation de l'aliment et les performances de bioremédiation du milieu par les holothuries.

Après avoir défini le protocole de nutrition menant à la meilleure performance de production et celui menant à la meilleure bioremédiation du milieu, notre second objectif a été d'évaluer les bénéfices et les inconvénients de la culture en alternance en les comparant aux pratiques d'élevage actuellement utilisées en crevetticulture (assec, double ensemencement).

1. Elevage d'holothuries

1) Présentation de l'expérience

L'étude s'est déroulée sur la zone expérimentale située à la Station de Saint Vincent. Les structures utilisées sont des mésocosmes de 1600L et de 1,72m² de surface, dont le fond a été couvert d'une couche de 25 à 30 cm de sédiment provenant d'un bassin d'élevage semi-intensif de crevette (bassin G2 de la SASV).

Le plan expérimental présente 6 traitements différents répartis selon 3 protocoles de nutrition, trois densités et un contrôle.

Les trois protocoles de nutrition ont été testés à haute densité (7 ind.m⁻²) en triplicat :

- le traitement HD n'a pas reçu de nourriture.

- le traitement HD poisson a reçu de la farine de poisson dont le pourcentage azoté est de 14%.
 - le traitement HD maïs a reçu des déchets de maïs dont le pourcentage azoté est de 3%.
- Un bac contrôle a été laissé sans animaux pour suivre l'évolution naturelle du système. Pour le protocole de nutrition à base de farine de poisson (HD poisson), deux autres densités ont été testées en duplicat, un traitement à moyenne densité (MD poisson) avec 3,5 ind.m⁻², et un traitement à faible densité (FD poisson) avec 1,75 ind.m⁻².

Les animaux utilisés provenaient de l'écloserie de la ferme aquacole SEA, localisée dans la baie de St Vincent. La ponte des animaux a eu lieu en novembre 2013. Les animaux sélectionnés étaient donc âgés de 6 mois au début de l'expérience. La sélection a été réalisée de sorte que les lots par bac soient homogènes avec un poids moyen de 15,2 ± 0,2 g.ind⁻¹. Pendant les semaines précédant l'expérience, les holothuries ont été stockées dans les bassins de terre de la SEA sans être nourries.

L'expérience a débuté en mai 2014 pour une durée de 6 mois.

2) Performance de production


a) Culture en alternance entre *L. stylirostris* et *H. scabra* sans ajout de nourriture

En se basant sur la littérature, *H. scabra* est capable de taux de croissance compris entre 1 et 3 g.j⁻¹ sans aucun ajout de nourriture (Pitt et Duy 2004, Bell et al. 2007). Il serait possible d'obtenir des animaux de taille commercialisable (500g) en moins de 18 mois (Bell et al. 2007). Si cet objectif est concrètement poursuivi au travers d'essais de production actuellement en cours, il convient d'appréhender les conditions requises à l'obtention de tels rendements ainsi que les freins qui ne permettent pas aujourd'hui de les atteindre. Notre expérience a été menée afin d'isoler les facteurs structurants les performances de production et de bioremédiation de l'élevage de *H. scabra*.

Notre expérience indique que la principale contrainte de l'élevage de *H. scabra* est aujourd'hui liée à la nécessité de réaliser des cultures à faible densité. Deux phénomènes distincts imposent cette contrainte :

- La croissance de *H. scabra* est fortement densité dépendante. L'augmentation des densités semble augmenter la compétition intraspécifique pour l'exploitation de la ressource trophique entre les holothuries, réduisant ainsi leur croissance à haute densité. Indépendamment des facteurs nutritifs, plusieurs études montrent que l'augmentation des densités aboutit à une hiérarchisation entre individus et au final à une inhibition de la croissance des plus petits individus. L'augmentation de l'hétérogénéité des poids individuels des animaux qui en résulte, a des répercussions sur le temps d'élevage nécessaire pour obtenir des animaux de taille commercialisable.
- Il existe une valeur critique de biomasse comprise entre 200 et 300 g à partir de laquelle la croissance des animaux cesse. Cette valeur paraît très robuste et est rapportée par de nombreuses études. Cette valeur de biomasse est indépendante des densités d'élevage et ne semble pas pouvoir être expliquée par des relations intraspécifiques. Bien que notre étude ne permette pas de conclure de manière certaine, il semble que ce phénomène soit d'ordre nutritif. Ainsi cette valeur semble fixée par la capacité du système bassin à produire de la nourriture pour les holothuries. A partir de cette valeur de biomasse, la quantité de nourriture présente dans le bassin n'est plus suffisante pour pouvoir répondre aux besoins énergétiques des animaux. Nos résultats suggèrent que s'ils sont maintenus à de telles biomasses, des mortalités sont susceptibles d'apparaître.

Notre étude permet d'apporter plusieurs éléments pour mieux appréhender ces phénomènes :



La nutrition des holothuries n'est pas basée sur l'assimilation directe de la MO semi labile/réfractaire accumulée au sein des bassins crevetticoles, mais dépendrait de sa minéralisation par la boucle microbienne benthique. Ces produits de minéralisation sont efficacement recyclés au sein de la communauté microbienne et soutiennent une importante production primaire du microphytobenthos. L'ensemble de ces processus constituerait des sources de nourritures labiles soutenant la croissance des holothuries. La croissance des holothuries semble donc être soutenue par un pool de matière assez faible composé de MO détritique labile et vivante (bactérie, microphytobenthos) et doté d'un fort taux de renouvellement. Malgré les fortes capacités de ce système à s'autoalimenter, plusieurs paramètres font craindre un épuisement temporel de sa capacité à nourrir les holothuries. Ainsi il y a vraisemblablement deux processus différents qui mènent à la baisse de disponibilité des sources de nourriture :

- Un signal global, indépendant des holothuries, lié à une baisse de la labilité de la MO organique présente initialement dans le système et donc de son recyclage par les bactéries sous forme de MO labile et de nutriments.
- Un signal expliqué par la consommation de la MO labile et microbienne contenue dans le biofilm par les holothuries.

Le système semble bien évoluer vers une baisse de ses capacités de production dont résulte *in fine* l'établissement d'une capacité de charge maximum. La capacité de production d'un bassin évoluerait donc avec le temps d'élevage d'où la nécessité de développer des protocoles adaptés. Certaines variables environnementales comme la température pourraient influencer sur la capacité de la boucle microbienne à rendre la MO disponible, impactant de ce fait les croissances et la capacité de charge du milieu de manière saisonnière. Le lien entre cette dynamique et les différents pools de MO (en terme de quantités et de qualité) présents initialement dans le sédiment est à définir. Il pourrait avoir des conséquences dans le choix des bassins pour ce type de culture.

b) *Effet des protocoles de nutrition*

Au vu des conclusions précédentes, l'ajout d'aliments paraît être nécessaire pour augmenter les performances de production de l'élevage de *H. scabra*. Plusieurs études ont montré que l'ajout de nourriture augmente les croissances (Battaglione et al. 1999, Pitt et al. 2004, Watanabe et al. 2012) et les capacités de charge. Il serait possible d'atteindre des capacités de charge de l'ordre de 1000 g.m⁻² en milieu contrôlé (Watanabe et al. 2014, Robinson et al. communication personnelle), suggérant aussi la possibilité d'augmenter les densités d'élevage.

Les deux protocoles de nutrition testés dans ce travail ont montré leur capacité à augmenter la croissance des animaux mais pas la capacité de charge du système. Pour comprendre cette observation il est important de bien distinguer les facteurs contrôlant ces performances d'élevage.

- En effet, d'un point de vue nutritif, la croissance est contrôlée par la capacité des sources de nourriture à fournir les différents éléments nécessaires à la croissance somatique dans des proportions adéquates (N, P, acides aminés et acides gras non synthétisables...). Au final la vitesse de croissance d'un animal est donc fixée par le taux d'assimilation de l'élément le plus limitant.
- La notion de capacité de charge est quant à elle basée sur la quantité d'aliment disponible. Ainsi, la capacité de charge du système est fixée par un seuil de concentration en nourriture, à partir de laquelle les dépenses métaboliques ne peuvent pas être compensées par les apports énergétiques de la nourriture consommée. Le métabolisme étant principalement lié à la respiration, ce dernier est surtout régulé par la disponibilité en carbone.

Les déchets de maïs ont été la source de nourriture la plus performante avec une augmentation de 75% des croissances en début d'expérience par rapport aux autres



traitements. Cet aliment aurait été capable d'améliorer la qualité de la nourriture de *H. scabra*, en augmentant la disponibilité des éléments limitant. L'ajout de farine de poisson a mené à des résultats plus contrastés qui semblent liés à une dégradation de l'environnement d'élevage provoquée par de forts apports en azote. Néanmoins pour les traitements à plus faible densité (ayant reçu une quantité moindre d'aliment), la farine de poisson a aussi été capable de favoriser les croissances.

Les traitements nourris ou non ont tous connu un arrêt de croissance pour une biomasse de 210 à 220 g.m⁻². L'ajout de nourriture n'a donc pas permis d'augmenter la capacité de charge par rapport au traitement non nourri. Il semble donc que nos protocoles de nutrition ont bien permis d'augmenter la qualité des sources de nourriture de *H. scabra* mais pas leur quantité en terme de carbone organique assimilable.

L'analyse des traceurs trophiques permet de mieux comprendre les différents facteurs aboutissant à ce résultat. Seuls les marqueurs de l'azote se retrouvent au niveau des holothuries et aucun des marqueurs du carbone organique (carbohydrates et lipides) contenus dans les aliments n'a été assimilé. Or, la littérature reporte que les carbohydrates et les lipides sont les composés majeurs entrant dans les voies métaboliques de *H. Scabra*.

Deux hypothèses sont émises pour expliquer ce résultat. Il y aurait :


- soit un problème d'assimilation de l'aliment
- soit un problème de disponibilité de l'aliment.

Si *H. scabra* a une bonne capacité d'assimilation des protéines et des lipides, ce n'est pas toujours le cas pour les carbohydrates. La différence de réponse obtenue avec les données isotopiques pourrait s'expliquer par cette différence d'assimilation. Toutefois, comme les lipides sont normalement bien assimilés, l'absence de ces traceurs dans les holothuries montre qu'il ya aussi un problème de disponibilité de l'aliment (au moins pour la fraction lipidique). Ce résultat implique que malgré les apports d'aliment, *H. scabra* dépendrait en grande partie de la MO détritique et de la boucle microbienne comme source d'énergie pour son métabolisme.

L'ajout d'aliment dans les mésocosmes a clairement mené à un enrichissement du milieu d'élevage (augmentation de la MO détritique labile, du microphytobenthos et du métabolisme de la communauté benthique). Il semble donc bien qu'une quantité de matière plus importante transitait à travers la chaîne trophique benthique. Néanmoins, nos données suggèrent que les interactions entre holothuries, microbes et détritiques ne peuvent pas être expliquées par un simple modèle prédateur-proie. De plus, le taux d'ingestion des sédiments par une biomasse de 250-300g d'holothuries implique un turn-over des deux premiers millimètres de sédiments (ou se concentre les apports en nourriture) de l'ordre de 22 jours. La fraction labile des aliments a donc le temps de subir une dégradation bactérienne importante et/ou d'être consommée par la méiofaune et/ou la microfaune avant d'être ingérée par les holothuries.

Si les bactéries sont essentielles pour le recyclage des nutriments dans le système, ces dernières sont souvent considérées comme un puits de carbone dans les chaînes trophiques. Ainsi, la dégradation des aliments par les bactéries a sûrement mené à un bon transfert des composés azotés, mais à un transfert beaucoup moins efficace des composés carbonés.

Pour améliorer notre compréhension du devenir des aliments, il serait nécessaire de rentrer plus en détail dans la chaîne trophique benthique. Néanmoins, ce point représente un défi méthodologique et scientifique conséquent. Il est important de considérer que les holothuries se nourrissent sur un pool de nourriture varié (des bactéries <1µm; aux diatomées >1 mm). Ces dernières sont en compétition directe avec de nombreux organismes appartenant à la meio et microfaune pour l'acquisition de ces ressources. Dans le cadre d'un apport en aliment, nous devons envisager que cette compétition trophique puisse engendrer au final une diminution de la disponibilité en nourriture pour les animaux élevés.



Un autre effet négatif de l'apport en aliment a été montré dans cette étude. Un apport en farine de poisson (matière fortement azotée) en trop fortes quantités a mené à une hyper-eutrophisation des milieux qui se avérés être impropres à l'élevage de *H. scabra*. Les apports en azote ne doivent pas dépasser 0,1 g d'azote par m² et par jour, soit un apport en farine de poisson inférieur à 0,5 g.m⁻².j⁻¹. L'ajout d'une trop grande quantité de nourriture (farine de poisson ou déchets de maïs) a aussi fortement stimulé la demande en oxygène des sédiments, menant à des crises d'anoxie, qui ont elles même causé des mortalités. Il semble donc nécessaire de rester sous un seuil maximum d'apport en aliment de 2 g.m⁻².j⁻¹. Un seuil de 1 g.m⁻².j⁻¹ est recommandé par d'autres études.

Pour conclure, les aliments apportés ont conduit à augmenter la qualité des sources de nourritures (meilleure croissance), mais n'ont pas mené à une plus grande quantité de nourriture disponible (même capacité de charge) pour les holothuries. Des effets négatifs de cette alimentation ont aussi été montrés.

3) Performance de bioremédiation

a) Bioremédiation dans les milieux non nourris

L'analyse des sédiments a montré une évolution de leurs caractéristiques environnementales qui peut être qualifiée de bioremédiation.

En effet, ils ont montré :


- un appauvrissement avec une baisse de la labilité de la MO et une diminution des pools de substances réduites.
- un changement de composition de la communauté benthique dont la communauté microbienne.

Néanmoins, la comparaison entre le traitement non nourri avec le témoin sans animaux suggère que le rôle quantitatif des holothuries dans cette amélioration est très limité voir négligeable. En effet, dans le cadre de la culture en alternance, la MO accumulée dans le bassin, et devant être bioremédiée, est constituée de MO réfractaire et semi labile. Or les holothuries ne sont pas capables d'assimiler cette matière de manière directe sans une reminéralisation préalable par les bactéries.

D'après la littérature, le mode de nutrition des holothuries implique qu'elles ne se nourrissent activement que sur les deux premiers centimètres de sédiment et que le temps nécessaire à une biomasse d'holothurie de 250-300g.m⁻² pour assimiler cette couche de sédiment est de 220 jours (Lopez and Levinton 1987, Mercier et al. 1999, Taddei 2006, Slater et al. 2011). Ces éléments montrent bien que leur rôle quantitatif reste limité par rapport au pool total de sédiment mis en jeu dans la bioremédiation d'un bassin d'élevage.

Le même raisonnement peut être tenu d'un point de vue qualitatif. En effet, les taux d'ingestion du sédiment par les holothuries conduisent à un turnover du sédiment trop faible pour pouvoir avoir un effet direct sur la structuration de la communauté bactérienne. Ce raisonnement est valable pour les *vibrio*, pour lesquels la littérature indique aussi que ce genre est bien adapté pour résister au processus digestif de *H. scabra*. Il est donc peu probable que *H. scabra* ait eu un impact direct sur l'abondance relative des *vibrios* dans les bassins. Toutefois, cette hypothèse doit être vérifiée.

Ainsi le processus de bioremédiation mis en évidence dans notre étude est principalement lié à l'activité bactérienne qui conduit à une reminéralisation des pools de MO accumulés. Même si les holothuries ne semblent pas jouer un rôle déterminant dans la bioremédiation



des systèmes, leur élevage pourrait néanmoins permettre de rentabiliser cette pratique sous forme d'une jachère « productive » .

Nos résultats peuvent paraître contradictoires par rapport aux nombreuses études mettant en avant un potentiel de bioremédiation des holothuries dans les systèmes aquacoles (bassins, moulière et huitrière, cages à poisson...).

Cette différence s'explique par les différentes échelles de temps mises en cause dans le phénomène de bioremédiation. Dans ces études la bioremédiation est définie comme une meilleure utilisation des intrants dans le but d'optimiser les capacités de production du système d'élevage et de limiter leur impact sur l'environnement. Ainsi ces élevages représentent des systèmes de co-culture directe, ou en cascade, dans lesquels la matière devant être bioremédiée est composée d'aliment et/ ou de fèces se déposant directement sur la zone d'alimentation des holothuries.

Au contraire de la culture en alternance, ce mode d'élevage permet un lien direct et sur une échelle de temps courte entre les espèces. Les holothuries bénéficient ainsi d'un apport constant de matière organique labile qui leur permet d'avoir un rôle actif en tant que bioremédiateur au sein du système de production.

b) Y a-t-il un compromis entre apport d'aliment et bioremédiation ?

Nos résultats montrent clairement qu'un apport en aliment trop important et/ou trop riche en protéines mène à une eutrophisation du milieu compromettant l'objectif de bioremédiation de la culture en alternance. Néanmoins, une hyper- eutrophisation du milieu conduit à une baisse des performances de production des élevages d'holothuries. L'utilisation d'un apport organique moins riche en azote et dans des proportions adéquates comme les déchets de maïs, semble limiter la dégradation du milieu d'élevage tout en favorisant la croissance des holothuries. Ainsi, il ne semble pas y avoir d'exclusion entre nourrir le bassin afin de soutenir la croissance et améliorer l'état trophique des fonds de bassins, sous condition de rester sous les seuils définis dans notre étude.

2. Comparaison de l'élevage en alternance avec les pratiques habituelles de crevetticulture

1) Présentation de l'expérience

Cette étude fait suite à l'expérimentation précédente et s'est déroulée au sein des mêmes structures expérimentales.

Ainsi cinq traitements ont pu être intercomparés.

- Les sédiments « remédiés » (R) qui ont connu un élevage d'holothurie pendant 6 mois,
- Les sédiments « remédiés + maïs » (RM) qui ont connu un élevage d'holothurie avec un apport de déchets de maïs pendant 6 mois,
- Les sédiments « Assec Classique » (AC) ont connu une période d'assec habituelle de 3 mois,
- Les sédiments « Assec Long » (AL), ont connu une période d'assec longue d'une durée d'un an,
- Les sédiments « Tanne » qui sont les seuls à ne pas être issu du même bassin d'élevage et qui représentent des sédiments témoin n'ayant jamais subi d'élevage de crevette.

Les crevettes ont étéensemencées à P35 (c'est-à-dire 35 jours après le stade Post larve) à un poids moyen de 0,23 g. La densité d'ensemencement était de 20 crevettes/m². La gestion



zootechnique des crevettes visait à reproduire les stratégies de l'élevage semi-intensif calédonien. Les rations d'aliment ont suivi une courbe de nourrissage théorique basée sur les pratiques des fermes de production. L'expérience s'est déroulée sur 119 jours d'élevage de Mars à Juin 2015.

2) Statut environnemental des sédiments

Les différents traitements appliqués aux sédiments ont bien mené à des caractéristiques environnementales distinctes. Ainsi les sédiments AC présentaient de fortes teneurs en MO, une forte biomasse en microphytobenthos, une importante respiration de la communauté benthique et des variables indicatrices de stress (pH, ammonium).

Les sédiments "tanne" et "AL" ont montré de faibles concentrations en MO, en Chl *a*, de plus faibles taux de respiration et des variables de stress plus clémentes (sauf pour le pH des tannes). Il semble donc y avoir un compromis entre ces traitements entre d'un côté leur capacité à fournir un milieu avec une bonne valeur nutritive pour les crevettes, et de l'autre leur statut environnemental en terme de stress.

Les sédiments issus de la culture en alternance ont permis de réunir ces caractéristiques, en présentant des propriétés nutritives élevées (%MO, Chl *a*, respiration) et des niveaux bas en terme de stress (pH, ammonium).

L'évolution des sédiments a reflété la forte eutrophisation induite par l'ajout d'aliment lors d'un élevage de crevettes avec l'augmentation de l'ensemble des variables trophiques du milieu et des paramètres de stress pour la crevette. Cette expérience a permis de valider les observations réalisées sur les bassins aquacoles dans le cadre du programme ECOBAC, en reproduisant la réponse fonctionnelle du sédiment lors des différentes phases de l'élevage. Le sédiment a ainsi été très productif en début d'élevage et a montré une forte rétention des nutriments en son sein. Il a ensuite évolué vers un rôle de compartiment détritique, avec une baisse de sa production primaire et un relargage de nutriments vers la colonne d'eau. Cette expérience a aussi permis de mettre en évidence un fort impact de l'ensemencement des post larves sur le métabolisme sédimentaire. En effet, la respiration de la communauté benthique a subi une diminution d'un facteur 2,5 en l'espace d'un mois. Ce phénomène ne semble pas avoir été documenté auparavant et pourrait correspondre à la pression de prédation des post larves sur la communauté benthique. Ce processus pourrait donc s'avérer important quant à la capacité des fonds de bassin à fournir une source de nourriture abondante aux post larves en début d'élevage.

Dans le cadre d'HOBICAL, nous retiendrons surtout que la réponse fonctionnelle des sédiments a été identique pour les sédiments ayant eu un assec court et ceux issus de la culture en alternance sans ajout de nourriture. Le rôle des sédiments est donc dicté par la ration journalière et l'activité de bioturbation des crevettes au cours de l'élevage plutôt que par les conditions initiales.

Néanmoins, les conditions initiales des sédiments ont permis d'avoir un effet tampon sur certaines variables considérées comme stressantes. Ainsi les traitements ayant les plus faibles taux d'ammonium et les meilleurs pH ont conservé ces caractéristiques au cours de l'élevage. Ce phénomène pourrait représenter une diminution des facteurs de risques par rapport à l'émergence des pathologies durant l'élevage.

3) Performance de production

L'ensemble des traitements a mené à de bonnes performances zootechniques avec des survies finales supérieures à 86%.

Les performances de production ont été significativement plus élevées pour le traitement de culture en alternance nourri avec des déchets de maïs. Ceci confirme bien qu'il n'est pas néfaste de nourrir les holothuries dans le cadre de la culture en alternance.

Néanmoins il n'y a pas de différences significatives entre le traitement AC et le traitement R. Il est donc difficile de mettre en avant un avantage bénéfique de la culture en alternance par rapport à la pratique de culture classiquement réalisée sur le Territoire. Les très bons résultats d'élevage reflètent l'absence de vibriose pendant notre expérience, ce qui a été confirmé par le statut sanitaire des animaux à la pêche. Ainsi nous ne sommes pas en mesure de conclure par rapport au potentiel bénéfique de la réduction des facteurs de stress sédimentaire dans le cadre du déclenchement d'épizooties.

Nos résultats n'apportent donc pas de preuve déterminante quant à un potentiel « effet holothurie ». Néanmoins l'amélioration des variables environnementales des sédiments grâce à la culture en alternance, pourrait s'avérer particulièrement intéressante dans les bassins ne permettant pas de réaliser d'assecs de manière satisfaisante.

3. Perspectives


1) La zootechnie

Les résultats de cette étude permettent de mieux définir des modèles de production pouvant être appliqués sur du court terme. En effet, dans le cadre d'élevages non nourris, la nature fortement densité dépendante de la croissance des animaux et l'existence d'une capacité de charge maximum de l'ordre de 200-300g contraignent fortement les stratégies envisageables afin d'obtenir des animaux à forte valeur ajoutée.

Plusieurs stratégies sont envisageables :

- La première - qui est la plus simple - est de réaliser des élevages à une densité de départ optimisée, de 0,5 à 0,75 ind.m⁻². Elle semble pouvoir maximiser les croissances et permettre d'atteindre un poids moyen de 500 g sans écrémage pour un même bassin. Comme les productions actuelles de juvéniles sont encore marquées par une certaine hétérogénéité des animaux au sein d'un même lot, il serait préférable de ne pas ensemer la queue de lot de production d'écloserie afin de raccourcir la durée d'élevage.
- La seconde est d'ensemencer les bassins en surdensité et de réaliser des pêches sélectives des animaux commercialisables au fur et à mesure de l'élevage. Ceci permettrait d'augmenter le rendement du bassin tout en restant sous la capacité de charge de ce dernier. Néanmoins cette stratégie entraînerait un long temps de culture des animaux au sein du bassin et nécessiterait donc la mise en place de protocoles de nutrition adéquats.
- La troisième est de réaliser un élevage de pré-grossissement à forte densité dans un bassin puis de transférer les animaux à des densités optimisées dans d'autres structures pour attendre une taille commercialisable. Cette méthode est utilisée au Viet Nam où un pré grossissement de juvéniles de 2 g jusqu'à 50 g à des densités de 5 ind.m⁻² a permis d'optimiser le temps d'occupation des bassins lors de la phase de grossissement à 1 ind.m⁻² jusqu'à 350 g (Mills et al. 2012). Néanmoins cette méthode présente l'inconvénient de devoir réaliser plusieurs pêches.

Il existe une différence fondamentale entre l'aquaculture d'holothurie et de crevette qui n'est pas assez prise en compte à l'heure actuelle. En effet à la différence de *L. stylirostris* qui est une espèce carnivore, *H. scabra* n'est pas capable de "structurer" son milieu



d'élevage. Ainsi, dans le cadre de l'élevage d'holothuries, l'abondance des nombreuses espèces pouvant se développer dans un bassin n'est pas régulée par la pression de prédation de l'espèce élevée. En présence de nourriture abondante, ce qui est le cas dans un bassin d'élevage, ce milieu est donc propice à la prolifération d'espèces compétitrices voire prédatrices de *H. scabra*. Il est probable que ce déséquilibre soit encore plus marqué avec des apports en nourriture.

La prolifération de ces organismes représente un point de blocage très concret pouvant mettre en péril l'élevage de cette espèce. Il nous semble particulièrement important d'insister sur la nécessité d'augmenter la biosécurité des élevages par rapport aux habitudes liées à la crevetticulture semi-intensive.

Ce problème impacte d'autres secteurs de l'aquaculture mondiale, comme par exemple l'élevage extensif de crevette à Madagascar (Pierre-Philippe Blanc, com. pers.). Des moyens techniques efficaces existent pour y faire face (protocole de remplissage de bassin adapté, chaussette de filtration de 250 µm, piégeage des larves de crustacés...). Ces pratiques devront être considérées comme faisant partie intégrante de l'aquaculture de *H. scabra*.

Une autre voie de lutte contre ces espèces est le contrôle biologique de leur abondance via l'introduction d'espèces prédatrices. Le principe de cette pratique est de trouver un état d'équilibre bas et stable entre les prédateurs introduits et les proies ciblées. A cette fin, il est nécessaire que le prédateur soit spécifique aux proies ciblées, capable de se reproduire rapidement quand le nombre de proies augmentent et être capable d'avoir une bonne efficacité de recherche des proies. Dans le cadre de l'aquaculture il faut surtout qu'il y ait une bonne compatibilité entre l'espèce d'élevage et l'espèce dédiée au contrôle biologique.

Il existe à l'heure actuelle la volonté de réaliser le contrôle biologique du crabe *Thalamita crenata* via l'introduction de poissons carnassiers (caranges, loches..) au sein des bassins d'élevage. Ce schéma possède deux inconvénients :

- Il n'y a pas toujours de compatibilité entre *H. scabra* et ces poissons. Ainsi aux Philippines, des tests ont montré une incompatibilité entre *H. scabra* et certaines loches (*Epinephelus fusco*, *Epinephelus coioides*).
- Il existe une forte différence de dynamique entre des crabes, qui peuvent atteindre leur maturité dès 3 cm de large et pondre jusqu'à 200 000 œufs, et des poissons ciblés. Ainsi cette pratique pourrait se révéler inefficace.

Le contrôle de la prédation de l'espèce élevée reste problématique et engendre à l'heure actuelle des risques importants pour les élevages. Ces risques devront être évalués et s'ils sont trop importants, des solutions devront être trouvées. La régulation des larves de crustacés présentes dans le bassin, grâce à de petits carnivores benthiques et/ou des planctonivores dotés de vitesses de croissance et de reproduction rapides est une première piste.


Enfin, une co culture de *H. scabra* avec un organisme omnivore en réalisant une pression de prédation suffisante pour structurer le milieu d'élevage est une autre piste à explorer.

2) Environnement et nutrition

Afin d'optimiser ces élevages, il est nécessaire de mieux comprendre les facteurs régulant la croissance des holothuries, et particulièrement ceux fixant la capacité de charge du système.

Ainsi, il est important de mieux définir l'origine de la fraction carbonée de l'alimentation des holothuries, et de différencier le carbone issu de la dégradation de la MO accumulée au sein du bassin de celui issu de la photosynthèse du microphytobenthos.

L'importance relative de ces deux processus dans l'alimentation des holothuries fixera certaines caractéristiques clés de l'élevage. Ainsi cette dernière permettra de définir si un



lien entre la quantité/qualité de MO présente initialement dans le bassin et la capacité de charge existe. Elle permettra aussi de définir si la disponibilité en nourriture au sein du milieu est dynamique, et de savoir si elle s'épuise dans le temps et/ou si elle est affectée par les forçages environnementaux induits par les changements de saisons (baisse de température et de l'ensoleillement).

Une amélioration substantielle des limites de production contraignant le grossissement des holothuries ne semble pouvoir être réalisée que par l'apport de nourriture supplémentaire. En effet, des études récentes ont montré que physiologiquement *H. scabra* était capable d'une croissance de $3\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ et d'atteindre des charges de biomasse de $1000\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Notre expérience a montré qu'il était possible d'augmenter les performances de croissance des holothuries grâce à l'ajout d'aliments. Néanmoins il semble nécessaire de conduire des expériences plus ciblées afin de correctement identifier les éléments nutritifs limitant que les apports de nourriture ont permis d'augmenter. En effet l'apport de ces éléments limitant dans des quantités adéquates permettrait en partie de s'affranchir de la nature densité dépendante des croissances.

L'absence de réponses de la capacité de charge du système aux protocoles de nutrition appliqués montre qu'il y a eu un problème de disponibilité de la fraction carboné de l'aliment. Il est donc nécessaire, de travailler sur d'autres sources de carbohydrates et de lipides et sur leur assimilation par les holothuries. D'après la littérature, des aliments dérivés des micro-algues, et plus particulièrement des diatomées, pourraient être des candidats intéressants pour répondre à cette problématique.

Ces deux points soulignent la nécessité de mieux connaître les besoins nutritionnels de cette espèce pour laquelle nous avons aujourd'hui trop peu de connaissances.

Néanmoins, vu la capacité réduite des animaux à capter rapidement les aliments ajoutés au sein du milieu, la formulation d'un aliment artificiel, doit prendre en compte l'effet de la dégradation bactérienne et les difficultés de transfert de la fraction carbonée au sein de la chaîne trophique qui en découle.

Il semble donc qu'un aliment adapté soit basé sur des composés carbonés semi labiles afin que les holothuries puissent bénéficier de leurs produits de dégradation. Il est néanmoins nécessaire de mieux tracer le devenir des apports au sein de la chaîne trophique benthique, afin de comprendre les facteurs régissant leurs disponibilités pour les holothuries.

Au vu de l'importance des processus microbiens dans la production des sources de nourriture pour *H. scabra*, il est important de noter que lors de notre expérience la colonne d'eau est restée improductive. Cette dernière représente une deuxième boucle microbienne susceptible de générer des sources de nourriture assimilables via les flux de sédimentation. En effet notre étude en enclos côtier a montré que les flux de sédimentation étaient une source de nourriture essentielle pour les holothuries dans le milieu naturel. Enrichir la colonne d'eau pourrait permettre de soutenir les croissances en fin d'élevage quand la nourriture produite au sein des sédiments devient limitante.

3) Bioremédiation

Dans le cadre de la culture en alternance, notre étude indique que les holothuries ne semblent pas jouer un rôle déterminant dans la bioremédiation des bassins. *H. scabra* pourrait jouer un rôle bien plus actif en tant que bioremédiateur, dans le cadre de co cultures directes ou en cascades. Ainsi les futures études sur la capacité de bioremédiation des holothuries devraient avoir pour objectif une meilleure utilisation des intrants, afin d'optimiser les capacités de production du système d'élevage et de limiter leurs impacts sur l'environnement.

4) La polyculture

La polyculture apparaît comme une solution intéressante afin d'augmenter la productivité de ces systèmes aquacoles. Cette pratique permettrait d'occuper la colonne d'eau et d'augmenter le rendement du bassin. La culture de *H. scabra* avec une espèce omnivore pourrait permettre d'exercer une pression de prédation suffisante pour le contrôle biologique de certaines espèces potentiellement néfastes aux holothuries.

L'alimentation d'une espèce secondaire dans la colonne d'eau amènerait à la fois à un enrichissement de la colonne d'eau mais aussi à la production de fèces.

La co-culture pourrait donc permettre d'augmenter les performances de production de *H. scabra* en :

- Créant des flux de sédimentations contenant des composés aisément assimilables par les holothuries issus de la boucle microbienne de la colonne d'eau.
- Fournissant des sources de carbohydrates en cours de décomposition via les fèces. En effet, pour d'autres espèces d'holothuries (*A. japonicus*, *A. mollis*), les fèces de moules se sont avérés une source de nourriture permettant d'augmenter la capacité de charge du milieu.

Si la co-culture *H. scabra* et *L. stylirostris* ne peut être envisagée qu'à travers une séparation physique entre ces deux espèces, la dynamique de diversification aquacole engagée par le territoire permet de considérer de nombreux systèmes de production potentiellement performants.

Un test de faisabilité de co-culture entre le poisson *S. lineatus* et *H. scabra* a montré des résultats encourageants. Dans les conditions expérimentales utilisées, ces deux espèces ont montré une bonne compatibilité avec 100% de survie au bout de 66 jours. Cette stratégie a permis d'obtenir une augmentation de la croissance des holothuries (+54%), mais aussi de leur biomasse totale (+30%). Ainsi le système de co culture a atteint une capacité de charge finale en holothuries de 300 g.m⁻² tandis que cette dernière était de 230 g.m⁻² pour la monoculture. Ce système a surtout permis d'augmenter de 200% le rendement total de l'élevage grâce à la culture de *S. lineatus* dans la colonne d'eau. Ce mode d'élevage devrait permettre d'augmenter les performances de production des holothuries et du rendement total. Des expérimentations complémentaires sont toutefois nécessaires pour pouvoir valider nos premières observations.

III. AXE2 : ENCLOS A PROXIMITE DES FERMES DE CREVETTICULTURE

Notre objectif était d'étudier (1) la faisabilité zootechnique de mise en place d'enclos sous influence directe des sorties de bassin, (2) le devenir de la matière organique rejetée par les bassins de crevettes (assimilation ou pas par les holothuries) et (3) la ou les conséquence(s) environnementale(s) d'une telle action. Pour ce faire, nous voulions comparer les résultats avec ceux obtenus en enclos hors zone d'emprise (témoin). Malheureusement, ces objectifs n'ont pu être poursuivis car les bassins de la Ferme Aquacole de Montagne Blanches (FAMB) où se déroulait notre étude, n'ont pas étéensemencés en crevettes. Cet axe s'est donc concentré sur l'élevage en milieu côtier plutôt que sur la problématique d'un élevage en cascade. Cette étude vise à caractériser le lien entre sources de nourriture et croissance dans le milieu naturel, dans le but de fournir des connaissances complémentaires sur l'écologie de *H. scabra* et d'affiner la sélection des sites favorables à son élevage en milieu côtier.

1) Présentation de l'expérience

L'expérimentation s'est déroulée dans six enclos placés en mer ouverte. La localisation des enclos a été déterminée suite à une étude bathymétrique afin que les marées basses n'impliquent pas de découverture total des enclos. Deux zones ont été isolées : la zone dite « impactée » (Zi) située en sortie d'élevage et la zone dite « témoin » (Zt) proche de la station de pompage. Les enclos constituent des structures circulaires de 200 m² et de 1.63 m de hauteur. Leur ensemencement a eu lieu le 28 août 2014 avec 2000 animaux d'un poids moyen de 23 g. La densité à l'état initial était de 1.65 animaux.m⁻², soit 330 animaux par enclos, dans les deux zones.

2) Lien entre nutrition et performances de croissance

Bien que distant de seulement 800 m, nous avons observé une forte différence de croissance entre nos deux sites d'étude, la zone témoin montrant des croissances deux fois supérieures à la zone impactée. Nos résultats indiquent que sur notre zone d'étude la source de nourriture des animaux était issue des flux de sédimentation, et que le sédiment en lui-même semblait jouer un rôle faible.

Les analyses granulométriques ont permis de montrer qu'il existait une différence dans la répartition des classes de taille des sédiments entre les deux sites. Bien que les profils granulométriques soient assez semblables pour les classes de tailles supérieures à 125 µm, les fractions comprises entre 50 et 125 µm et inférieures à 50 µm (argiles) étaient respectivement 2 et 3 fois plus abondantes sur le site témoin que sur le site impacté.

Le site témoin présentait donc des conditions d'hydrodynamismes plus faibles, permettant un meilleur taux de sédimentation de la fraction fine de la matière en suspension et donc une meilleure disponibilité en nourriture pour les holothuries.

Ces résultats suggèrent que la notion d'interconnectivité entre écosystèmes semble essentielle pour les élevages en milieu côtier. Ainsi les sites favorables pour l'élevage d'holothuries semblent être constitués d'habitats connectés et capables de capter les apports allochtones de MO labile produite par cette connexion.

3) Perspectives

Les croissances obtenues lors de cette expérience montrent que nous sommes dans la moyenne de ce qui a été observé dans d'autres zones d'élevage (Madagascar, Viêt Nam...). Néanmoins, il semble exister des sites d'élevage avec des croissances et/ou des capacités de charge plus ou moins importantes (Chap. X). Notre étude s'est déroulée sur une zone réduite qui ne peut pas être considérée comme représentative de l'ensemble des biotopes ou la culture de ces animaux pourrait être réalisée. Il semble souhaitable d'étendre et de diversifier les zones d'étude afin de pouvoir réaliser une topologie plus exhaustive des lieux favorables à l'élevage d'holothuries. La recherche d'un indicateur serait un plus pour l'identification de nouveaux sites. Ces données pourraient de plus servir à une meilleure gestion des pêcheries d'holothuries, enjeu crucial à l'échelle des pays insulaires du pacifique.

L'hypothèse de départ de la culture en cascade des holothuries sous l'influence des sorties de ferme reste conceptuellement attractive. Nous préconisons de relancer ce type d'étude parallèlement à des études en milieux contrôlés pour mieux analyser les facteurs qui contrôlent la performance de ces élevages.



Une perspective très attractive semble être la possibilité de réaliser des élevages en coculture entre les holothuries et d'autres espèces en milieu côtier. Ce type de culture est largement étudié et pratiqué dans d'autres pays, où l'élevage des holothuries est effectué en interaction avec les structures aquacoles existantes comme les cages à poisson, les huîtres et les moulières.

En Nouvelle-Calédonie, la polyculture entre huîtres et holothuries et entre poissons et holothuries pourrait avoir de nombreux bénéfices. Les fèces sont susceptibles de représenter une source de nourriture directe pour les holothuries. De plus, les huîtres ont la particularité de piéger la matière en suspension et d'augmenter les flux de sédimentation.

IV. CONCLUSION GENERALE

Notre étude a permis d'établir un modèle conceptuel des principaux paramètres régissant l'aquaculture d'holothuries en bassin et en milieu côtier. Ce modèle doit maintenant être testé et validé grâce à de nouvelles expérimentations afin de **mettre en place des protocoles d'élevages performants** qui sont nécessaires pour mener cette filière naissante vers la rentabilité.

Dans le cadre de la culture en alternance, nos résultats n'amènent toutefois pas de preuves déterminantes par rapport à un potentiel « effet holothurie » qui pourrait mener à l'éradication des vibrioses touchant les élevages calédoniens. Néanmoins, le phénomène de **jachère productive** permettrait d'améliorer l'état des fonds de bassin tout en fournissant un produit commercialisable. L'analyse économique d'un tel système doit être envisagé.

L'élevage de *H. scabra* pourrait s'**intégrer dans de nombreux systèmes aquacoles** aussi bien en bassin que dans le milieu naturel.

Dans le cadre de la **diversification aquacole** amorcée au sein du paysage calédonien, cette espèce offre l'opportunité de penser les systèmes de production de manière plus intégrée. Ces derniers pourraient permettre de baisser les densités d'élevage des différentes espèces par rapport à leur monoculture, et d'augmenter l'efficacité de l'assimilation des intrants. Ils permettraient ainsi d'augmenter la robustesse, la plasticité et la résilience des systèmes aquacoles, et de réduire leur impact sur l'environnement tout en conservant de bonnes performances de production avec des produits finaux de qualité supérieure. Dans ce cadre, l'élevage de l'holothurie nous semble représenter une des clés pour la construction d'une aquaculture durable sur le territoire.

