

Université Libre de Bruxelles

Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire

Faculté des Sciences

Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

"LA POLYCULTURE COMME SOLUTION AUX IMPACTS DES FERMES DE CREVETTES SUR LES MANGROVES : APPLICATION AU CAS DE LA NOUVELLE-CALEDONIE"

Mémoire de Fin d'Etudes présenté par « BOURBASQUET, Antoine » en vue de l'obtention du grade académique de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement «. Finalité Gestion de l'Environnement M-ENVIG»

Année Académique : 2017-2018

Directeur: GODART Marie-Françoise



ULB – IGEAT – Master en science et gestion de l'environnement				

Je remercie le professeur Marie-Françoise Godart pour m'avoir aiguillé lors de la sélection de mon sujet ainsi que pour son aide fournie au long de l'année pour la réalisation de ce mémoire. Je remercie également le professeur Farid Dahdou-Guebas pour m'avoir conseillé lors de mes recherches scientifiques sur le sujet. Enfin, je remercie l'ensemble de la communauté enseignante de l'I.G.E.A.T pour m'avoir fourni au cours de ces deux ans les connaissances nécessaires à la réalisation de ce travail et l'envie de persévérer dans ce domaine.

ULB – IGEAT – Master en science	e et gestion de l'environnement	

RESUME

Les forêts de mangroves sont parmi les écosystèmes les plus riches de la planète. Situés principalement entre les tropiques, elles profitent d'une intensité solaire forte et constante tout au long de l'année. Cet apport énergétique leur permet de fournir des services écosystémiques nombreux, aussi bien pour les générations actuelles que pour celles à venir. De plus, leur caractère particulier d'interface entre terre et mer leur confère un rôle singulier dans les domaines de l'écologie, de la biologie, de la géologie et de l'hydrologie. Agissant comme barrière naturelle contre les vagues, elles possèdent aussi la fonction de nurserie pour bon nombres d'espèces aquatiques ou terrestres. Les spécificités de la communauté végétale, et particulièrement des palétuviers, permettent de créer un environnement favorable au développement de la vie à grande échelle.

On constate cependant leur disparition progressive à travers le monde depuis que des recherches ont débuté sur cet environnement. Le constat est que la principale cause de ce phénomène est la transformation des terres de mangroves pour des usages anthropiques, avec une tendance majeure pour l'établissement de fermes aquacoles productrices de crevettes (Primavera, 2005). Cette mutation de l'utilisation de l'espace est induit par deux catégories de raisons interdépendantes dans ce cas : économique et écologique. Les forêts de mangroves se retrouvent être les meilleurs nurserie et lieu de vie des crevettes tropicales. L'ensemble des conditions physico-chimiques y sont réunies pour leur croissance. Mais l'évaluation de la valeur économique de ces écosystèmes ne connait pas encore de consensus dans les milieux scientifiques. Ce n'est donc pas surprenant que le prix du marché de ces terres soit sous-évalué généralement, laissant libre place à des entreprises spécialisées dans la production de crevettes d'investir les lieux. De plus, le prix du marché international des crevettes en fait un produit plus qu'attractif à forte valeur ajoutée. Hormis cet impact, le second concerne l'action des effluents des fermes sur les mangroves qui peuvent dérégler l'équilibre écologique en modifiant les conditions physico-chimiques.

Il est donc intéressant de regarder les différentes solutions déjà mises en place dans le monde, de les comparer et de déterminer laquelle serait la plus efficiente possible, aussi bien pour l'environnement que la continuité d'une activité productrice locale. La polyculture mix partiellement séparée à chaine trophique intégrée semble être celle offrant le plus grand nombre d'avantage pour se conformer aux objectifs voulus.

Le cas de la Nouvelle-Calédonie, caractérisé par l'ensemble des informations citées précédemment, est intéressant à étudier. Ne possédant aucunes fermes de ce type « environnementalement plus propre », elle a à s disposition des ressources économiques, légales, administratives et techniques lui permettant de pouvoir commencer un transfert vers ce type d'élevage.

1 TABLE DES MATIERES

R	ésumé .		. 5
T	able de	s figures	. 8
Ir	itroduct	ion	. 9
2	Mar	ngroves : un écosystème riche et en péril	11
	2.1	Les mangroves comme producteurs de services écosystémiques	11
	2.2	Valeur économique de la mangrove	14
	2.3	Etablissement d'une chaine trophique type de l'écosystème mangrove insulaire et côtier	17
	2.4	Détermination des principaux facteurs physico-chimiques qui régissent une mangrove	19
	2.5	Récapitulatif des principaux éléments chimiques d'une mangrove	22
3	Part	ie 2 : La crevetticulture en Nouvelle Calédonie : un processus destructeur et créateur	26
	3.1	Etat de la crevetticulture dans le monde et en Nouvelle Calédonie	26
	3.2	Les fermes crevetticoles et leurs possibles impacts sociaux pour les populations locales	28
	3.3	Différentes formes d'impacts d'une ferme crevetticole sur les mangroves environnantes 2	29
	3.4	Gestion d'une ferme aquacole de crevettes	30
	3.5 Nouve	Le « Syndrome 93 » et le « syndrome d'été » : deux exemples de maladies ravageuses de lle-Calédonie	
	3.6	Synthèse crevetticulture	39
4	Part	ie 3 : De nouvelles formes d'aquacultures responsables	41
	4.1	Rappel historique de l'aquaculture dans le monde	41
	4.2 dans le	Contexte et programmes pour ces objectifs de « développement durable » des mangrove monde	
	4.3 avec la	Présentation de différents types de « nouveaux » projets aquacoles en co-développeme a réhabilitation des écosystèmes	
	4.4 (creve	Résultats d'un exemple de polyculture en bassins fermés entre <i>Litopenaeus stylirosti</i> ttes) et <i>Siganus lineatus</i> (poisson-lapin)	
	4.5	Comparatifs de systèmes crevettes / mangroves et systèmes intensifs	51
	4.6	Critères d'aquaculture type A.M.T.I avec crevettes et mangroves	53
5	Disc	cussions sur de possibles applications de polyculture intégrée en Nouvelle-Calédonie	58
	5.1	Administration environnementale en Nouvelle-Calédonie	59
	5.2	Possibilité de développement de fermes aquacole de type polyculturel mix	51
	5.3	Les limites et possibilités de développement de ce type d'exploitation	53
6	Con	clusion	55
7	Bib	liographie	57
8	Ann	nexes	74

ULB – IGEAT – Master en science et gestion de l'environnement			

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Valeur économique totale d'un écosystème de mangroves d'après Point (1998) 15
Figure 2 : Schéma détaillant les différentes valeurs des services fournies par les mangroves,
d'après Failler et Pan (2007)16
Figure 3 : Schéma simplifié des interactions au sein de mangroves réalisé par H.Odum (1972)
Figure 4 : Forêt de Rhizophora Mangle
Figure 5 : Excrétion de sel d'une feuille de palétuvier de la famille Avicennia21
Figure 6 : Cycle de l'azote simplifié (d'après Trimmer et al, 2003)24
Figure 7 : schéma synthétique des effets d'une ferme aquacole de crevettes sur l'écosystème
mangrove (Alongi, 2002)
Figure 8 : Phases de croissance des crevettes avec leurs durées et la consommation
alimentaire (Stonich et al, 2000)
Figure 9 : Rapport densité / survie d'élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie
(Lemonnier, 2007)
Figure 10 : Evolution du nombre de cellules de nanophytoplanctons et du nombre de crevettes
mortes et moribondes (Ifremer, 2002)
Figure 11 : Figure 11 : Bas-relief d'une aquaculture de tilapia dans l'Ancienne Egypte
(redessiner par Chimits, 1957)
Figure 12 : Schéma démonstratif d'un système aquaponique simple (F.A.O 2016) 47
Figure 13 : Exemple type d'aquaculture multitrophique intégrée (Pêche et Océans Canada,
2013)
Figure 14 : Tableau comparatif des deux types de solution / systèmes pour l'aquaculture de
crevettes (Rönnbäck, 2002)51
Figure 15 : Schémas de plusieurs types d'aquaculture polyculturel mix avec (a) système
intégré, (b) système associé, (c) système séparé et (d) système partiellement-séparé (système
écologique). (F.A.O, 2016)
Figure 16 : schéma comparatif d'un milieu sans et avec réhabilitation du couvert végétal du
bassin versant (F.A.O, 2007)

INTRODUCTION

L'environnement, dans son aspect général, a commencé à prendre une réelle importance dans les plans de gestion et politique internationales en 1992 lors du sommet de Rio. Préconisant les grandes lignes directrices à suivre sur base de recommandations scientifiques, ce sommet regroupait une grande partie des Etats du monde et avait parmi ces objectifs de coordonner les efforts de tous. Ce n'est qu'en 1998 que les mangroves comme écosystème tropical côtier vont revêtir un intérêt capital pour la gestion mondiale de l'environnement avec la proclamation du 26 juillet comme journée internationale des mangroves. La première note sur ces forêts date de l'Antiquité puis la reprise des études sur le sujet correspondent à l'époque des grandes explorations occidentales à travers le monde (XVIIème, XVIIème et XIXème siècles). Les avancées scientifiques et technologiques de l'époque permettent alors la collecte des données de terrains en les classifiant et les répertoriant dans des ouvrages mais aussi en leur attribuant des positions géographiques précises. On peut par exemple noter l'importance de Linné et ses travaux (1735) qui ont permis la base de la taxonomie moderne et toujours utilisée de nos jours. Elle permet la classification de tous les êtres vivants en niveaux hiérarchisés et leur attribue une nomenclature binominale, le premier se référant au genre et le second à l'espèce. Dans le cadre de ce mémoire, nous travaillerons sur 2 genres particuliers de palétuviers, les *Rhizophora* et les *Avicennia*. Ces derniers sont les plus présentent au sein des écosystèmes de mangroves de par le monde.

L'étude des impacts anthropiques et naturels sur ces écosystèmes a débuté à la suite de la détermination de ses fonctionnements écologiques et des produits que ceux-ci pouvaient fournir. Les mangroves sont alors définies comme étant « une zone de transition de première importance du point de vue écologique, hydro-biologique, géomorphologique et économique » (Saenger *et al*, 1977). Ces travaux étaient complétés avec des études anthropologiques concernant les populations autochtones qui vivaient en symbiose avec cet environnement. A la base recensée comme des zones marginales, difficiles à explorer et à exploiter, les mangroves deviennent alors des écosystèmes riches, complexes et fragiles. On y trouve par ailleurs à travers sa richesse biologique des produits revêtant un caractère économique de grand potentiel comme le tanin des palétuviers servant à la conservation des peaux (opération de tannage pour les cuirs) ou encore des produits halieutiques en forte quantité et facilement récoltable comme le crabe ou la crevette.

Les études écologiques, biologiques et biogéochimiques ont permis par la suite de mettre en évidence l'importance de ces écosystèmes comme puit de carbone non négligeable, comme barrière naturelle contre les trop fortes marées, comme nurserie ou encore comme réserve floristique et faunistique. Cependant, deux évènements majeurs étaient apparus : l'amélioration et l'intensification des techniques agricoles et aquacoles permettant l'augmentation de la productivité et la mondialisation de l'économie facilitant le commerce et le transport de produits à travers le monde. Ainsi, les premières fermes aquacoles et crevetticoles industrielles se développaient majoritairement en lieu et place des mangroves naturelles devenant ainsi le premier facteur de disparition des mangroves (Le Guen et David,

1998). Des recherches ont alors été développées sur les différents effets des fermes sur les écosystèmes environnants.

Dans le cadre de ce travail, nous allons essayer de répondre à la problématique suivante : « Aux vues des différents impacts d'une production aquacole de crevette sur l'écosystème mangrove, quelles sont les possibilités afin de continuer ce type d'activité tout en protégeant cet environnement et/ou en diminuant les effets néfastes qu'il perçoit sur le territoire de la Nouvelle-Calédonie? »

Afin d'y répondre, nous développerons quatre parties distingues au sein de travail basé sur la revue de littérature scientifique. Dans un premier temps, nous étudierons l'écosystème mangrove de façon générale en détaillant ses richesses écologiques et ses services écosystémiques. Puis nous détaillerons les activités aquacoles et plus précisément la crevetticulture à travers le monde et en Nouvelle-Calédonie et ses effets sur l'écosystème adjacent. Nous verrons par la suite les différentes possibilités d'aquaculture plus responsable et plus « propre » pour l'environnement. Enfin, nous évaluerons la possibilité de mise en application de ces nouvelles techniques sur les terres de Nouvelle-Calédonie. Ces solutions sont hypothétiques mais pourraient permettre une approche plus en accord avec le « développement durable » prescrit par les accords internationaux pour le cas de l'aquaculture sur ce territoire.

2 MANGROVES: UN ECOSYSTEME RICHE ET EN PERIL

2.1 LES MANGROVES COMME PRODUCTEURS DE SERVICES ECOSYSTEMIQUES

Les connaissances scientifiques dans le domaine écologique nous permette d'apprécier les capacités que les mangroves possèdent ainsi que les spécificités qu'elles fournissent dans le domaine des services écosystémiques (Liquete et al, 2013 ; Locatelli, 2016). L'Evaluation des écosystèmes pour le Millénaire définit quatre catégories principales : service d'approvisionnement, de régulation, de soutien et socio-culturels. Aux vues des mangroves, nous pouvons faire corréler ces différents services comme telles :

- Services d'approvisionnement : fourniture en bois (construction, chauffage ...), espèces animales (consommation, production ...)
- Services de régulation : des eaux (montée des eaux, bio-filtrage des effluents de rivières ou de production ...)
- Services de soutien : régulation des cycles biogéochimiques complexes des mangroves (sédiments, particules en suspension, cycle des nutriments C, N, P ...)
- Services socio-culturels : En lien avec l'héritage que l'on laisse pour les générations futures, mais aussi activités de loisirs qui s'y exercent.

De manière plus détaillée, les services d'approvisionnement fournis par les mangroves correspondent à l'ensemble du bois prélevés à des fins de construction d'habitats, d'outils, de pirogues, de chauffage mais aussi de tanin utile à la fabrication d'alcool local et pour le tannage des peaux. Par ailleurs, ils correspondent aussi à l'ensemble des espèces prélevées dans le milieu à des fins vivrières, économiques ou pour leurs avantages dans le domaine de la pharmacopée. Il s'agit donc de l'ensemble des espèces piscicoles, des invertébrés aquatiques et terrestres ainsi que des autres espèces animales et végétales utiles aux populations locales. Un rapport de la F.A.O (Organisation des Nation Unies pour l'alimentation et l'agriculture) de 2007 établi qu'en moyenne, un hectare de mangrove permet de faire vivre une vingtaine de familles indigènes si celles si se retrouvent en totale autarcie. A contrario, la transformation de ces terres en activité agricole ou aquacole ne permettrait pas à une seule famille de vivre sur ce territoire.

Les services de régulations des mangroves prennent une place d'envergure dans la protection des milieux aquatiques mondiaux du fait de leur dynamisme intense et de leur place privilégiée comme étant un écosystème riche à l'interface entre terre et mer. Les écosystèmes de mangroves possèdent un rôle majeur dans la régulation de la dynamique côtière et des sédiments. Ils permettent l'enrichissement en sédiments à l'embouchure des fleuves et le long des côtes correspondant au phénomène d'accrétion. En stabilisant ces derniers, elles contribuent à la diminution de l'érosion des terres mais aussi à la diminution de l'énergie marémotrice. Si l'on considère la situation internationale de pertes des terres dues à l'érosion, le cas des îles est à prendre très sérieusement. L'érosion côtière est à la fois imputable aux

conditions climatiques comme la montée des eaux, les inondations ou encore l'acidification des océans ; mais aussi aux modifications des bassins versants imputables à l'Homme. La disparition des mangroves estuariennes entrainent aussi facilite les fortes marées remontant les deltas, augmentant les risques d'inondations des terres en supplément de la détérioration des bassins hydrologiques qui eux accentuent les risques d'inondations en amont. Les prévisions dans ce domaine sont d'ailleurs plus qu'alarmantes. En fonction des différents modèles, des plus optimistes au plus pessimistes, le quatrième rapport du G.I.E.C (groupes d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat) détermine que la montée des eaux d'ici 2100 pourrait être entre plus 23 et plus 51 centimètres en moyenne sur le globe, dévastant alors une part non négligeable des terres côtières viables pour l'Homme. Ces modifications dues à l'Homme entrainent des conséquences sur le niveau de qualité des eaux côtières en relâchant une quantité non négligeable de polluants dans les eaux. Les mangroyes opèrent comme l'un des meilleurs bio-filtres naturelles de la planète (Primavera, 2005), tant sur les phénomènes naturelles qu'anthropiques. Cela s'explique par l'activité écologique importante et rapide de cet écosystème dans les cycles biogéochimiques. La dernière fonction de régulation générale concerne le climat local et mondial. D'une part, la capacité de cet écosystème à stoker du carbone a été démontrée depuis plusieurs années mais des incertitudes pèsent toujours sur la valorisation du stock de carbone. Bouillon (2008) a estimé que la valeur de la production primaire nette des mangroves équivalait à 218 ± 72 TgC.a-1 dans le monde, faisant de lui l'un des plus productifs au monde avec les forêts tropicales. Les mangroves ont la capacité de stocker le carbone sous plusieurs formes. La première est organique à la fois dans la biomasse et les sédiments et la deuxième correspond à la forme organique dissoute et particulaire dans les zones côtières juxtaposées (Eong, 1993; Jennerjahn et al, 2002; Twilley et al, 1992). En effet, elles sont en interactions permanentes avec les écosystèmes environnant comme les barrières de corail via leur capacité de nurserie en autre. Enfin, le dernier service important de régulation offert par cet écosystème est l'atténuation de la force des ouragans. Il a été établi par modèle analytique qu'une trentaine d'arbres pour 100m² sur une côte de 100 mètres permettrait de réduire la force d'un ouragan jusqu'à 90% de sa puissance en fonction de sa catégorie (Hiraishi et Harada, 2003). Le cas le plus démonstratif de ce service est celui de l'ouragan Orissia qui a touché l'Inde en 1999. De nombreuses pertes humaines ont été déplorées hormis dans les zones recouvertes de mangroves (Dahdou-Guebas et al, 2005). Bell (2012) a établi, en partenariat avec plusieurs centres d'études internationaux sur le climat, que la majorité des ouragans des régions tropicales à travers le monde allait être d'une part plus intenses et d'autre part plus nombreux en fonction des régions. Pour notre étude, les différentes projections montrent que la région du Sud-Ouest Pacifique va connaitre l'ensemble de ces caractéristiques durant le prochain siècle. Les coûts engendrés par le passage d'un ouragan peuvent être évalués à plusieurs dizaines de millions d'US dollars en fonction des lieux dévastés à plusieurs centaines voire milliards si ce sont des villes qui sont touchées (exemple des annonces faites pour la ville de Miami en 2017 avec l'ouragan Irma).

Les services de support ou soutien fournis par la mangrove sont aussi nombreux. Outre le fait qu'elle contribue à la protection des côtes et du littoral, comme vu précédemment, elle contribue aussi à la biodiversité mondiale en étant un biotope utilisé de façon permanente ou

épisodique par bon nombre d'espèces. En fonction de la localisation de la mangrove dans le monde, du climat spécifique de sa région (biome), de sa superficie et de sa connectivité avec d'autre écosystème (comme par exemple les récifs coralliens), la variabilité de son importance en termes de poids pour la biodiversité peut fortement varié mais ce type d'écosystème reste dans tous les cas l'un des plus riches et développé de la planète. Son rôle de nurserie est capital pour bon nombre d'espèces aquatiques. L'enchevêtrement massif de racines de palétuviers combiné à une turbidité élevée permet le développement et la croissance de nombreux poissons et crustacés. Par la suite, ces espèces peuvent soit migrées vers l'océan, soit restées dans cet habitat pour y vivre permettant aussi l'alimentation de nombreuses autres espèces plus élevées dans la chaîne trophique. Afin de donner un aperçu de l'importance de ces chaînes, nous pouvons citer quelques exemples d'espèces indicatrices. Sur les territoires liés à l'océan indien et pacifique, on retrouve les Carcharhinus leucas (requin-bouledogue) et les Crocodylus porosus (crocodiles marins) ou encore le Panthera tigris tigris (tigre royal du Bengale). La présence de telles espèces, les derniers chainons de leur chaine trophique, indique que ces dernières possèdent une diversité complexe Il est cependant impossible à l'heure actuelle d'évaluer de façon précise la richesse faunistique de ces environnements en raison d'un manque de données homogènes et synthétiques. Des études sur des familles ou espèces spécifiques ont par contre déjà été effectuées, la plupart du temps sur des espèces avec une visibilité forte à travers le monde comme les tortues marines ou sur des espèces ayant un intérêt financier comme les crevettes pénaéïdes qui font l'objet de pêche et d'élevage dans de nombreuses mangroves. Les études sur la diversité floristique sont déjà plus nombreuses et développées. Tomlinson (1986) a établi trois sous-catégories de plantes présentent dans les mangroves : les vrais palétuviers, les éléments mineurs et les espèces dites « associées ». Elles peuvent être réunies en deux groupes, les espèces exclusives (ou endémiques) et les espèces non-exclusives. Selon la F.A.O (2007), il n'y a pas de réel consensus entre les auteurs sur les nombres exacts d'espèces totales. La Nouvelle-Calédonie possède pour le moment la plus grande diversité floristique de l'ensemble des territoires d'outre-mer français avec 26 espèces réparties en treize familles. Il existe quatre principales espèces de palétuviers présents sur l'ensemble des mangroves à travers le monde qui sont le Rhizophora mangle (palétuvier rouge), l'Avicennia germinans (palétuvier blanc), l' Laguncularia racemosa et l'Conocarpus erectus. Dans le cas des territoires insulaires et de la Nouvelle-Calédonnie, la majorité des palétuviers sont dans les deux premières espèces, les autres n'étant pas adaptés aux conditions climatiques et aquatiques de ces régions.

Les derniers types de services fournis par la mangrove sont dits « socio-culturels ». Les communautés autochtones possédaient à la base une relation culturelle étroite avec cet environnement. Appartenant à la base à des cultures polythéistes, certaines de leurs divinités étaient liées directement à la mangrove. Par exemple, des peuples « des rivières » en Equateur estimaient que la mangrove était l'habitat de leurs divinités, et qu'il était interdit d'y pénétrer pour tout étranger ainsi que pour leur communauté hormis pour leur subsistance (chasse, pêche quand cela était nécessaire) (Iltis, 2010). Les autres services de ce type sont de l'ordre de la préservation du paysage et de la biodiversité, des fonctions récréatives comme la pratique du « stand up paddle » et autres activités, des fonctions éducatives pour les

communautés locales et touristiques sur l'importance de cet écosystème et enfin à des fins de recherches scientifiques comme laboratoires d'études uniques au monde.

2.2 VALEUR ECONOMIQUE DE LA MANGROVE

L'évaluation de la valeur des différents services écosystémiques fournis par un environnement est relativement complexe et revête un fort caractère arbitraire et subjectif. A des fins d'homogénéité, les études réalisées se sont basées sur un panel d'individus large et appartenant à des groupes socio-économico-culturels différents. Noël (2004) établit le constat selon lequel un service écosystémique peut recevoir différents types de valeurs qui peuvent être économique, culturelle, patrimoniale, potentielle ou encore écologique.

De manière plus synthétique, la valeur économique peut être définie comme étant la richesse créée par l'environnement pouvant être exploité par l'Homme. Ainsi, l'ensemble des ressources naturelles extraite de cet écosystème à des fins vivrières, d'usage ou encore de commercialisation sont prises en compte tout comme les différentes exploitations qui peuvent être pratiquées. La valeur culturelle de la mangrove interprète la place qu'elle occupe au sein des différentes populations possédant un lien avec elle. En outre, cette notion culturelle tout comme le reste de la richesse de l'écosystème qui sera laissé en héritage aux générations futures correspondent à la valeur patrimoniale d'un environnement. Les différentes exploitations possibles non effectuées, quelque ce soit la raison, d'un écosystème peuvent être interprétées comme sa valeur potentielle. Enfin, la valeur écologique équivaut à l'évaluation des différents services qui permettent le maintien de la biodiversité d'un écosystème, comme par exemple la régulation des cycles biogéochimiques, la protection des côtes contre l'érosion, le rôle de nurserie etc.

L'ensemble de ces valeurs peut être regroupé dans ce que l'on appelle la valeur économique totale. En d'autres termes, cette dernière correspond à la contribution de l'écosystème aux activités marchandes (en lien avec les coûts et les bénéfices) et aux activités non marchandes (Noël, 2004). Leurs analyses nécessitent par l'application de méthodes sophistiquées. Dans le cas de ce travail, nous nous intéresserons à a valeur économique totale (V.E.T) qui est divisée en deux groupes : la valeur d'usage et de non usage. La première comprend l'ensemble des activités liées à l'utilisation directe de l'écosystème comme la pêche, les activités touristiques et autres. La seconde prend en compte les valeurs d'existence comme les services socioculturels et les valeurs de legs aux générations futures. La V.E.T peut être schématisée (et simplifiée) comme telle la figure 1 :

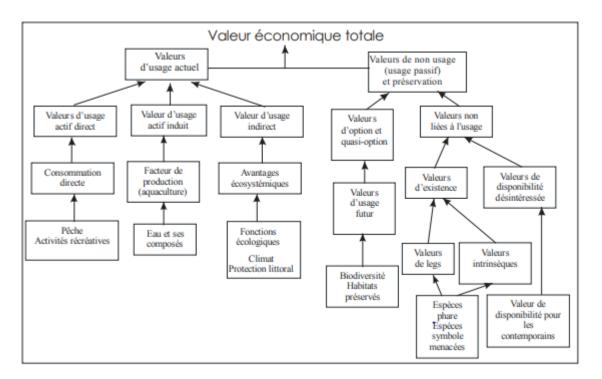


Figure 1: Valeur économique totale d'un écosystème de mangroves d'après Point (1998)

Si l'on applique cette méthodologie pour l'écosystème mangrove de façon plus détaillée, nous pouvons le schématiser comme suivant (figure 2):

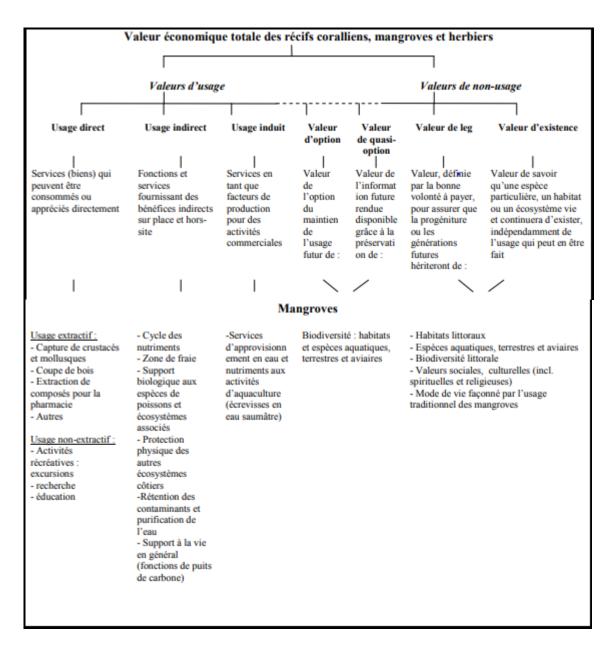


Figure 2 : Schéma détaillant les différentes valeurs des services fournies par les mangroves, d'après Failler et Pan (2007)

Lewis (2005) a ainsi estimé cette valeur économique totale à 900 000 dollars américains par kilomètre carré de mangrove via la méthode du *willingness to accept*. En prenant appui sur d'autres méthodologie, il a été estimé que la valeur de l'écosystème mangrove pouvait osciller entre 200 000 et 900 000 US\$/km². Le manque de données actualisées ne permet pas d'apprécier cet écosystème à sa juste valeur mais les informations déjà présentes montrent la richesse que développent les mangroves. La modification des services offerts par cette dernière peut aussi être estimée dans certains cas. Constenza (1997) a calculé que le coût engendré par la perturbation des fonctions de régulation offertes par les mangroves s'élèverait en moyenne à 1800 US\$/hectare/an. Par ailleurs, il a été établi que la transformation de mangroves en ferme crevetticole créerait un déficit net (Lal, 1990), bien que l'activité de crevetticulture dégage une quantité importante de bénéfice aux vues de la valeur du produit sur les marchés internationaux. Nous détaillerons ce point plus en détails dans la partie 2.

Ces estimations nous permettent d'apprécier la richesse de cet écosystème. A titre de comparaison, la F.A.O (2007) a estimé la valeur économique totale des récifs coralliens a 250 000 \$/km². Cependant, il est difficile d'estimer les bénéfices d'une forêt de mangroves comme protection contre les ouragans. Les biens matériels qui seront en partie protégés sont évaluables, mais il est difficile voire impossible d'estimer le coût d'une vie humaine du point de vue de l'éthique. Les écosystèmes de mangroves fournissent un nombre important de services aux habitants locaux mais aussi à l'humanité comme ressource de biodiversité unique au monde. Nous allons maintenant essayer de définir, de manière synthétique, une chaîne trophique type vivant dans les forêts de mangroves.

2.3 ETABLISSEMENT D'UNE CHAINE TROPHIQUE TYPE DE L'ECOSYSTEME MANGROVE INSULAIRE ET COTIER

Cet écosystème a connu nombre d'études à son sujet depuis quelques décennies. A la base considérée majoritairement comme étant des terres sans valeurs par les administrateurs et gestionnaires (Hamilton, 1989), elles ont été par la suite identifiées et analysées pour leur différents processus et services fournis. Comme tout écosystème majoritairement situé entre les tropiques du Cancer et du Capricorne, c'est-à-dire avec un apport important d'énergie solaire mais aussi avec un apport d'eau conséquent, les forêts de mangroves possèdent un biotope et une biocénose complexes et développés. Dans le cas de notre étude, nous avons simplifié sa chaîne trophique en éliminant les groupes d'espèces qui n'interviennent pas dans les cycles énergétique et de circulation de matière de manière capitale, *i.e* les espèces non-aquatique ainsi que la flore qui n'est pas de la famille des palétuviers. Cette simplification va permettre une compréhension des différents flux qui interviennent au sein de l'écosystème et la compréhension de son fonctionnement global.

Le point d'entrée de cette chaîne est l'apport d'énergie fournie par le soleil et l'ensemble eaunutriment apporté par les pluies, rivière et océan. Ces apports vont permettre la photosynthèse, soit la création de biomasse (et de dioxygène) par les producteurs primaires (ici les palétuviers et les phytoplanctons). Son équation simplifiée est la suivante :

Le sucre équivaut ici à la biomasse créée, soit le développement de biomasse. Cette dernière correspond au deuxième échelon de cette chaîne et à l'ensemble des palétuviers et phytoplanctons, pratiquant cet exercice.

Au sein de notre écosystème étudié, les consommateurs primaires sont de petits « détrivores ». Les producteurs primaires développent la majorité de la biomasse facilement assimilable dans le milieu aérien (feuilles), les chainons supérieurs de la chaine ne peuvent y accéder directement. C'est en se détériorant et en passant dans la phase aquatique que la biomasse des palétuviers va permettre l'alimentation de toute la chaine. Ces détritus vont être utilisés comme nutriments par des bactéries, des micro-organismes et des herbivores assimilés ici à des consommateurs primaires. D'importance capitale, ils vont aussi permettre la régulation des effluents et des cycles biogéochimiques.

Les consommateurs secondaires représentent l'ensemble des invertébrés de petites tailles, crustacés et mollusques qui vont s'alimenter de ces micro-organismes mais aussi des détritus. On trouve ici l'ensemble des crabes, crevettes, moules et autres bivalves se développant dans les zones benthiques, i.e au niveau des fonds aquatiques, et dans les zones pélagiques, i.e dans la colonne d'eau entre la surface et le fond. En incorporant les différents effluents dans leur cycle de croissance, ces organismes vont aussi participer à la gestion des déchets de la mangrove ainsi que celle des différents éléments biologiques du milieu. En outre, ils ont tendances à modifier l'habitat à leur convenance pour leur développement ce qui peut avoir des conséquences fortes sur l'ensemble de l'écosystème. Un exemple marquant peut être celui des crabes Uca, présents dans une majorité de mangroves à travers le monde, qui vont améliorer l'oxygénation des sédiments de la zone pélagique en créant un réseau de galeries à travers elle pour y vivre, créant ainsi un phénomène de bioturbation (Penha-Lopes et al, 2009). Ils forment, avec les consommateurs primaires, la faune benthique de l'écosystème qui est d'une importance capitale pour la dynamique écologique de la mangrove (Lee, 2008). . Pour l'étude actuelle, il n'est pas nécessaire de développer cette partie car nous allons nous concentrer en détails sur les crevettes et les impacts de l'exploitation de celles-ci.

La suite de la chaîne correspond aux différents poissons et autres espèces qui vont être consommateurs des chainons précédents du réseau trophiques jusqu'aux prédateurs les plus évolués vivant de le milieu avant de mourir et d'être décomposés via différents détrivores et réactions chimiques aérobies et anaérobies.

La prise en compte des différents éléments de base de la chaine ainsi que l'ensemble des processus auxquels ils participent sont donc essentiels dans la compréhension du fonctionnement de ce milieu et pour permettre une meilleure analyse des différents impacts qui peuvent avoir lieu en le modifiant, que ce soit dû aux changements climatiques ou aux activités humaines. Un récapitulatif schématique et synthétique a été établi par H.Odum (1972) et repris par Lugo (1974) comme tel (figure 3) :

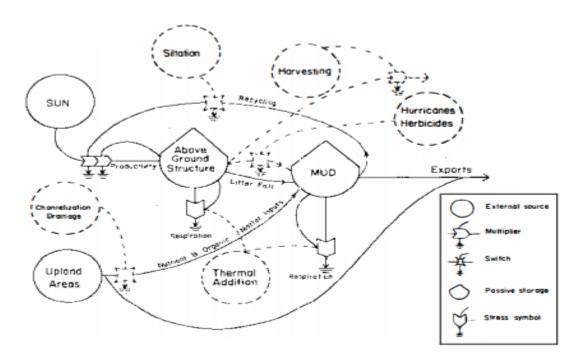


Figure 3 : Schéma simplifié des interactions au sein de mangroves réalisé par H.Odum (1972)

Ce schéma intègre les différentes sources d'énergies et apports à la mangrove ainsi que les possibles sources de stress possibles avec deux compartiments principaux qui sont la zone pélagique et la zone benthique. On constate qu'il ne comprend pas certains facteurs climatiques importants tels que l'élévation du niveau de la mer, l'acidification des eaux ainsi que l'érosion des côtes et des terres appartenant au bassin versant. Cependant, il permet d'avoir une vision généralisée du fonctionnement de ce milieu. Les sources de stress et de modification du milieu sont ici le drainage des eaux, l'augmentation de la température, l'utilisation de produits phytosanitaires et autres intrants en amont de la mangrove, les ouragans et l'envasement. Ce dernier point peut s'expliquer via deux facteurs, d'une part une accumulation trop importante de boues sédimentaires et d'autre part une trop forte eutrophisation du milieu, empêchant ainsi le développement de dioxygène dans le milieu. Ces points seront par la suite développés en détails dans la prochaine partie en liant avec les différents cycles.

2.4 DETERMINATION DES PRINCIPAUX FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES QUI REGISSENT UNE MANGROVE

Dans cette partie nous nous intéresserons à 3 types de flux bien précis pour les caractéristiques chimiques, celle de l'azote, du phosphore et du dioxygène. Ce choix de ne sélectionner que ces éléments est dû à plusieurs causes. Premièrement, ce sont les trois principaux éléments chimiques de cet écosystème en termes de flux, hormis le carbone.

Deuxièmement, ils le sont aussi en ce qui concerne les impacts de l'établissement d'une ferme crevetticole dans l'écosystème. D'autres éléments vont avoir des impacts sur l'état de l'écosystème en général de façon direct ou indirect comme la modification des conditions physiques.

Ces dernières représentent les grandes variables qui vont affecter un écosystème aquatique. La température du milieu est capitale dans le sens où elle va influer sur l'ensemble des autres paramètres et processus opérant dans le milieu. Chaque éléments et réactions possèdent des températures d'acceptabilité et faisabilité qui, si modifiées, vont les accroitre ou les inhiber. Viens ensuite la salinité du milieu. Tout milieu aquatique marin ou en interaction directe, comme les habitats côtiers, va être soumis à des conditions de salinité. Cette salinité se trouve en lien direct avec les concentrations de dioxyde de carbone et de dioxygène dans l'eau caractérisé par la teneur en sel dissous. Enfin, il y a le pH qui est tout aussi important que la température dans le contrôle du milieu. Il est permet d'évaluer sur une échelle les qualités acido-basique du milieu et contrôle donc les relations d'oxydoréduction et autres phénomènes similaires.

L'écosystème mangrove a été reconnu comme unique au monde du fait de sa position d'interface entre terre et mer. Ses conditions physico-chimiques de développement sont très particulières. Cela se constate par le biome dans lequel il se développe. Mitra (2013) a estimé que les mangroves étaient en capacité de croitre avec des températures aquatiques comprises entre 15°C et 35°C avec un optimum à 25°C. Cette température se retrouve principalement dans la zone géographique intertropicale et dans certains lieux de la planète soumis à des courants marins chauds et de surface.

La deuxième variable primordiale a monitorer dans l'étude de l'écosystème est le niveau de pH. Etabli par l'équation de Henderson-Hasselbach, il est lié à la concentration en dioxyde de carbone (CO2) via les molécules d'hydrogénocarbonate (HCO3-) et le transfert d'ions hydrogène chargés positivement (H+) entre les intrants et le milieu récepteur. Différentes études mondiales, dont le dernier rapport du G.I.E.C, ont démontré que peu importe la gravité des changements climatiques, les océans subissent un phénomène d'acidification et que ce dernier n'allait que s'accroître, entre -0.3 et -0.6 à la fin du siècle (4ème rapport du G.I.E.C) (Annexe 1). Les mangroves sur notre planète se développent dans une marge très faible d'acidité où le pH oscille en 6.5 et 8 (aucun consensus n'a été déterminé sur ce point actuellement). Il faut noter que les milieux aquatiques sont plus assujettis aux modifications des conditions acido-basiques que les milieux terrestres. D'une part, les milieux aquatiques offrent une meilleure transférabilité des ions avec les organismes. D'autre part, une quantité importante d'espèces aquatiques développent des exosquelettes, comme les mollusques, crevettes etc. Ces espèces appliquent des processus de nitrification/dénitrification (en corrélation avec l'acidité du milieu) pour la production de leurs carapaces. D'autres espèces capitales comme les planctons (que ce soit phyto ou zoo) voient leur croissance directement liée aux facteurs de pH et de température due entre autre à leur condition d'espèces vivantes poïkilothermes, i.e que leur température corporelle varie en fonction de celle du milieu.

Le troisième facteur physique correspond à la salinité du milieu. L'écosystème mangrove, interface entre terre et mer, nécessite à la fois un apport d'eau douce mais aussi d'eau salée. Le régulateur principale de ce facteur est l'influence des marées au long de la journée et du mois. Au plus les marées seront fortes, i.e durant la période de la pleine lune, au plus les eaux salées vont pénétrer le milieu et augmenter sa salinité en allant plus loin dans les terres et en y restant plus longtemps. Afin de s'adapter à ces concentrations salines élevées, les palétuviers ont développé plusieurs processus qui leurs sont propres. Les rhizophora mangle possèdent des racines d'ancrages importantes ayant la capacité de filtrer l'eau et de pratiquer l'exclusion du sel jusqu'à 90% (figure 4). C'est par ailleurs cette capacité qui lui permet de se développer au plus proche de l'océan (Virly et al, 2005). Les palétuviers du genre Avicennia pratiquent un système d'excrétion. Ce dernier est appliqué par les feuilles via des glandes qui ont la capacité d'engranger le sel et de le relâcher (figure 5). Si la concentration en sel est trop importante, les feuilles vont se détacher ce qui permettra le retour du sel dans l'eau (Osborne et al, 2016). Ces palétuviers sont généralement situés en amont des rhizophora mangle, avec des apports de sel moins important et un apport plus fort en eau douce (dans le cas des mangroves estuariennes).



Figure 4 : Forêt de Rhizophora Mangle



Figure 5 : Excrétion de sel d'une feuille de palétuvier de la famille Avicennia

La turbidité a été définie comme étant la concentration d'un fluide en matières en suspension (Hampton, 1972). Il existe trois principaux facteurs influençant la turbidité : l'érosion et le lessivage des sols en amont qui vont, via les pluies et cours d'eau, créer un apport massif en sédiments dans le milieu concerné, une concentration élevée de planctons et enfin une pollution ou eutrophisation trop importante du milieu. Cette dernière se concrétise en l'apparition d'une couche végétale à la surface, limitant l'apport d'énergie lumineuse dans le milieu pélagique et inhibant le processus de photosynthèse des phytoplanctons. La conséquence directe résulte en la diminution du niveau d'oxygène dissous dans le milieu créant alors un milieu anoxique.

Au sein des mangroves non anthropisées, l'eutrophisation est rarement présente grâce à l'effet des marées et de l'apport d'eau douce. L'érosion et le lessivage des sols en amont est par contre problématique et peut impacter leur croissance voire entrainer leur disparitions. Si l'apport en sédiment est trop important et trop rapide, les palétuviers n'auront pas le temps de s'adapter et pourront mourir étouffer. Leur capacité à pouvoir capter l'oxygène dans le milieu aqueux pour leur croissance mais aussi le redistribuer aux sédiments dans lesquels ils évoluent dépend de cellules appelées lenticelles qui évoluent sur les racines échasses des Rhizopharacées et sur les pneumatophores des Avicenniacées. Bien que l'activité des crabes permette aussi l'oxygénation des substrats, les palétuviers sont capitaux dans l'établissement de ce processus permettant en outre une transformation plus rapide des sédiments en matières minérales utilisables pour leur croissance via oxydoréduction (Alongi *et al*, 2005).

L'ensemble de ces paramètres physiques vont impactés les paramètres chimiques de l'écosystème mangrove. Dans la partie suivante, nous allons détailler ces paramètres et par la suite du travail, les mettre en lien avec les conditions nécessaires à l'exploitation d'une ferme crevitticole type.

2.5 RECAPITULATIF DES PRINCIPAUX ELEMENTS CHIMIQUES D'UNE MANGROVE

Les quatre éléments principaux qui interagissent au sein de cet écosystème sont le carbone (C), l'azote (N), le phosphore (P) et l'oxygène (O).

Le cycle du carbone est l'un de ceux qui a été le plus étudié pour ce type d'environnement et les résultats obtenus permettent une meilleure compréhension du fonctionnement bien que certaines incertitudes existent encore concernant l'entièreté du cycle. Bouillon (2008) a estimé qu'environ 54% du carbone produit par les mangroves était encore inexpliqué car d'une part les processus de dégradation du carbone par des organismes anaérobies ne sont généralement pas pris en compte dans les études, et d'autre part l'ensemble de la production hétérotrophe et de la respiration liée ne sont pas analysés. Bien qu'il existe des zones d'ombre, ce que l'on en sait a permis d'affirmer que cet écosystème a une contribution unique sur le cycle du carbone (Twilley et al, 1992). Ce dernier a été principalement étudié via l'étude de la biomasse totale dans l'environnement et plus particulièrement dans les zones benthique et pélagique du

milieu. Alongi (2002) a mis en évidence le fait que la biomasse située au-dessus de la couche sédimentaire du cours d'eau (above-ground biomass ou AGB) était supérieur à la biomasse située en dessous de la couche. Le carbone organique est donc plus présent dans le milieu aérobie qu'anaérobie, permettant sa dégradation rapide et son utilisation directe dans le processus de production.

L'étude du cycle de l'oxygène est l'une des composantes clefs de la compréhension du milieu via son interaction dans les différents processus de transformation des autres éléments chimiques. Hormis la photosynthèse et la respiration cellulaire, l'oxygène et le carbone agissent dans les réactions de transformation des autres éléments phosphore et azote ainsi que sur des variables physiques comme le potentiel d'oxydo-réduction du milieu, son pH et sa salinité (Shahbudin, 2008). Les différentes mesures de l'oxygène dans le milieu permettent en outre de déterminer la viabilité de l'environnement pour les organismes vivants. Le manque d'oxygène dans le milieu, qui entraine un arrêt des activités biologiques aérobies, peut avoir plusieurs causes comme l'eutrophisation du milieu par des apports extérieurs naturels et anthropiques trop importants ou un manque d'arrivée d'eau douce à la concentration en oxygène dissous élevée via des transformations du cours d'eau en amont et/ou une montée des eaux de l'océan. Afin de pallier à des manques d'oxygène, les palétuviers ont développé des systèmes racinaires complexes permettant la captation de l'oxygène via les racines en période de marée basse et son acheminement au sein de l'organisme (Thibodeau et al, 1986). La topographie du terrain, associée aux flux des marées, la stagnation d'eau salée dans le milieu et la composition géomorphologique du milieu sont les principaux facteurs d'oxygénation outre la production photosynthétique du milieu.

Les éléments oxygène et carbone jouent aussi un rôle capital dans la transformation et le recyclage des éléments azotés et phosphorés. Dans le cas de l'azote (N), il existe plusieurs processus principaux de transformation de N et vitaux pour le milieu. En fonction de la concentration en carbone et du rapport C/N du milieu, il y aura soit une transformation de nitrate (NO3-) en ammonium (NH4+), appelée réduction microbienne dissimulatrice (D.N.R.A); soit une transformation de NH3+ en azote gazeux (N2) connue comme le processus de dénitrification hétérotrophe. Le rapport C/N détermine la labilité des molécules formant les nutriments, i.e leur capacité à être transformées et absorbées par l'organisme. Au plus ce rapport sera faible, au plus la transformation en ammonium sera important par rapport au second processus. Ces transformations sont capitales car d'une part elles permettent l'élimination du polluant NO3- qui a tendance à acidifier le milieu mais aussi la création de NH4+ qui est la forme azotée biologiquement plus disponible pour les organismes (Hamilton, 2007). De plus, ces différents processus sont soumis à un contrôle oxygéné. Si la concentration en O2 est suffisante dans le milieu, la réaction d'ammonification et se fera au dépend du processus d'assimilation, permettant une utilisation plus importante de l'azote pour la croissance des organismes. Cependant, un surplus d'azote en milieu oxygéné entraine la croissance d'algues et de flore en surface de l'eau qui peut à terme amener à l'eutrophisation du milieu et une situation d'anoxie. Les organismes associés aux sédiments de la mangrove sont capitaux pour la régulation des apports de matières organiques carbonées et azotées (Corredor and Morell, 1994; Tam et al, 1998; Guiral et al, 1999). Afin d'avoir une vue d'ensemble des différentes réactions subies par les groupes azotées, nous pouvons nous appuyer sur le schéma de Trimmer (2003) (figure 6) :

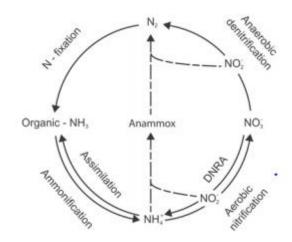


Figure 6 : Cycle de l'azote simplifié (d'après Trimmer et al, 2003)

Ce schéma nous permet de mettre en avant l'importance de la couche bactérienne et d'une bonne gestion de l'oxygénation du milieu dans le cadre du traitement des effluents apportant une concentration de composés azotés dans le milieu. Wu et al. (2008) ont démontré que les processus de nitrification et dénitrification sont fortement corrélés par la salinité du milieu ainsi que la dégradation de l'azote organique (Pathak et Rao, 1998; Wichern et al, 2006). Dans le cadre d'une gestion efficiente et holistique du milieu, il est donc nécessaire de connaître la composition bactérienne du substrat dans l'analyse des différents cycles. Les communautés de crabes dans les mangroves, via leurs galeries souterraines vont oxygéner les sédiments limitant le processus de dénitrification anaérobie et favorisant l'apparition de NH4+. La capacité de recyclage des composés azotés peut aussi être limitée par le tanin présent dans les feuilles de palétuviers se retrouvant dans le milieu aqueux (Woodroffe et al, 1992).

Les études sur les concentrations en phosphores des mangroves sont moins nombreuses que celles du (C) et (N). Cependant, on peut constater que la concentration en phosphore aura tendance à être recyclé par les micro-organismes de la surface du sédiment et à augmenter avec la profondeur. Les mangroves possèdent une capacité de puits pour le phosphore. Tant que sa concentration reste dans des domaines acceptables, en fonction des conditions physico-chimiques du substrat, les éléments phosphorés seront soit utilisés pour la croissance des palétuviers, soit stockés en profondeur par les complexes argilo-humides. Dans le cas d'une trop forte concentration, ces éléments deviennent polluants et engendrent le phénomène d'eutrophisation. Le manque de données concernant les flux de phosphore ne permettent pas de les gérer de façon optimum mais le fonctionnement global connu permet de pouvoir appréhender les effets de concentrations non-adéquates sur le milieu.

L'analyse des écosystèmes de mangroves et de leurs paramètres physico-chimiques permet de pouvoir anticiper les réactions du milieu suites à des modifications de ces-dernières. Les impacts de fermes aquacoles et de ces effluents peuvent ainsi être compris et des solutions peuvent alors être apportées. Nous allons, dans la suite de ce travail, essayer de réaliser ces objectifs.

3 PARTIE 2 : LA CREVETTICULTURE EN NOUVELLE CALEDONIE : UN PROCESSUS DESTRUCTEUR ET CREATEUR

3.1 ETAT DE LA CREVETTICULTURE DANS LE MONDE ET EN NOUVELLE CALEDONIE

En 2014, la production de crevette dans le monde a été estimée à 8.2 millions de tonnes dont 4.6 en aquaculture (FAO, 2015). Depuis les années 80, cette production aquacole n'a fait qu'augmenter avec une explosion à partir de 1995. Entre cette date et 2015, elle est passé d'environ 800 000 tonnes annuelles aux valeurs que nous connaissons, soit plus de 4 millions de tonnes par an. Très rapidement, la Chine a rattrapé son retard dans ce domaine et est devenu la première région productrice devant l'ensemble des pays d'Asie du Sud-Est. Les principaux pays importateurs sont les pays développés Japon, Etats-Unis, Chine et l'Union Européenne en tête avec un tonnage estimé à 780 000 tonnes en 2016 (F.A.O, 2016). La crevette est un produit relativement cher sur les marchés occidentaux et est régulé par des courts internationaux. Les revenus du producteur sont donc définis d'une part par ses coûts opérationnels et d'autre part via un prix fixé et réévalué régulièrement sur les marchés boursiers. Entre 2013 et mars 2015, le prix des crevettes pénéides à la vente aux consommateurs a connu une envolée passant de 13.71 US\$/kg à 19.25 en Août 2014 puis une crise est apparu le faisant chuter à 8.71 en Octobre 2015. Depuis son court est remonté pour atteindre 12.90 US \$/kg en Mai 2018 (World Index Trading, 2018). Cependant, les prix à l'importation sont eux relativement plus bas avoisinant les 7€/kg pour les crevettes congelés. La marge bénéficiaire des grossistes et revendeurs est donc non négligeable sur ces produits. A l'horizon 2030, le marché de la crevette va connaître, selon les prévisions de la F.A.O, une forte croissance avec une quantité d'environ 12 millions de tonnes par an (tous types de scénarios confondus) mais surtout connaître un doublement de la production aquacole (FAO, 2015). La valeur des importations mondiales a connu une augmentation au cours des 20 dernière années avec une valeur totale de 650 millions d'euros en 2016 pour un prix unitaire avoisinant les 7.5€/kg à l'importation malgré la crise de 2013. Sur le total de la production aquacole mondiale, les crevettes représentent 20% de la valeur monétaire dégagée (De Schryver, 2014).

Au sein des territoires français d'Outre-Mer, la Nouvelle Calédonie est leader en termes de production aquacole de crevettes avec une quantité s'élevant à 2800 tonnes en 2015 sur 680 ha (Deborde *et al*, 2015). La majorité de la production crevetticole calédonienne est destinée à l'export vers la France et l'Union Européenne avec des prix dans les ports européens de 10€/kg pour les crevettes pénéides en 2016. Le chiffre d'affaire annuel pour les dernières années s'élevait en moyenne à 22 millions d'euros (Ifremer, 2015) pour un total de 28 fermes.

Ce secteur a commencé à être développé sur le territoire à partir des années 80 avec l'importation de la crevette Litopenaeus stylirostris en provenance du Mexique puis l'exploitation d'espèces endémiques comme P.Monodon. Le modèle d'exploitation utilisé à l'époque était calqué sur celui équatorien, soit un modèle extensif. Ce dernier est caractérisé par de grands bassins de plusieurs hectares avec des densités équivalentes à une quinzaine d'individus par mètre carré avec un calibre final de 20 grammes en fin de production. De plus, il s'agit d'une monoculture où les bassins sont alimentés par des eaux de pompage des canaux environnants et où les aliments proviennent du marché local. La recherche de croissance économique à pousser les éleveurs à augmenter la densité des bassins ainsi qu'une augmentation du calibre finale sans modifications techniques d'exploitation. La croissance de ce marché a été notable jusqu'en 1993 et l'apparition du « syndrome 93 », une pathologie hivernale. Quatre ans après, les éleveurs ont constaté le développement d'une nouvelle maladie bactériologique pathogène appelée « syndrome d'été ». Bien que le risque de réapparition de ces maladies soit toujours présent, le nombre d'exploitations n'a pas cessé de progresser atteignant les 28 exploitations fonctionnelles en 2016. Ces dernières permettent en outre de faire vivre environ 200 personnes en poste permanent et emploient pour plus de 400 saisonniers à l'année, ce qui fait de ce marché la deuxième exploitation de l'île après le nickel. Hormis les conditions écologiques plus que favorable à une telle production (climat tropical et subtropical, présence de terres à faible valorisation économique à l'époque comme les mangroves et les tannes), le territoire a bénéficié de l'appui des élus et des représentants de l'Etat qui voulaient accroître le développement rural et permettre une meilleure intégration des communautés locales via cette activité. De plus, étant un territoire français, la Nouvelle-Calédonie a pu s'appuyer sur des technologies d'élevage poussées et la présence de scientifiques en provenance des pays développés. D'abord subventionné par l'Etat, le marché s'est ensuite ouvert aux investisseurs privés au début des années 90 qui ont commencé à pratiquer de l'élevage intensif et semi-intensif. Le premier est caractérisé par des bassins relativement petits (en moyenne 5 hectares) avec plusieurs aérateurs, un système de drainage pour l'évacuation des eaux et de dragages pour celle des boues, une densité élevée d'individus (en moyenne supérieur à 30 individus/m²) nourris plusieurs fois par jour avec des aliments généralement importés de l'agro-industrie. En combinaison de l'utilisation de produits chimiques et de médicaments, cette technique permet d'obtenir des rendements élevés situés entre 4000 et 8000 kg/ha/an dans une exploitation optimale. L'élevage semi-intensif permet des rendements divisés par 1.5 voire 2 par rapport au système précédent avec des densités de l'ordre de 15 à 30 individus par mètre carré. L'alimentation en eau se fait via des canaux environnants et le drainage des bassins est continu. L'alimentation et l'utilisation de produits phytosanitaires sont similaires au système intensif.

3.2 LES FERMES CREVETTICOLES ET LEURS POSSIBLES IMPACTS SOCIAUX POUR LES POPULATIONS LOCALES

La majorité des fermes calédoniennes ont été construites sur des tannes sur-salées en amont des mangroves et en remplacement de celles-ci. Ces dernières étaient et sont toujours utilisées comme milieu récepteur des effluents. Cette idée a été émise par de nombreux colloques de scientifiques à travers le monde qui décrivent cet écosystème comme des bio-filtres efficaces pour les effluents anthropiques et naturels (Rivera-Monroy *et al*, 1999; Primavera, 2005; Robertson et Philips, 1995). On peut donc constater une diminution de l'espace occupé par ces dernières pour des raisons autres que le changement climatique.

Hormis la conversion des terres et donc la destruction des mangroves, les principaux problèmes liés à l'exploitation de fermes crevetticoles en lien avec cet écosystème sont le détournement de l'eau douce, l'utilisation de produits phytosanitaires, la formation de marais salants, le relargage des déchets d'élevage, le prélèvement de crevettes dans le milieu naturel pour la reproduction, l'introduction d'espèce non endémique. (Hein, 2002). L'évaluation monétaire de cet écosystème est souvent non prise en compte dans les analyses coûtsbénéfices de l'élaboration de tels projets. De plus, ces terres sont majoritairement utilisées par les communautés autochtones qui voient dans cet environnement un accès aux ressources vivrières mais aussi un lieu symbolique dans leurs cultures. Cependant, ces communautés ne possèdent généralement pas de titre foncier permettant aux investisseurs de les acquérir facilement et à faibles coûts (Junk et al, 2006). Seulement deux fermes de Nouvelle-Calédonie ont intégré dans leurs plans l'intégration des tribus locales dans l'activité et la gestion du projet. Afin de prévenir d'éventuels conflits en lien avec l'utilisation des terres par les communautés locales et l'accaparement foncier du territoire, tous les projets d'aquaculture devraient prévoir l'intégration de ces communautés via des évaluations environnementales stratégiques. Par ailleurs, les modifications apportées à cet écosystème ont des conséquences plus importantes sur certains groupes sociaux spécifiques comme les femmes. Ces dernières avaient l'habitude de pratiquer l'activité de ramassage de crabes dans les mangroves, fournissant une source de revenus non négligeable aux familles. Sans compensations, la destruction de ces environnements aura tendance à diminuer fortement le niveau de vie de ces communautés ce qui peut amener des crises sociales locales. Cormier-Salem (2000) a estimé que 500 ha de ferme permettaient à 6 familles de vivre tandis qu'un hectare de mangrove permettait à une vingtaine de familles autochtones de vivre. L'aquaculture de la crevette peut donc être critiquée vis-à-vis des retombées qu'elle fournit sur les communautés locales (Rafomanana, 2005) ainsi que pour leur impacts sociaux, économiques et environnementaux (Menasveta, 1997; De Graaf et Xuan, 1998; Szuster, 2006).

3.3 DIFFERENTES FORMES D'IMPACTS D'UNE FERME CREVETTICOLE SUR LES MANGROVES ENVIRONNANTES

L'établissement de fermes crevetticoles dans des zones de mangroves entrainent plusieurs particularités à anticiper et gérer. Outre le fait qu'en Nouvelle-Calédonie, la déforestation de mangroves est induis par l'agrandissement des fermes existantes et la possible création de nouvelles, il est capital d'intégrer dans la gestion les répercutions qu'une telle déforestation va avoir en amont du processus d'élevage mais aussi les impacts des eaux chargées en matières organique, minérale et chimique en sortie de bassin et se déversant dans l'environnement.

Kristensen (2006) a répertorié cinq catégories d'impacts liés à l'établissement de fermes crevetticole dans les environnements composés de mangroves. Le premier est la déforestation en elle-même. Ces conséquences sont connues et expliquées dans la première partie (érosion des côtes, perte de biodiversité...) mais aussi l'acidification des sols que cela entraine et toutes les conséquences liées à ce phénomène. La deuxième concerne le prélèvement de crevettes dans le milieu naturel dans le but d'avoir des reproducteurs pour les écloseries. D'une part, cet acte va avoir pour conséquence une perte de biodiversité et un impact sur la chaîne trophique. D'autre part, cette opération se faisant en raclant les fonds des cours d'eau (zone benthique idéale à la prolifération des crevettes), elle va mélanger les différentes strates sédimentaires faisant remonter dans la colonne d'eau un surplus d'éléments limitant pour la croissance de l'ensemble de la biocénose et des métaux lourds toxiques pour l'écosystème. Qui plus est, ce mélange peut aussi augmenter la turbidité du milieu inhibant la photosynthèse des phytoplanctons et donc une diminution du niveau d'oxygène dissous dans l'eau. Ce type de drague des fonds aquatiques en mangrove va aussi soulever un autre problème. Avec des couches sédimentaires non stratifiées et sans cesse perturbées, les palétuviers ne peuvent pas développer de système racinaire complexe entrainant leur disparition. Le troisième type d'impacts est lié à l'introduction d'espèces non-endémiques dans le milieu par des fuites dans les bassins. A long terme, ces nouveaux individus vont modifier la chaîne trophique de l'écosystème en occupant des niches écologiques à la base liées à des espèces locales. A court terme, ils peuvent induire l'apparition de nouveaux pathogènes qui seront destructeurs pour l'ensemble de l'écosystème qui n'aura pas le temps de s'adapter. La quatrième catégorie d'impacts est liée à l'alimentation des crevettes entre les phases de mues. Ces dernières nécessitent un apport important de protéines et de nutriments durant ces phases qui se fait généralement par le biais de farine de poisson en phase adulte dans un système semi-intensif ou intensif. Les coûts économiques et écologiques de ce type d'alimentation sont nombreux et son efficience dépend avant tout de la capacité d'absorption des crevettes. Le ratio de conversion alimentaire (Food Conversion Ratio ou F.C.R) permet de déterminer la quantité de nourriture nécessaire pour la production d'un kilogramme de produit. Tacon (1996) a estimé que pour un élevage de type semi-intensif, ce ratio était de 2.18, c'est-à-dire qu'il faut 2.18 kg de poisson pour 1 kg de crevette et qu'il y a donc 1.18 kg de déchets rejetés. Dans le cadre d'une gestion efficace et efficiente de ce type d'élevage, il est intéressant d'arriver à un F.C.R au plus proche de 1 afin de limiter d'une part l'apport excédentaire de nutriments et d'autre part réduire la production de déchets. Ces derniers sont caractérisés par Alongi (2005) dans son étude comme la dernière catégorie d'impacts. Nous allons par la suite détailler chacune de ces catégories (hormis la première déjà explicité précédemment) plus spécifiquement et voir le meilleur type de gestion possible afin de limiter au maximum les effets néfastes sur l'environnement. Afin d'avoir une vue d'ensemble des différents impacts, nous pouvons nous baser sur le schéma suivant (figure 7) :

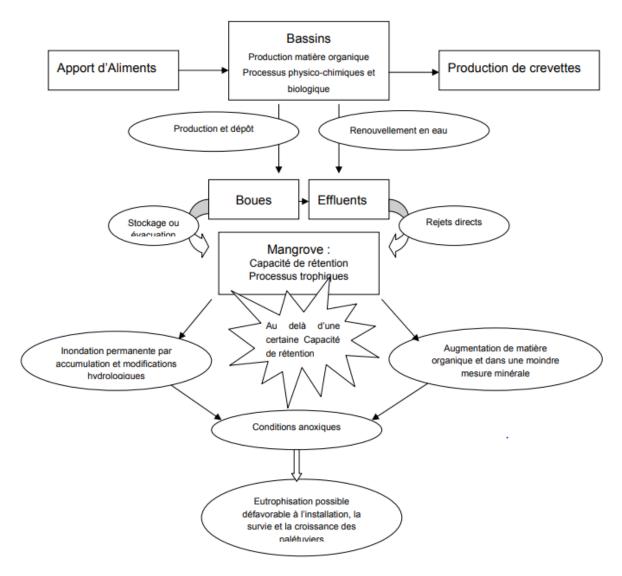


Figure 7 : schéma synthétique des effets d'une ferme aquacole de crevettes sur l'écosystème mangrove (Alongi, 2002)

3.4 GESTION D'UNE FERME AQUACOLE DE CREVETTES

Il existe un certain nombre d'études réalisées sur la gestion d'une ferme crevetticole et des impacts liés à ces effluents sur les mangroves. Les meilleurs résultats obtenus corrèlent tous avec une gestion limitant les impacts en sortie de bassins, c'est-à-dire que ces eaux correspondent au mieux à celles caractéristiques du milieu tout en aillant une productivité

relativement correcte aux yeux des gestionnaires de projet. Nous allons voir ici les meilleures conditions d'élevage aux vues des recherches effectuées sur le sujet.

Au sein des bassins d'élevage ainsi que dans tout écosystème aquatique, la présence de phytoplancton est capitale en termes de niche écologique. Ils permettent à la fois l'alimentation des zooplanctons (aliments de base pour les espèces supérieurs dans la chaîne trophique) mais aussi la création d'oxygène dans le milieu régulant l'ensemble de l'écosystème. Leur prolifération est affectée par la température, la salinité et le pH. Bien que pouvant évoluer dans des gammes assez larges pour ces paramètres (présence dans toutes les mers du globe aux conditions différentes), ils ont des difficultés à s'adapter à des variations trop importantes. Les afflux massifs en provenance des bassins d'élevage peuvent amener une augmentation de la production phytoplanctonique dans la mesure où des éléments limitant comme des produits phytosanitaires ou une trop forte concentration de matière en suspension (augmentent la turbidité de la colonne d'eau et inhibe la photosynthèse) ne sont pas présents. Il est donc nécessaire de gérer la production de phytoplanctons dans le bassin aussi bien pour la production d'oxygène du milieu que pour l'alimentation qu'ils vont générer aux autres espèces.

Afin de limiter au maximum les apports alimentaires (dont la farine de poissons) et de production de déchets, il est nécessaire de prendre en compte les différents facteurs qui vont affecter leur alimentation. Comme expliqué précédemment, au plus le F.C.R sera proche de 1, au plus le système sera efficient.

Il est intéressant de commencer par définir les différentes phases de croissance d'une crevette de la famille des Pénéides. Au sein des fermes aquacoles, les crevettes sont déjà arrivées à la troisième phase de développement, *i.e* en phase adulte. A titre d'informations, on estime que les animaux sont dans cette phase lorsque l'on peut distinguer l'apparition des appareils génitaux. Durant cette phase, l'animal va toujours observer divers moments de mues où il va croître en remplaçant sa carapace (nom commun donné pour exosquelette) et va produire de la chaire. Ces épisodes de mues sont commandés par l'activation d'une enzyme se faisant via des stimulations externes comme la variation de la température, la concentration en oxygène dissous, le pH Pour atteindre un objectif de calibre équivalent à 20 grammes par crevettes, les éleveurs devront les conserver entre 4 et 6 mois en bassin en fonction du type d'élevage et ce après une période de 20 à 40 jours en phase juvénile. Ces délais permettent aux aquaculteurs de réaliser entre trois et quatre récoltes par an.

Avant d'arriver dans les bassins aquacoles, les crevettes sont disposées dans des bassins nurserie où elles peuvent évoluer du stade larvaire jusqu'au stade juvénile avant d'être transférées. La première phase (larvaire) se caractérise par deux états distincts où des différences d'alimentation sont présentes. La larve zoé, d'une durée de 4 jours en moyenne, va consommer en exclusivité des micro-algues phytoplanctoniques. Puis la crevette va muer pour atteindre l'état mysis. Dans cette dernière, l'animal va changer son régime alimentaire pour devenir carnivore et consommer majoritairement du zooplancton. Cette période peut durer plusieurs semaines avant d'arriver au stade juvénile.

Ce stade intermédiaire permet la formation de l'ensemble des organes de l'animal et durera quelques semaines jusqu'à l'apparition des organes génitaux de l'animal et son alimentation est déjà proche de celle observée au stade adulte.

Toutes ces différentes phases sont distinctes par la présence de périodes de mue mais ces dernières sont aussi présentes au stade adulte quand l'animal se retrouve à devoir grossir. Entre ces phases de mues, on peut distinguer trois étapes successives qui sont la post-mue, l'inter-mue et enfin la pré-mue où l'activité alimentaire varie fortement (figure 8).

	Post-mue		Inter-mue	Pré-mue		Mue	Post-mue		
Stade	Α	В	С	D1	D2	D3	Е	Α	В
Durée	5%		40%	55%		/	5%		
Exosquelette	progressivement Activité Nulle / faible		Cuticule dure	Pas de nouvelle cuticule visible à l'œil nu	Apparition de la nouvelle cuticule	Espace entre l'ancienne et la nouvelle cuticule	/	Cuticule molle qui s'endurcie progressivement	
Activité alimentaire			Maximale		Décroissante		1	Nulle / f	faible

Figure 8 : Phases de croissance des crevettes avec leurs durées et la consommation alimentaire (Stonich et al, 2000)

Il permet ici de distinguer de forte prise de poids durant les mues et augmentation plus linéaire en dehors (Annexe 2). L'exosquelette étant relativement rigide, il offre à l'animal une protection mais aussi des limites de croissances, l'obligeant à muer. Pour sa formation, la crevette doit consommer d'importante quantité de sels de calcium, de protéines, de matières grasses et d'azote et de phosphore. Cependant, elle le fait durant des phases précises tandis qu'a d'autres, son alimentation peut être faible voire nulle. Durant les périodes de mue et post-mue, la crevette ne consomme pratiquement pas d'aliments. Puis durant l'inter-mue (40% du temps de croissance), sa consommation sera maximale. Enfin, durant la pré-mue, la quantité de nutriments qu'elle ingérera diminuera progressivement jusqu'à la mue. Dans le cadre d'une gestion optimale des ressources et de la consommation des animaux, il est important que l'éleveur adapte les quantités de produits alimentaires aux différents stades de mue. Pour cela, il est utile d'anticiper les prochaines mues de l'animal. De plus, un apport trop important de nutriments ne fera que se retrouver dans les eaux en sortie de bassins formant des déchets pour l'environnement receveur (eutrophisation du milieu receveur). Par ailleurs, il est capital de faire particulièrement attention à la phase de post-mue, lorsque l'exosquelette n'est pas encore tout à fait formé. Durant cette période, l'animal ne possède pas de couche protectrice extérieur ce qui peut amener deux types de problèmes. D'une part, cela va favoriser l'apparition de maladies telle que le « syndrome 93 » ou le « syndrome d'été ». D'autre part, en combinaison de l'absorption massive d'eau, l'animal peut subir un choc osmotique déréglant les fonctions cellulaires. Afin de parer à ce problème, il est conseillé aux éleveurs d'utiliser des osmorégulateurs. Qui plus est, la granulométrie des nutriments doit être adaptée à chaque étape de croissance de l'animal (Stonich et al, 2000) afin d'avoir un F.C.R le plus proche de 1. Dans le cas où les aliments seraient trop gros pour être absorbés par les animaux, ils se retrouveraient précipités et se mélangeraient aux boues situées en fond de bassin.

La F.A.O préconise des paramètres physico-chimiques d'élevage pour les crevettes pénéides regroupées au sein du Water Quality Management Program, en collaboration avec un colloque de scientifiques internationaux. Il faut rappeler en premier lieu que toutes les espèces de crevettes, y compris celles appartenant à la famille des pénéides, sont des animaux dis poïkilothermes, i.e que leur température corporelle varie avec celle du milieu. Le contrôle de ce paramètre physique des bassins permettra en autre d'influer sur la production de crevettes. Mirta (2013) a souligné le fait qu'il y avait une corrélation entre la température du milieu et la croissance des crevettes. Cependant, les résultats sont significativement opposés dans le cas où celle-ci subirait une augmentation supérieure à 2°C. La température d'eau de mer étant relativement constante à courts termes (mais les prévisions pour le prochain siècle montrent une augmentation plus que conséquente), le moyen de rafraichir les bassins se fait via l'apport d'eau douce des rivières avoisinantes. Il a été établi que la température optimale pour une croissance optimale des crevettes, y compris pendant les phases de mues, était entre 21 et 22 °C. Si celle-ci dépasse les 28.5°C, l'ensemble du système enzymatique de l'animal se retrouvera dénaturé et pourra provoquer différents types de problèmes dont respiratoires. (Mirta, 2013). Une augmentation de la température des eaux (en dessous de 28.5°C) sur les crevettes peut amener à une croissance plus rapide de celles-ci mais les répercussions sur l'ensemble de l'écosystème seraient catastrophiques. De plus, elle favoriserait l'apparition et le développement de bactéries et virus nocifs pour la production. Nous verrons par la suite deux syndromes ayant touchés les élevages de Nouvelle-Calédonie. Il faut par ailleurs noter que cette variation de température faciliterait la prolifération de moustiques dans la région amenant avec eux de graves problèmes sanitaires en transmettant des infections comme le chikungunya, fièvre jaune, dengue, etc.

Le cas du contrôle de la salinité du milieu est plus qu'important pour la gestion d'un tel projet. Les crevettes sont des animaux dits homéostatiques, c'est-à-dire qu'il régule leur organisme en fonction du milieu extérieur et de sa pression osmotique en lien avec le taux de salinité des eaux. Comme pour tout paramètre, la salinité doit être suivie régulièrement via un monitoring strict. Pour une croissance optimale des crevettes, elle doit être en moyenne située entre 15 et 25 %. La salinité de l'eau de mer aux alentours de la Nouvelle-Calédonie a été estimée en moyenne à 23 ± 0.5 %, ce qui correspond à l'intervalle de croissance.

Comme expliqué précédemment, la turbidité du milieu joue un rôle important dans la qualité des bassins d'élevage. Elle est déterminée par la concentration en matière en suspension dans la colonne d'eau, soit des éléments particulaires de trop gros diamètres. Si elle est trop importante dans les 30 premiers centimètres de la colonne d'eau, elle entrainera une baisse de l'activité photosynthétique et donc de la concentration en oxygène dans le milieu. Afin de la diminuer, les éleveurs d'élevage semi-intensif ont l'habitude d'employer du gypse pour qu'il réagisse avec le carbonate d'ammonium afin d'obtenir du carbonate de calcium et du sulfate d'ammonium, deux solides facilement dégradables dans le milieu. Cependant, il faut prendre en considération le fait que le gypse à une tendance à acidifier le milieu. Dans un système semi-intensif, il est possible de restreindre l'acidification du milieu par l'emploi de composés calcaire et alcalin. L'étude de ces réactions se doit d'être établi régulièrement et doit déterminer si elles ne vont pas polluer le milieu avec des éléments non dégradables.

Au sein de tout système de production aquacole, la concentration en oxygène dissous est une valeur primordiale. Comme expliqué précédemment, elle contrôle avec la température, le pH

et la salinité les phases de mues mais aussi d'apparition des pathogènes. Un colloque de scientifique travaillant pour la F.A.O (2015) a estimé que pour l'élevage crevetticole, la concentration en oxygène devait être au moins de 5 mg/L pour une croissance régulière. Si celle-ci se situe entre 2 et 4 mg/L, les individus connaitront une croissance fortement perturbée (diminution de la fréquence des mues). Si elle se situe en dessous, le bassin aquacole n'est plus viable pour les organismes vivants. Ils ont par ailleurs mis en avant qu'en dessous de 1.5-2 m de profondeur, la concentration diminuait fortement pour atteindre des niveaux trop faibles. Il est donc inutile de construire des bassins plus profonds que ces dimensions sauf via l'application d'aérateurs pour l'aération de l'eau ou encore l'utilisation de permanganate de potassium favorisant la dégradation anaérobie des sédiments (voir cycle de l'azote pour exemple partie I), faisant alors passer l'élevage en système intensif dans les deux cas. D'autres méthodes dites « plus propres » pour l'environnement existent et seront détaillées dans la troisième partie de ce mémoire.

Comme expliqué, le contrôle du pH est primordial pour tous les types d'environnement. Les meilleures valeurs pour la croissance des individus se situent entre 7.5 et 8.5, *i.e* un milieu légèrement alcalin. Les eaux marines et de rivières ont plus tendance à se situe en-dessous de 7, soit légèrement à fortement acides. Différents tests ont été réalisés *in situ* et *ex situ* (Ifremer, 2014; F.A.O, 2015) et permettent d'établir qu'entre 4-6.5 et 9-10, des problèmes de croissance et de respiration apparaissaient et qu'au-delà de ces bornes, la mort des organismes était assurée. L'acidification du milieu peut avoir plusieurs causes mais dans un système semi-intensif comme pratiqué en Nouvelle-Calédonie, la principale cause est la densité d'élevage. Au plus elle sera élevée, au plus il y aura de déchets qui acidifieront le milieu. Cette densité peut aussi être la cause de nombreux autres problèmes d'exploitation comme la survie ou l'apparition et le développement de maladies (Lemonier, 2007; Martin et *al*, 1998; Fuchs et *al*, 1998). Comme pour l'emploi de gypse, les solutions chimiques pour endiguer l'acidification sont liées à l'emploi de composés alcalin (composés calcaires, dolomite ...).

En corrélation avec la concentration en oxygène dissous, celle en dioxyde de carbone dans le milieu est tout aussi importante. Au plus elle sera importante, au plus la température du milieu le sera pareillement. Qui plus est, les organismes y vivant nécessiteront d'avantage d'oxygène. Ainsi, les crevettes pénéides peuvent évoluer dans un milieu avec un maximum de 60 mg/L si et seulement si celle en oxygène est suffisante. Pour contrer son augmentation, il faut soit augmenter la concentration en phytoplanctons du milieu, soit l'aérer plus régulièrement, soit réaliser un apport d'eau douce à forte concentration.

Comme vu précédemment, les éléments de base azote et phosphore sont capitaux dans l'analyse de l'écosystème mangrove mais aussi pour l'exploitation d'une ferme aquacole. Nous allons maintenant étudier les besoins des crevettes pénéides pour ces éléments respectifs.

La forte présence d'éléments azotés dans les rejets des eaux usées est principalement induis par l'excès d'alimentation pour la croissance des crevettes mais aussi l'utilisation de produits non adaptés aux phases de croissances (granulométrie). Par ailleurs, la densité de l'élevage va appliquer un phénomène d'échelle aux rejets, plus elle sera importante et plus les rejets le seront également. Il est donc plus que nécessaire que la quantité et la qualité soient adaptées à

l'élevage afin d'avoir un F.C.R le plus correct possible et une gestion efficiente des ressources. En dehors de la perte économique qu'implique le gaspillage nutritionnel, les impacts écologiques sont à prendre en considération dans l'élaboration d'un projet crevetticole. Une surutilisation d'éléments azotés va avoir des impacts aussi bien dans les rejets de la ferme que sur la qualité des eaux de bassins. Au sein de ces dernières et comme expliqué dans la première partie, la concentration en azote va influencer le potentiel redox du milieu et de fait la concentration en oxygène du milieu. Un apport trop important amènera à l'hypoxie du milieu via d'une part la dégradation aérobie des nutriments et d'autre part favorisera la prolifération d'algues en surface, phénomène d'eutrophisation limitant l'apport d'énergie lumineuse aux phytoplanctons. Ces phénomènes vont aussi avoir lieu à moindre échelle dans les mangroves limitant leur développement et pouvant même amener à la destruction de l'écosystème si les apports sont excessifs. Lemonnier (2006) a estimé que lors d'emploi d'éléments azotés apportés par l'éleveur, entre 19 et 46% de ces-derniers n'allait pas être consommés par les crevettes et se retrouverait par la suite dans le milieu. Burford (2003) a pour sa part évalué ces quantités à plus de 57%. Mckinnon (2002) va encore plus loin en estimant les pertes à plus de 75%. De telles quantités induisent des concentrations en éléments azotés toxiques plus que dangereuses. Pour une croissance stable en système semi-intensif, la concentration en ammonium ne doit pas dépasser 1 mg/L et celle de nitrites 0.5 mg/l. Afin de contrer ces effets, il est conseillé aux éleveurs d'employer du limon riche en calcium, permettant des réactions anaérobies mais aussi la stabilisation des couches sédimentaires en fond de bassins piégeant des éléments toxiques.

Avec l'azote viens l'emploi de phosphore dans les exploitations aquacole. Nous avons vu précédemment que cet élément est capital lors des phases de mue et post-mue de la crevette pour la fabrication de son exosquelette. Cependant, comme pour l'ensemble des nutriments, un excès de concentration dans le milieu n'entrainera pas une augmentation de croissance. Samocha (1997) met en avant deux éléments importants concernant le phosphore. Premièrement, son utilisation comme complément alimentaire sous sa forme industrielle CaHPO4 ou phosphate bicalcique ne permet aux individus que l'absorption de 16% du phosphate lui-même. Sa surutilisation, afin de combler le manque des organismes, entrainera la contamination de milieu via la prolifération d'algues. Deuxièmement, une réduction de 0.5 à 1% de phosphore dans les aliments amènerait à une diminution de 70% de rejets dans le milieu. Il est donc préférable de limiter au plus l'ajout de produits phosphorés dans les bassins, les organismes utilisant le phosphore naturellement présent. De plus, il est nécessaire d'organiser ses ajouts pour qu'ils correspondent aux phases de croissance précises des individus.

Les éléments polluants sont nombreux, aussi bien sous formes solide ou gazeux. Le sulfure d'hydrogène (H2S), provenant de la prolifération d'algues, est toxique pour tout organisme vivant. Au-delà de 0.022 mg/L, des perturbations respiratoires apparaissent ainsi que des brulures. L'ammoniac (NH3), lui aussi toxique va être dégradé soit par voix aérobie ou anaérobie (voir cycle de l'azote). Le mercure, sous ses formes organométalliques et de sels, est un neurotoxique puissant ainsi qu'un reprotoxique, *i.e* qu'il va altérer la croissance des individus. Etant très volatile, surtout en milieu aquatique, il va se retrouver dans l'ensemble de la chaine trophique en s'accumulant dans les tissus. Utilisé comme composé pour des

bactéricides, fongicides et antiseptiques, son utilisation est lourdement réglementée. Il est conseillé de recourir le moins possible à l'utilisation de tels produits. D'autres éléments polluants sont aussi à monitorer comme le cuivre, le zinc, le cadmium... Afin de gérer au mieux ses effluents pollués, Sonnenholzner (2000) préconise la création de bassin de décantation afin de rejeter les eaux dans l'environnement. Ces bassins peuvent aussi permettre aux processus de nitrification/dénitrification de s'appliquer limitant l'eutrophisation des eaux des mangroves (Avnimelech *et al*, 2001). Qui plus est, l'enlèvement régulier des boues permet de diminuer fortement la concentration en ammonium du milieu, jusqu'à 60% d'après l'étude de Lalitha (2017).

Un contrôle strict et régulier de l'ensemble de ces conditions est nécessaire pour une bonne gestion de fermes aquacoles. En outre, cela permet de limiter l'apparition de maladies. Nous allons voir par la suite deux exemples de maladies affectant les crevettes et qui sont apparus en Nouvelle-Calédonie.

3.5 LE « SYNDROME 93 » ET LE « SYNDROME D'ETE » : DEUX EXEMPLES DE MALADIES RAVAGEUSES EN NOUVELLE-CALEDONIE

Le syndrome 93, ou syndrome d'hiver, est une maladie affectant les crevettes d'élevages principalement. Bien que la bactérie responsable *Vibrio nigripulchritudo* ait été détectée quelques années plutôt, c'est durant l'année 1993 que l'on a pu observer un véritable impact sur les populations des fermes. Goyard (2008) explique que cette année-là, on a su observer plusieurs facteurs coordonnés. Le premier est une saison météorologique particulièrement froide avec températures inférieures de 3-4°C par rapport aux moyennes saisonnières. De plus, cet hiver a été caractérisé par une très importante salinité des eaux suivies de pluies diluviennes. Le deuxième correspond à l'intensification des élevages avec une augmentation des densités d'individus par bassin en passant d'environ 20 individus par mètre carré à 30. Enfin, les différents apports en nutriments dans l'élevage vont impacter directement le taux d'apparition des maladies via principalement le phénomène d'eutrophisation du milieu diminuant la résistance des individus aux pathogènes.

Le premier facteur n'est pas imputable à la gestion directe des fermes aquacoles. Les conditions météorologiques n'étant pas gérables et imputables aux exploitants, la meilleure solution pour restreindre les impacts de ces phénomènes correspond à une anticipation de l'évolution du climat de la région avec la participation des organismes compétents et l'application de relevés réguliers pour un suivi efficace et l'établissement de projections au plus proche de la réalité. A l'heure actuelle, il existe des projections réalisées à long terme par des organismes internationaux (*c.f* partie II et G.I.E.C) mais aussi à court terme via les stations météorologiques de l'île (Annexe 3). L'utilisation de ces données est capitale dans le cadre d'une gestion préventive et de conservation du milieu d'élevage.

L'augmentation de la densité d'élevage, qui dans un objectif de rentabilité correspond à une économie d'échelle, a été démontrer comme étant un facteur influençant le développement de

pathogènes nocifs pour les individus. Il existe une relation inverse entre la survie des individus en croissance et la proportion de l'ensemencement dans le milieu (Lemonnier, 2007; Martin et al, 1998). Des prélèvements réalisés sur un ensemble de fermes aquacoles calédoniennes avant et après 1993 illustrent et ont permis la justification de ce facteur (figure 9)

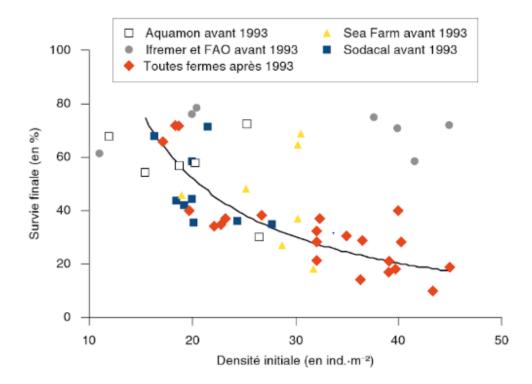


Figure 9 : Rapport densité / survie d'élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie (Lemonnier, 2007)

Par ailleurs, l'augmentation des apports en aliments en lien avec l'augmentation de la densité d'élevage va amener à une eutrophisation du milieu et une diminution de la concentration d'oxygène dissous en fond de bassin au final. Ce phénomène, suite à plusieurs études réalisées sur place (station Ifremer), a été divisé en deux phases successives en lien avec l'apparition de deux types de phytoplanctons successifs : d'abord le picophytoplancton puis le nanophytoplancton qui corrèle avec l'apparition des mortalités (figure 10).

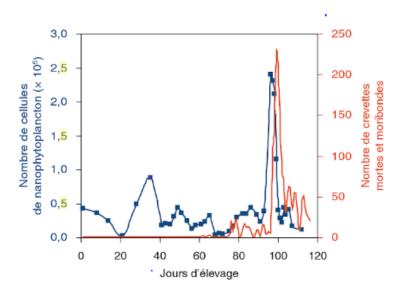


Figure 10 : Evolution du nombre de cellules de nanophytoplanctons et du nombre de crevettes mortes et moribondes (Ifremer, 2002)

Ici, on constate que peu avant 100 jours, la concentration en nanophytoplancton va être multipliée par 5 très rapidement et suivi d'une augmentation de la mortalité des individus. De plus, les auteurs de cette étude ont aussi mis en évidence le lien entre cette mortalité avec la concentration en NH4 du milieu. Sur une même période d'étude et dans des conditions expérimentales similaires (*i.e.* sans renouvellement des eaux sur la période), il a été observé une augmentation de NH4, élément nocif pour le cheptel. Cette forme azotée coïncide avec le changement de population phytoplanctonique. Outre le fait que ce facteur va influencer la mortalité directe des individus dans le milieu, il va aussi permettre une augmentation du risque d'infection en fragilisant les organismes. Cependant, cette augmentation de population nanophytoplanctonique va aussi être régulée par d'autres facteurs annexes tels que l'ensoleillement (apport d'énergie), le taux de sédimentation de l'azote sous toutes ses formes influencé par le renouvellement des eaux et la bioturbation du milieu.

Bien que les connaissances de certains facteurs soient développées et permettent de les incriminer dans l'apparition des deux syndromes, il est nécessaire de prendre le système d'élevage dans son ensemble pour une meilleure compréhension. Snieszko (1973) met ainsi en lumière les liens entre les trois ensembles hôte-pathogène-environnement comme facteurs d'apparition des maladies. Pour améliorer les performances, il est donc nécessaire de travailler via des modèles qui seront aussi gnotobiotiques, *i.e* à la faune bactérienne contrôlée.

Les différentes observations réalisées sur les fermes de Nouvelle-Calédonie nous ont permis d'établir un lien entre l'efficacité du pathogène et les phases de croissances des individus. Il a été constaté, durant les périodes de syndrome, qu'il y avait une part significative d'individus au stade post-mue. Afin d'endiguer l'apparition des syndromes, il est nécessaire d'étudier au mieux les différents paramètres avant et pendant les phases de mues des crevettes.

Thomas (2008) nous précise également que des élevages, à la base non porteurs du pathogène mais situés à proximité d'un élevage infecté, vont développer l'infection avec un délai

supplémentaire (estimation à une quinzaine de jours). Cette prolifération peut s'expliquer principalement via le transfert d'eaux contaminées d'un bassin à un autre. Ces dernières peuvent être relâchées dans le milieu récepteur (ici la mangrove) et vont pouvoir être retransmises à d'autres bassins reliés à la mangrove lors des phases de marées hautes. Il est donc nécessaire de contrôler à la fois les eaux pénétrant les bassins mais aussi celles qui en sortent.

3.6 SYNTHESE CREVETTICULTURE

La production crevetticole en Nouvelle-Calédonie connait une expansion importante depuis la fin des années 80. Basée au départ sur des systèmes locaux et extensif, la valorisation du marché a poussé les éleveurs vers une exploitation de type semi-intensif avec une augmentation des apports exogènes en nutriments et en renouvellement des eaux. La plupart des fermes ont été construites sur des tannes (surface de terres hypersalées), nécessitant la création de canaux en amont pour l'apport d'eau douce et en aval pour l'export des eaux usées mais aussi l'apport en eau de mer principalement via les mangroves à proximité. Le principal impact en amont est donc la dérivation des eaux de rivières, asséchant d'autres terres aux utilisations variées mais principalement l'agriculture, mais limitant aussi l'apport d'eau douce nécessaire au développement des mangroves. En aval, les rejets des eaux usées, combinées à la diminution de l'apport en eau douce, va impacter les environnements côtiers et principalement les mangroves dans le cas de la Nouvelle-Calédonie. L'excès de nutriments azotés et phosphorés entraine l'eutrophisation du milieu, donc à terme une diminution des conditions viables de l'écosystème. Par ailleurs, d'autres rejets toxiques peuvent être libérés dans le milieu comme des concentrations excessives en métaux lourds, en produits phytosanitaires et d'autres types pouvant altérer directement le métabolisme des différents organismes ou indirectement en modifiant les paramètres physico-chimiques du milieu (diminution du pH, augmentation de la salinité, diminution de la concentration en oxygène dissous...).

Bien que des études aient été réalisées et utilisées pour de nouveaux développements de projets, la nécessité de s'adapter aux écosystèmes locaux est un impératif. Même si les mangroves sont considérées comme des biofiltres efficients, de trop fortes modifications auront des impacts généralement négatifs. Ainsi, avec un changement climatique entrainant déjà d'importants impacts sur cet écosystème, les développeurs de projets aquacoles se doivent d'anticiper aux mieux ces impacts à la fois sur l'écosystème mais aussi sur leur future exploitation en utilisant au mieux les connaissances acquises et en limitant par ailleurs les éventuels impacts de leur projet.

C'est dans ce cadre que nouveaux types de projets aquacoles en lien avec les mangroves ont été réalisés à travers le monde en intégrant au maximum l'écosystème aux exploitations. Par exemple, la limitation des intrants via l'utilisation des services fournis par les mangroves vont amener à une diminution des pollutions en sortie de bassin. L'objectif final est double : promouvoir une activité vivrière pouvant avoir une forme rentabilité économique pour les

populations et améliorer la protection de cet écosystème voir sa croissance. Nous verrons par la suite quelles possibilités existent pour atteindre ces objectifs.							

4 PARTIE 3: DE NOUVELLES FORMES D'AQUACULTURES RESPONSABLES

La Nouvelle-Calédonie est bordée de mangroves le long de sa côte ouest, lieu principal d'exploitation de fermes crevetticoles. Utilisés comme bio-filtres, ces écosystèmes subissent de façon directe et indirecte l'implantation de telles structures d'élevage. Aux vues des différentes projections déjà réalisées sur les changements climatiques et l'importance d'un tel environnement pour les générations contemporaines et à venir, il est nécessaire de protéger et même d'améliorer le développement d'une telle richesse naturelle tout en la combinant avec des activités vivrières et économiques. Les différents impacts d'un élevage de crevettes sur la mangrove sont connus et certains Etats ont déjà montré leur volonté de correspondre à cette double croissance. Différentes spécificités existent entre les techniques mais la base résulte sur l'emploi maximum des services fournis par les mangroves. Nous allons maintenant voir quelques exemples de systèmes existants.

4.1 RAPPEL HISTORIQUE DE L'AQUACULTURE DANS LE MONDE

Le développement de l'aquaculture s'est fait en complément de l'agriculture traditionnel. D'après les historiens spécialisés dans le domaine, il s'est fait car il était nécessaire pour les populations contemporaines de l'époque (Boserup, 1965 repris par Beveridge, 2002). On retrouve ces techniques d'exploitation dans l'ensemble du monde mais c'est en Afrique et en Asie on l'en a retrouvé le plus de traces. Les conditions de développement humain à l'époque étaient directement en lien avec les stocks de vivres présents. Ces techniques d'aquaculture avaient donc vocation à permettre une meilleure gestion des stocks. En Egypte, la consommation de poisson tilapia fut de base pour les castes sociales de haut rang. Le développement de bassins dans le Nil (où se développaient aussi roseaux et papirus) permettaient une fourniture constante de ce met tout au long de l'année (figure 11).

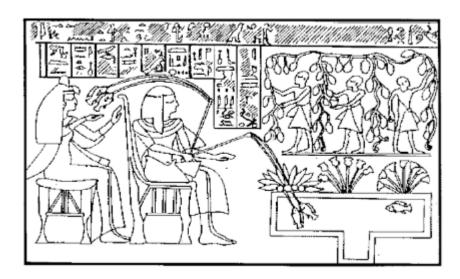


Figure 11: Figure 11: Bas-relief d'une aquaculture de tilapia dans l'Ancienne Egypte (redessiner par Chimits, 1957)

En Chine, le développement de l'aquaculture s'est fait principalement dans les deltas des rivières, là où les concentrations de populations étaient les plus élevées. Ces communautés possédaient deux principales sources protéiniques : le riz et les produits halieutiques. Avec l'augmentation de la population constante dans ces zones géographiques, la production de riz devait être efficace mais les effluents et la dégradation du milieu de culture entrainait le repose prolongé de ces terres après la culture. L'utilisation de poissons et autres espèces permettait des rotations de culture plus rapide. Par ailleurs, les développements de poisson en quantité était bien plus rapide que celui des espèces terrestres comme le porc où le bœuf. La co-culture d'espèces halieutiques et de riz leur permettait donc d'être suffisants dans les besoins calorifiques des populations.

4.2 CONTEXTE ET PROGRAMMES POUR CES OBJECTIFS DE « DEVELOPPEMENT DURABLE » DES MANGROVES DANS LE MONDE

Il existe un certain nombre de conventions et réglementations au niveau international et nationale à travers le monde pour la conservation des mangroves. La convention « mère » au niveau mondial est porte sur la protection des zones humides d'importance internationale ou convention Ramsar datant du 2 février 1971. Cet accord intergouvernemental à visée contraignante pour les parties signataires les oblige à assurer la conservation et l'utilisation durable des ressources fournies par les zones humides sélectionnées ainsi que la promotion de programmes de développement en lien avec un « développement durable » de projets qui pourraient impacter ces environnements. C'est la résolution VIII.4 de la convention Ramsar qui exprime cette idée comme telle : « adopter et appliquer des principes de planification

stratégique et de gestion intégrée de la zone côtière comme préalable à toute prise de décision concernant la conservation et l'utilisation rationnelles des zones humides côtières, et dans la résolution VII.21, où les Parties contractantes ont décidé de passer en revue et de modifier les politiques existantes qui affectent défavorablement les zones humides intertidales, de s'efforcer de prendre des mesures assurant la conservation à long terme de ces zones ». Cette convention met donc en avant le rôle déterminant qu'on les zones humides (et donc les mangroves) pour les communautés locales (ensemble des services écosystémiques) ainsi que pour les générations présentes et futures.

Suite à la convention Ramsar, d'autres textes juridiques internationaux ont été ratifiés renforçant son rôle dans la protection des écosystèmes de mangrove. Nous pouvons citer la Convention sur la diversité biologique de 1992, la Convention du patrimoine mondial ou encore celle sur la lutte contre la désertification. La prise de conscience au niveau mondial s'est donc faite progressivement en parallèle du développement des conditions de protection et de sauvegarde de l'environnement à l'échelle mondiale. A titre d'exemple, la Convention sur la diversité biologique a été réalisée et ratifiée par les Etats-partis lors du Sommet international de Rio sur l'environnement de 1992. D'autres instruments internationaux ne relevant pas du système conventionnel, *i.e* via des accords intergouvernementaux, ont été établis durant ces périodes. Nous pouvons citer le Plan de travail sur les mangroves développé par l'Organisation internationale pour les Bois Tropicaux (O.I.B.T) et la Charte sur les mangroves créée par l' « International Society for Mangroves Ecosystems » de 1991. De façon synthétique, ces actes internationaux ont vocation à fournir un cadre et des principes de protection de l'écosystème mangrove et de toutes les activités humaines et biologiques qui y sont rattachées. On y retrouve des concepts communs et généraux comme : «

- Adopter une gestion préventive des écosystèmes de mangroves mais aussi atténuer les impacts environnementaux défavorables causés par les activités humaines et les phénomènes naturels
- Appliquer le principe de précaution à toute gestion comme défini lors de l'Accord de Rio de 1992
- Développer une gestion intégrée à l'ensemble des niveaux d'application (locale, régionale, nationale, internationale) en mettant en œuvre une gouvernance holistique des programmes.
- Intégrer les écosystèmes de mangroves au sein de programmes de gestion plus globales prenant en compte l'ensemble des écosystèmes côtiers et les bassins hydro géographiques qui entrent en interaction avec les mangroves
- Mettre en place une standardisation des méthodologies concernant les études réalisées sur ces écosystèmes au niveau mondial
- Développer une intégration croissante des populations autochtones qui, de par leur histoire où de leur situation actuelle, sont en interaction directe avec ces écosystèmes via des études d'impacts socio-économiques. Un des objectifs principaux recherché ici concerne une gestion durable des ressources fournies par les mangroves en incluant dans les programmes les savoirs locaux et traditionnels.

• Le développement d'un commerce durable et équitable des produits de la mangrove pour les communautés locales, qui n'interfère pas avec le « développement durable » et n'endommage pas les écosystèmes.

Ce dernier point a par ailleurs été plus détaillé au travers de trois types d'activités particulièrement intenses dans ce type d'environnement : la gestion forestière et la sylviculture, la pêcherie et l'aquaculture. La mangrove, comme tout système forestier, nécessite une gestion adaptée de ses ressources et des objectifs précis à atteindre en intégrant la sylviculture comme plan de travail pour la production ligneuse. Cet écosystème aquaforestier singulier sert aussi de nurserie et de milieu de vie pour bon nombre d'espèces aquatiques (c.f partie II) permettant à bon nombre de populations locales de vivre. Les pratiques dommageables pour l'environnement telles que la pêche à la dynamite, le prélèvement excessif d'individus du fond des cours d'eau et autres sont à proscrire. Enfin, la gestion des activités aquacoles, qui sont par ailleurs fortement destructrices pour ce type d'environnement, doivent être gérées de façon optimale. Les différents textes de lois cités précédemment concorde sur ce point comme tel : « Les Etats ne doivent pas cautionner d'autres conversions de forêts de mangroves, marais salés, et étendues sous influence de la marée, destinées à l'aquaculture commerciale et doivent prendre des mesures pour restaurer les sites aquacoles abandonnés dans ces habitats. Ils doivent promouvoir le développement et l'adoption de systèmes intégrés d'aquaculture de mangroves à la fois durables et convenables au plan environnemental pour soutenir les moyens d'existence des pêcheurs et communautés de paysans démunis ». Dans le cadre du présent travail, ce point est particulièrement crucial et nous verrons par la suite différentes techniques d'aquaculture qui permettent de concorder au plus près à cette définition.

Dans la complémentarité de ces textes internationaux, des structures juridiques régionales ont été établies. Le cas de la région de l'Asie du Sud-Est / Pacifique est d'ailleurs bien développé. Première concentration de mangroves de la planète (F.A.O, 2015), cette région a su se doter de conventions plus détaillées et en accord avec ses spécificités. Deux conventions ont ainsi été ratifiées par des Etats-partis : la Convention sur la protection de la nature dans le Pacifique Sud, ou Apia (1976) et la Convention de Nouméa sur la protection des ressources naturelles et de l'environnement de la région du Pacifique Sud (1986). La première de celles-ci a pour objectif l'établissement d'un processus de création de zones protégées sur les territoires concernés ainsi que leurs modalités de fonctionnement. Elle distingue deux types de zones, les parcs nationaux et les réserves nationales. La principale distinction ici concerne les activités pratiquées en leur sein et l'accès au public. La Convention de Nouméa a pour objectif de renforcer les autres textes de lois en s'inscrivant dans une logique de coopération et d'échanges des connaissances entre les parties tout en s'adaptant aux spécificités de la région (comme indiqué dans son préambule). Qui plus est, cette convention met en avant la nécessité d'appliquer des études d'impacts environnementaux lors de l'établissement de projet en lien avec les écosystèmes de mangroves. Lors de la création d'un plan de projet, une étude environnementale stratégique (E.E.S) se doit d'être établie, en accord avec les principes fournis par les différentes réglementations internationales et d'échelles moindres. Pour la réalisation ainsi que le suivie d'un tel projet et pour rester en conformité avec les principes des différentes conventions, des études d'impacts environnementales doivent aussi être développées. Ces dernières permettent d'analyser et quantifier les différents impacts à tous les niveaux du projet (analyse holistique du projet).

A la suite de ces différentes conventions internationales, des programmes d'application ont été mis en place à tous les niveaux de gouvernance en partenariat avec des instances mondiales. On peut citer comme exemple le programme REDD+ qui vise à renforcer les impacts positifs des différents projets de conservation et réhabilitation des espaces boisées dans les pays dits « en développement ». Le cas des mangroves s'intègre intégralement dans ce programme qui promeut en outre l'accroissement des stocks de carbone forestiers (forte capacité des mangroves dans ce domaine).

Hormis ces programmes prescris dans un cadre juridique étatique ou à d'autres niveaux, des programmes transversaux et non gouvernementaux se sont aussi développés sous l'aspect d'associations ou d'organisations non-gouvernementales, soient travaillant directement sur le cas des mangroves, soit étudiant le domaine dans un cadre plus large de protection de l'environnement comme la W.W.F. Dans le cas de spécialisation sur un domaine précis, on peut citer le Mouvement mondial pour les forêts tropicales ou encore le Projet Action Mangrove. Ces derniers ont vocation d'une part, à agir sur les communautés locales concernées afin de les aider dans une gestion plus durables des forêts et d'autre part, communiquer efficacement avec toutes les parties prenantes des différents impacts existants de projets impactant l'environnement.

Tous ces programmes et conventions s'inscrivent dans une logique globale de protection de l'environnement pour les générations présentes et futures. Les services fournis par les écosystèmes de mangroves sont vitaux pour les populations locales. Aux vues cependant de l'augmentation de la population mondiale et sur le territoire de Nouvelle-Calédonie mais aussi des changements climatiques en cours et à venir, il est devenu nécessaire d'accroître la production alimentaire en protégeant au maximum l'environnement. L'aquaculture, de façon générale, pourrait être une des solutions viables à adopter, bien qu'il faille encore améliorer son efficacité et son efficience. La Nouvelle-Calédonie est principalement productrice de crevettes via l'aquaculture avec les impacts sur ses écosystèmes correspondant. A travers le monde, de nouvelles techniques « non-traditionnelles » ont été développé permettant à la fois une production aquacole et crevetticole tout en limitant d'avantage les impacts sur les écosystèmes. Nous allons maintenant développer ce point et essayer d'apprécier leur viabilité sur le territoire de Nouvelle-Calédonie.

4.3 PRESENTATION DE DIFFERENTS TYPES DE « NOUVEAUX » PROJETS AQUACOLES EN CO-DEVELOPPEMENT AVEC LA REHABILITATION DES ECOSYSTEMES

De manière générale, il existe deux grandes façons de penser à la remédiation des problèmes engendrés par le changement climatique. Le premier consiste à croire en l'être humain et sa capacité à développer de nouvelles technologies qui pourront, à termes, inhiber les impacts. Si l'on applique cette logique au sujet d'études, cela reviendrait à utiliser un ensemble de biotechnologies remplaçant intégralement l'écosystème utile à tout type d'aquaculture. Le système d'exploitation des fermes serait de nature au minimum intensif voire plus généralement super-intensif. Le milieu d'élevage serait totalement artificiel avec des intrants provenant uniquement de l'industrie agro-alimentaire et agro-phytopharmaceutique. Le traitement des effluents se ferait lui aussi en milieu indépendant de l'environnement. Ces déchets seraient par la suite soit réutilisés, soit exportés vers des centres de traitement. En outre, l'utilisation d'antibiotiques et de compléments d'élevages serait omniprésente dans l'élevage. La recherche de rentabilité et d'économie d'échelle se ferait aussi par la sélection d'une seule espèce adaptée (naturellement et/ou par le biais de modifications génétiques) à ces intrants avec un taux de croissance et de reproduction importants (système pauvre du point de vue de la biodiversité). Dans le cas de la Nouvelle-Calédonie et de ses écosystèmes de mangroves, les impacts environnementaux de ce type d'activité seraient regroupés en deux catégories:

- D'une part, les impacts liés à la fabrication, au transport et à leurs traitements en sortie de bassins après consommation.
- D'autre part, et dans le cas d'une île pas des moindres, l'utilisation de terres pour l'implémentation de ces usines.

Que ce soit les écosystèmes de mangroves ou bien d'autre type, ces terres seraient transformées en usine qui ne pourrait pourvoir qu'à une seule utilisation. Avant de faire ce choix de développement industriel, il pourrait être intéressant de réaliser une analyse coûts-bénéfices incluant les domaines environnementaux et sociaux.

La deuxième solution est plus « conservatrice » et respectueuse de l'environnement. Elle peut se décliner en une multitude de formes d'application mais avec des objectifs similaires de diminutions des impacts sociaux et environnementaux tout en procurant des bénéfices. Elle se caractérise par :

- Une plus faible intensité de production et rendement d'élevage par hectare de ferme
- L'utilisation d'un processus de croissance des individus proche des conditions « sauvages »

- L'utilisation d'un écosystème naturelle pour l'exploitation (exemple des mangroves) quitte à créer des zones tampons en amont comme bassins de traitements afin de réguler au mieux les apports d'effluents
- Contrôler la taille de l'exploitation pour qu'elle corresponde au maximum que ce que peut fournir l'écosystème.
- Développer de la polyculture, quelques que soit sa forme, afin de conserver au maximum la richesse biologique du milieu, lui permettre d'être le plus résilient possible et enfin permettre la création d'autres sources de revenus au sein de la ferme
- Utiliser les connaissances des communautés locales relatives au sujet.

Troell (1997, 1999) préconise l'utilisation de ces systèmes de polyculture pour remplacer les techniques actuelles et promeut l'emploi de fermes intégrée avec des élevages complémentaires de moules, herbes marines comme *Dunaliella salina* et d'autres formes d'aqua sylvicultures en vue de diminuer l'empreinte écologique de l'activité. Les deux schémas suivants (figures 12 et 13) permettent d'apprécier les idées développées précédemment sur des systèmes de cultures pratiquement auto-suffisantes comme exemple.

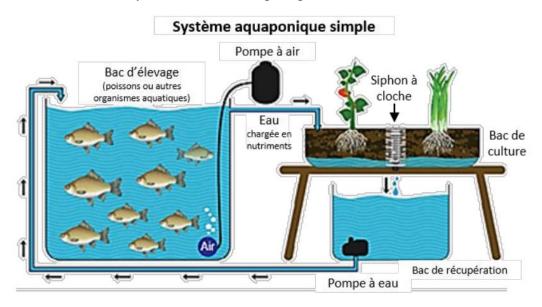


Figure 12 : Schéma démonstratif d'un système aquaponique simple (F.A.O 2016)

Ce premier système est la base d'un système polyculturel simple. L'empreinte écologique ici est limitée à la consommation électrique de la pompe à aire alimentant le bac d'élevage et les intrants pour l'alimentation des individus. Les effluents du bac sont transmis à un substrat qui va les absorber pour permettre l'action de micro-organismes décomposeurs. Les éléments sont alors minéralisés et seront absorber par les plantes via leur système racinaire. Ce type de production permet une réutilisation des déchets des uns pour la croissance des autres, cependant il n'est pas complet pour être autosuffisant à l'échelle d'une production en ferme. Pour obtenir ce genre de résultats, tout en conservant l'aspect « au plus près de la nature », le système doit être plus complexe et posséder un ensemble d'éléments d'une chaine trophique

naturelle similaire. C'est ce que l'on appelle une aquaculture multitrophique intégrée (A.M.T.I). Ce cas est schématisé comme le suivant :

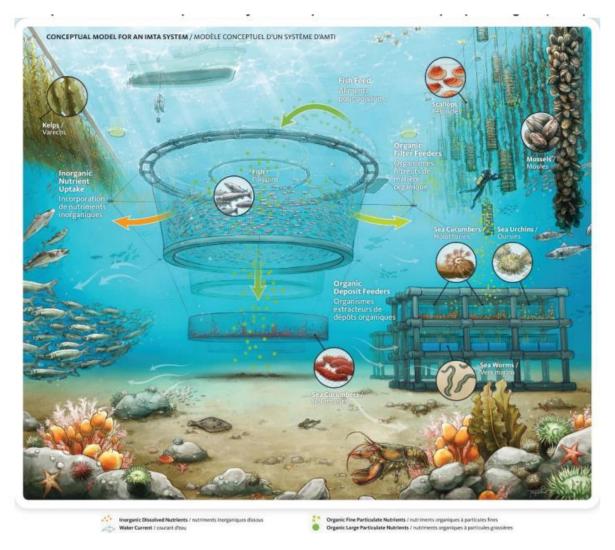


Figure 13 : Exemple type d'aquaculture multitrophique intégrée (Pêche et Océans Canada, 2013)

Dans cette représentation, le système est ouvert ce qui permet un certain apport naturel à l'élevage. Au plus l'élevage principal sera important, au plus il sera nécessaire de faire un complément nutritionnel. Cependant, et peu importe la taille de l'élevage de poisson, l'ensemble des déchets seront consommées par d'autres espèces qui verront logiquement leur nombre augmenté. La déperdition de matière totale est relativement insignifiante et les impacts environnementaux sont plus facilement contrôlés.

Si ce type d'aquaculture (A.M.T.I) parait être le plus viable et le plus efficient pour l'environnement, il est nécessaire de l'adapter à chaque type d'écosystème et espèces associées. L'objectif général est d'atteindre une production variée d'espèce à valeur ajoutée pour l'Homme (vente des produits) et pour l'environnement. La circularité au sein de la chaine trophique doit être la plus efficiente pour corréler avec celle présent dans le milieu

naturel. L'utilisation des mangroves comme lieu de production de crevettes et autres espèces végétales et/ou animales peut donc être une solution à adapter pour plusieurs raisons :

- Réduction des terres transformées pour ces activités (diminution de la déforestation)
- Réduction des intrants et des déchets via un système circulaire
- Diminution des coûts financiers alloués par espèces
- Protection de la biodiversité locale (utilisation des espèces endémiques présentes)
- Possibilité de développement des mangroves via les apports de biomasse si contrôlés.

A l'heure actuelle, il y a un manque d'expériences scientifiques dans le domaine de la polyculture crevettes-autres espèces se fait grandement ressentir dans l'élaboration de nouveaux projets aquacoles. La récente étude sur ce sujet (2014) réalisée par Luong nous permet d'ouvrir ce domaine avec de appréciations de résultats relativement précis. Les résultats de cette recherche sera développé par la suite comme exemple d'entrée en matière en ce qui concerne une possible réalisation de polyculture.

4.4 RESULTATS D'UN EXEMPLE DE POLYCULTURE EN BASSINS FERMES ENTRE LITOPENAEUS STYLIROSTRIS (CREVETTES) ET SIGANUS LINEATUS (POISSON-LAPIN)

Les idées de développement d'une aqua-polyculture en Nouvelle-Calédonie afin de parer aux effets néfastes des élevages de crevettes de monoculture sont récentes et peu d'études ont été réalisées dans le domaine. Cependant, dans l'idée de copier au maximum l'écosystème naturel, les idées de combiner l'élevage de crevettes avec d'autres espèces telles que des poissons, des mullets, des tilapias, des mollusques, des poissons-lapins et des herbes de mer sont apparues. Le tilapia et le poisson-lapin ont été particulièrement étudiés dans leur relation avec leur environnement, cependant une étude plus poussée a été réalisée sur la polyculture du deuxième avec la crevette de N.C.

Cette étude a été réalisée à la station d'élevage Saint-Vincent (Nouvelle-Calédonie) dans des bassins fermés, sur la période d'une seule culture pour chacune des espèces simultanément.

Ces deux espèces *Litopenaeus stylirostris* et *Siganus lineatus* vivent dans les mêmes écosystèmes (front de mer, estuaires et mangroves) (Luong, 2014). Parmi cette espèces, certains individus sont omnivores tandis que d'autre sont purement herbivores comme *S.lineatus*. Ce fut la raison pour laquelle le choix s'est porté sur ces individus dans le cadre des expériences par l'auteur.

L'objectif de l'expérience de polyculture réalisée en bassins fermés était de comparer simultanément la croissance des différents individus, le taux de mortalité en bassins et la

qualité des eaux en fonction de différentes concentrations (faible, moyenne et élevée) d'individus dans le bassin.

Les résultats ont été probants. Les deux espèces animales possédaient un meilleur taux de survie à faible et moyenne concentration, la qualité des eaux suivait un rythme similaire tout comme la croissance. Cette étude met en avant et justifie le fait que la polyculture améliore la croissance des crevettes ainsi que sa qualité, idées à la base développées par Akiyama et Angawati (1999) et augmente aussi les bénéfices de l'élevage (Garcia-Perez et al, 2000 ; Tiam et al, 2001 ; Yuan et al, 2010) tout en diminuant les impacts environnementaux (Tiam et al, 2001, Yuan et al, 2010).

Le développement de bactéries pathogènes pour les crevettes peut se voir aussi inhiber par la présence d'antibiotiques naturels provenant des espèces partenaires (Tendencia et al, 2006; Martinez Cruz et al, 2012).

La suralimentation possible sera comblée par la présence de ces poissons qui vont pouvoir absorber ce surplus. Cependant, il serait nécessaire d'effectuer des études plus poussées concernant la possibilité pour ces espèces poissonnières d'interférer dans l'alimentation des crevettes; possibilité de développer un comportement opportuniste en absorbant les aliments avant qu'ils ne parviennent aux crevettes car situées dans le fond de bassin (lieu de résidence des crevettes).

Les conditions d'élevage sont sensiblement identiques même si leur optimum de développement n'est pas exactement aux mêmes paramètres. Cependant, leur intégration dans le même bassin d'élevage avec des paramètres physico-chimiques situés à la moyenne entre leurs optimums permet d'une part d'avoir une croissance stable pour les deux espèces, d'améliorer la rentabilité et de diminuer les impacts environnementaux. Même si le poisson est loin d'être aussi lucratif sur les marchés internationaux, il peut contribuer à la sécurité alimentaire locale en fournissant des stocks réguliers et stables.

En outre, cette étude (Trung, 2014) met en avant un autre caractère primordial dans la gestion d'un système de polyculture intégrée : le respect des densités des populations pour chaque chainon de la chaine trophique. Dans le cas contraire, les individus des différentes espèces peuvent se retrouver en opposition ou en concurrence pour l'accès aux ressources primaires (nutriments, demande en oxygène...).

En lien avec les volontés stratégiques de développement d'une aquaculture plus « équitable », il serait intéressant de développer en Nouvelle-Calédonie de nouveaux projets renforcé en polyculture intégrée prenant en compte aussi bien des études réalisées par des experts reconnus, les savoir-faire des populations locales qui pratiquaient déjà ce genre de culture mais aussi intégrer ces-dernières dans l'élaboration d'un projet jusqu'à son application.

4.5 COMPARATIFS DE SYSTEMES CREVETTES / MANGROVES ET SYSTEMES INTENSIFS

Le développement de ferme crevetticole est considéré par l'ensemble de la communauté scientifique comme la première cause de disparition des mangroves dans le monde (Primavera, 1995). Aux vues des différents effets du changement climatique sur l'environnement et des impacts directs de l'Homme, l'urgence d'une nouvelle forme de gestion doit être mise en place.

Comme vu précédemment, deux types d'approches sont possibles pour un système de développement plus respectueux de l'environnement de cette activité : l'approche de gestion intégrée et l'approche des systèmes clos avec l'utilisation intense de nouvelles technologies. Rönnbäck (2002) résume ainsi les avantages et inconvénients de ces deux systèmes sous la forme du tableau suivant (figure 14) :

INTEGRATED MANGROVE-AQUACULTURE SYSTEMS	INLAND INTENSIVE "CLOSED" SYSTEMS
(+) Labour-intensive	(-) Capital-intensive
(+) High diversity of cultured species	(-) Usually monoculture focus
(+) Low water exchange rates	(+) Minimal water exchange rates
(+) Tight nutrient recirculation	(+) Tight nutrient recirculation if successful
(+) Low nutrient concentration in effluents	(+) Very low nutrient concentration in possible effluents
(+) Low susceptibility to disease	(-) More susceptible to disease
(+) Minimal chemical use	(-) Regular use of chemicals
(-) Seed are usually wild-caught	(+) Seed are hatchery produced
(+) Local seed source	(-) May involve shrimp transfer between regions
(+) Natural or stimulated pond production as main feed input	(-) Depend solely on formulated feeds
(-) Low productivity result in the requirement of large coastal	(+) Minimal land use due to high productivity
areas to meet consumer demand	(+) Ponds can be located away from coastal lands
(-) May conflict with mangrove conservation	(-) May cause salinisation of adjacent soil and water inlar
(+) Stimulate plantation of mangroves if located in idle	(-) Can systems be fully "closed"?
shrimp or salt ponds	(-) Many countries lack regulations and have limited
(-) Obstruct the flow of goods and services generated by	capacity to enforce set management standards
natural mangrove ecosystems	(+) Ponds can be located in consumer countries

Figure 14 : Tableau comparatif des deux types de solution / systèmes pour l'aquaculture de crevettes (Rönnbäck, 2002)

De façon générale, les systèmes intégrés mangroves-aquaculture sont plus bénéfiques pour les populations locales et l'environnement que le système intensif. Cependant, il ne permet pas une production suffisamment importante pour atteindre les mêmes rentes que le système intensif. Le choix du type de développement se fait donc en fonction de l'objectif voulu, plus économique ou plus socio-environnemental.

Le système intégré étant basé sur des acquis de cultures locales, on le retrouve principalement dans les pays d'Asie du Sud-Est, région combinant élevage de crevettes et mangroves. On y

trouve la Chine, l'Indonésie, le Vietnam, la Thaïlande et les Philippines où les techniques d'élevages sont différentes et correspondent à différents objectifs mais où le modèle technique de base est le même. Par exemple, le système combiné des *tambak* en Indonésie a vocation à fournir, outre des produits halieutiques commercialisables, du bois de chauffage, des fertilisants et une protection contre les vagues (Schuster, 1952). Il y a aussi l'aqua-sylviculture (Fitzgerald, 2002) aux Philippines tout comme la sylvico-pissiculture (Baconguis, 1991). Le design basique de ces différents modèles est le même : planter des mangroves et autres arbres sur une plateforme centrale occupant 60 à 80% de la surface totale et un ou des canaux périphériques pour l'élevage de poissons, crabes et crevettes (Primavera, 2000).

La production annuelle était estimée entre 100 et 400 kg/ha/an via ces systèmes en 1998 voir jusque 650 kg/ha/an selon Fitzgerald (2002). La conversion en système intégré d'une majorité de ferme pourrait donc contribuer à la production aquacole de crevettes mondiale, couplée avec le fait que tous les nouveaux projets de fermes soient basés sur ce système. De plus, cette production serait combinée avec celle de poissons, bois et autres produits de la mangrove. Par exemple, l'Indonésie a produit, via le système intégré de sylico-pissoculture pour 2000 kg/ha de poisson en plus de la production de crevettes (Primavera, 2000). Hormis l'augmentation des retombées économiques de ces revenus divers, ce multi-élevage permet de fournir un minimum de production en cas de disfonctionnement de l'une des cultures.

Cependant, l'utilisation d'un système intégré polyculturel induit un besoin élevé de main d'œuvre plus qu'un besoin de capital. Cette nécessité permet de répondre à la question du chômage des communautés locales mais aussi correspond au plan stratégique mis en place les différents gouvernements pour correspondre à un développement « durable » (politique L1 pour la Nouvelle-Calédonie) (Primavera, 1998 ; Rönnbäck, 2001).

La diminution des impacts environnementaux est aussi induite par l'emploi d'un système intégré polyculturel. Par exemple, la recirculation des eaux usées à forte concentration en nutriments dans les bassins facilite la croissance des palétuviers et autres arbres de l'exploitation (Rönnbäck, 2001). Les eaux usées en sortie de bassin ont par conséquence moins d'impacts sur l'environnement. L'emploi des produits phytopharmaceutiques et chimiques est aussi moindre avec ces types de cultures. La ferme étant calquée sur un écosystème, au plus ce dernier est complexe et au plus il est résilient. De plus, avec un tel système limitant au plus possible les intrants, l'introduction d'espèce étrangère lors des assèchements de bassins où lors des transferts de crevettes est limité (utilisation d'espèces endémiques pour l'élevage).

Il existe cependant une retombée négative majeure à l'utilisation de système intégré et identique à la création de toutes production aquacole : la conversion des terres de mangroves naturelles. Cela induit la disparition de cet habitat naturel jouant un rôle capital de nurserie pour bon nombre de poissons et d'espèces halieutiques, impactant aussi la pêche locale. D'autres impacts environnementaux existent via ces systèmes mais sont dans tous les cas liés à la disparition de mangroves naturelles (*c.f.* partie II) et non pas à l'activité en elle-même.

Afin de répondre à la demande de crevette mondiale et du fait de la différence de production entre un système « conventionnel » et un système intégré (production de moins de 1% de la production aquacole de crevettes mondiale), l'emploi d'A.M.T.I nécessiterait la création de nouvelles fermes à très grande échelle. Dans l'optique de réduction maximale des impacts environnementaux de l'aquaculture, les nouvelles terres converties doivent être celles fournissant le moins de services écosystémiques possibles. Il est donc impératif que les évaluations environnementales soient réalisées au préalable de chaque projet et comprennent des volets sociaux et économiques.

Deux points économico-législatifs doivent aussi être soulignés. D'une part, il est nécessaire de développer des facilités bancaires en accord avec les objectifs de polyculture intégrée. La rentabilité purement financière ne doit pas être le facteur principal car ce type de système ne le sera jamais autant (dans les conditions légales actuelles) autant qu'un système intensif ou semi-intensif. D'autre part, la privatisation des terres reste un problème majeur et ce partout dans le monde pour l'aquaculture. Hormis le fait que les terres de mangroves ne soient pas chères et facilement accessibles pour des investisseurs ; avec tous les problèmes que cela induit pour les communautés locales, (c.f partie II) ; les terres présentant le moins de services écosystémiques revêtent un fort potentiel de développement humain comme la création d'hôtels, de ville ... Il serait alors intéressant d'établir légalement des prérogatives pour qu'une partie de ces terres soient allouées à la création de surfaces agricoles ou aquacoles polyculturelles intégrées.

4.6 CRITERES D'AQUACULTURE TYPE A.M.T.I AVEC CREVETTES ET MANGROVES

Nous allons maintenant décrire de façon plus approfondie les différents aspects et critères pouvant mener au choix d'un élevage de type A.M.T.I en nous basant sur le tableau récapitulatif établi par Troell (1999) (Annexe 4).

Les 6 principaux impacts mentionnés ici sont la conversion et l'usage des terres, l'introduction de d'espèces non-endémiques et de maladies, l'utilisation en eau, l'alimentation, les flux nutritionnels et biogéochimiques. Nous avons déjà développé le critère de l'exploitation des terres avec ses avantages et inconvénients. L'utilisation de graines et œufs locaux permet de rester dans un circuit court où l'introduction d'espèces et maladies étrangères serait limité au maximum. Par ailleurs, cela limiterait l'impact écologique lié au transport de ces produits entre les pays.

La gestion de l'eau pour un élevage aquacole de crevettes est primordiale et est impacté directement par les intrants dans le milieu. L'emploi d'un système de recirculation des eaux dans les bassins permet en outre la réduction des impacts des eaux usées en sortie de bassin. Il faut cependant veiller au maintien des conditions physico-chimiques du milieu afin que celuici permettre de garder les croissances dans leur optimum de production tout en étant au plus près des conditions naturelles. Cette caractéristique, combinée avec une chaine trophique

adaptée et une recirculation des eaux dans les bassins permettra alors la diminution des impacts sur les milieux environnants (Folke et Kantsky, 1992). Ces paramètres physicochimiques ont été détaillés précédemment (*c.f.* partie II et III). Pour une aquaculture polyculturelle comprenant l'élevage de crevettes panéides au sein de mangroves, les niveaux optimums doivent être les suivants :

- Température : compris entre 21°C et 23°C (facteur limitant pour les crevettes)
- Salinité des eaux : entre 20 et 25 ppt (ou ‰) (facteur limitant pour palétuviers et crevettes)
- pH : entre 7 et 8
- Turbidité : Nécessite un contrôle permanent pour permettre une bonne concentration d'oxygène dissous [O2] dans le milieu
- [O2] dans le milieu : minimum de 5 mg/L pour les palétuviers comme pour les crevettes avec maximum de 7 mg/L pour les palétuviers
- Concentration d'azote : régulation dépend de la [O2] et de la bonne qualité de la faune microbienne benthique et pélagique (*c.f.* partie II et III) mais aussi de la taille de l'élevage, du taux de recyclage des eaux, de la bioturbation du milieu, de la qualité (granulométrie) et de la quantité (éviter les excès) des aliments
- Concentration phosphate : même données que pour l'azote

Le contrôle de l'azote et du phosphore est dans le cas d'un élevage type A.M.T.I plus simple que pour un élevage de type semi-intensif ou intensif car les apports nutritionnels sont plus limités, la majorité des éléments nécessaires à la croissance des différentes espèces étant déjà présents dans le milieu. Le phénomène d'eutrophisation peut donc être plus facilement réguler tout en conservant un niveau d'oxygène suffisant. De plus, un contrôle accru de l'azote permettra en autre d'éviter l'apparition de NH3 en trop forte quantité entrainant l'apparition des maladies (syndrome d'été et 93) ayant impacté la Nouvelle-Calédonie (c.f partie III).

Le développement de tels projets est intéressant du point de vue des acteurs comme de l'environnement. Les revenus nets peuvent atteindre, pour les éleveurs, des montants égaux à l'exploitation d'un système monoculturel extensif ou semi-intensif tant que le système mix possède une certaine surface couverte par les mangroves (Tuan *et al*, 2013). Alors que l'un ne produit qu'un seul type de produit, le système polyculturel permet la production de plusieurs biens et services. Par contre, le système intensif restera toujours plus rentable à court terme que les autres car les quantités fournies sont bien trop importantes. Tuan (2013) estime que le système mix rapporte en moyenne pour un quart des revenus d'un système intensif pour des conditions d'élevage similaire. Ces variations de revenus pour le système mix sont liées à des caractéristiques du site comme la qualité des eaux, le taux de couverture boisée sur l'exploitation, les espèces d'arbres présents sur le site, la production primaire du site (mangroves et phytoplanctons), la couverture de la canopée, l'âge des arbres, la présence de bassins d'épuration et l'aménagement du site.

Il existe 4 grands types d'aménagement possibles pour l'établissement d'un système polyculturel ou mix actuellement (figure 15) : le système intégré, le système associé, le système séparé et enfin un système plus écologique

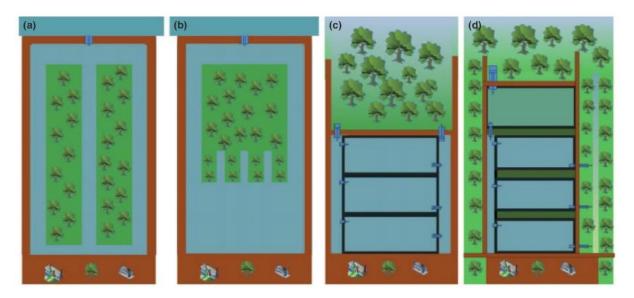


Figure 15 : Schémas de plusieurs types d'aquaculture polyculturel mix avec (a) système intégré, (b) système associé, (c) système séparé et (d) système partiellement-séparé (système écologique). (F.A.O, 2016)

Nous allons détailler maintenant brièvement ces systèmes en les comparant les uns aux autres afin d'établir lequel est le plus pertinent pour l'établissement d'un système mix.

L'aménagement du site est primordial et est caractérisé par tous les facteurs cités précédemment mais définira aussi les revenus nets pour les cultivateurs. Tuan (2013), via l'estimation de la valeur économique totale de chaque système, préconise l'utilisation du système intégré plutôt qu'associé avec des paramètres similaires. Dans ces études, il a estimé la production du premier à une moyenne de 993 \$/ha/an alors que le second ne s'élève qu'à 462 \$/ha/an en moyenne. Cela s'explique selon lui par le taux de couverture des mangroves au sein du système. Avec une superficie de bois entre 40% et 60%, le système intégré est plus performant que le système associé qui possède généralement une superficie moindre. Cependant, les rendements sont toujours inférieurs aux deux autres systèmes mix. Cela s'explique par la qualité des eaux du milieu qui est moindre. Dans ce domaine, le cas des systèmes intégrés et associés sont moins efficients car les canaux sont en longueur avec un seul point d'alimentation. Lors des renouvellements en eaux des bassins, l'évacuation se ne s'effectue pas correctement et le renouvellement n'est pas complet (Tuan, 2005). De plus, la gestion des eaux de bassins faites séparément de la gestion des mangroves via des écluses contribuent de façon plus efficace à la régulation et aux supports des services écosystémiques (Bosma et al, 2011). Cela s'exprime aussi au niveau de la gestion de l'azote et du phosphore qui seront filtrés par les mangroves (c.f. partie II) en sortie de bassins lors des marées basses mais aussi apportés par celles-ci lors des marées hautes (Sugita et al, 2005). La réduction des impacts environnements liés à des apports trop excessifs est aussi liée à la construction de bassins adjacents qui permettront une sédimentation. Lors de l'assèchement de ces bassins, les éleveurs peuvent récolter ces excès de matières organiques et par exemple les revendre à des agriculteurs locaux comme engrais, créant un nouveau revenu. Le risque d'eutrophisation peut alors être évité ou réduit. A ces bassins doit être couplé un aménagement des digues couvertes de mangroves efficaces permettant des apports et exports de matières organiques facilement décomposables (Tuan, 2013) mais aussi de lutter contre l'érosion des digues (Primavera, 2000). Le recyclage des eaux doit être fréquent pour être au plus proche des conditions naturelles et conserver la qualité du milieu et permettre une production de qualité (Alongi et al. 2000). La profondeur des bassins va avoir son importance pour la qualité du milieu. Si les bassins ne sont pas assez profonds, l'assèchement par évaporation affectera la croissance des individus par des manques d'oxygène et de nutriments assimilables (augmentation de la concentration en NH3 via processus anaérobie). Dans le cas où les bassins sont trop profonds, la salinité des couches sédimentaires rendra le milieu non-viable pour le milieu de production. Tron (1996) souligne le fait que les systèmes mix réduisent la contribution de la mangrove aux moyens de subsistance des éleveurs, à la biodiversité et aux écosystèmes environnants hormis les systèmes séparés. Cela est dû qu'au sein de ces systèmes, les mangroves sont directement connectées aux eaux libres et que les possibilités d'intensification sont plus importantes. Cependant, seul le système partiellement séparé (d) permet d'assurer des inondations régulières via des digues faites de mangroves et maintenir une certaine qualité des eaux mais aussi améliorer la croissance des mangroves. Ces berges naturelles offrent cependant la possibilité aux prédateurs de pénétrer plus facilement l'exploitation. Afin de parer à ces dommages, des bassins de nurserie peuvent aussi être mis en place afin d'augmenter le taux de survie des individus (Tuan et al, 2013).

Le choix des espèces végétales revête aussi une importance certaine, que ce soit d'un point de vue environnemental ou de production. Pour le choix des palétuviers, les espèces seront répartis en fonction de leur utilité pour le milieu et du rapport coûts / bénéfices qu'en tireront les exploitants. Les deux espèces principalement développés sont les palétuviers Avicennia et Rhizophora. Le premier possède une meilleure capacité de traitement de l'azote et du phosphore que le second. Via ses pneumatophores, il permet aussi une meilleure oxygénation des couches sédimentaires facilitant la dégradation des matériaux organiques (c.f partie II). De plus, son bois est plus facilement récoltable que chez Rhizophora et ce sans endommager la production de crevettes. De plus, il permet d'améliorer la fertilité du milieu en régulant plus efficacement le pH (Primavera, 2000). Mais Avicennia possède aussi des inconvénients par rapport à Rhizophora comme sa plantation plus complexe, sa capacité réduite face aux inondations et la forte teneur en tanin de ses feuilles qui une fois tombées, va se combiner aux protéines présents dans l'eau pour former des complexes nocifs envers les individus. Nga (2006) préconise l'emploi de ces deux espèces pour des élevages partiellement séparés, où les digues et front de mer seront composés de Rhizophora tandis que les mangroves en sortie de bassins seront composées majoritairement d'Avicennia. L'âge des individus peut impacter les revenus des éleveurs via divers processus, la performance de traitement des couches sédimentaires et d'apport de matières organiques dans le milieu et la qualité du bois une fois abattu (Tuan, 2013). Pour ces palétuviers, il préconise de sélectionner pour la vente des arbres ayant plus ou moins 7 ans pour une gestion optimale.

D'autres espèces animales ou végétales peuvent être cultivées en combinaison des crevettes et palétuviers à conditions que celles-ci soient naturellement présentes dans l'écosystème naturel et qu'il puisse apporter un avantage économique aux éleveurs. On peut citer par exemple l'exploitation de crabes *Uca*, de poisson lapin ou encore de *Dunaliella salina* (*c.f* partie II).

Bien que les systèmes de type polyculturel produisent le même niveau de revenus que les systèmes semi-intensifs ou extensif et que le ratio coûts / bénéfices soit meilleur que celui de l'intensif (environ de 2 si l'exploitation comprend une production de crabe), Petersen (2014) met en évidence la nécessité de mettre en place des outils administratifs et éducatifs pour permettre leur développement. Le développement de services bancaires pour ces populations est l'objectif premier à atteindre afin faciliter l'établissement de ces systèmes. Le cadre juridique de propriété des terres doit aussi permettre un accès plus facile pour ces populations. Enfin, il doit être communiqué, au sein du programme éducatif de ces populations, l'importance de conserver au maximum l'environnement en pratiquant des activités d'élevage les moins polluantes possible.

5 DISCUSSIONS SUR DE POSSIBLES APPLICATIONS DE POLYCULTURE INTEGREE EN NOUVELLE-CALEDONIE

La population mondiale est en constante augmentation et les prévisions pour le siècle à venir ne font que le démontrer. L'O.N.U (Organisation des Nations Unies) a établi en 2017 qu'avec des conditions de développement toujours plus accrues et une diminution de la mortalité sur tous les continents, la population atteindrait les 9.8 milliards d'individus en 2050 et environ 12 milliards en 2100. Cette augmentation amène la communauté internationale à s'interroger sur sa viabilité en corrélation avec les différents paradigmes sous-jacents comme l'alimentation, la disponibilité en terres, en eau mais aussi avec l'ensemble des problèmes engendrés par ce que l'on appelle le « changement climatique ».

Au sein de ce mémoire, nous nous intéressons principalement au cas des territoires insulaires situés dans le Pacifique Sud et plus spécifiquement à la Nouvelle-Calédonie (N.C). Ces espaces sont particuliers du fait de la proportion finie des ressources en terres et en eau et leur augmentation de population depuis les dernières décennies. Entre 1960 et 2000, la population de Nouvelle-Calédonie est passée de 79 000 individus à 213 230 (Banque Mondiale, 2017). Cette dernière a aussi estimé que la population allait atteindre 363 279 individus en 2050 et se stabiliser autour des 419 000 habitants en 2100, soit un peu moins du double qu'en 2000 dans des conditions de développement suivant les tendances actuelles. Ce coefficient de presque 1.39 en 50 ans et de 1.6 en 100 ans montre que la plus forte augmentation sera d'abord durant la première moitié du siècle. Dans cette optique, des stratégies à moyens termes dans la gestion des ressources doivent être développées ainsi que des stratégies à long termes pour les populations à venir, tout comme définies par les différents accords et traités internationaux tels que l'Accord de Paris en 2015. En outre, il a été établi que le plus fort taux d'accroissement de population se ferait principalement le long des côtes sur tous les continents. Heitzmann (2006) explique, à la date de son ouvrage, quel la densité moyenne de population vivant sur le littoral était déjà trois fois supérieure à la moyenne mondiale et que l'augmentation de la densité côtière serait bien au-dessus que celle continentale. Ce dernier point est aussi vrai pour les territoires insulaires comme la Nouvelle-Calédonie. La capitale, Nouméa, représente deux-tiers de la population de l'île. Le reste de la population vit principalement le long des côtes sur la Grande-Ile. Avec de telles données, il est évident que la transformation des terres du littoral occupera une grande importance pour le monde et pour ce territoire avec comme impact la transformation des mangroves en autres espaces. Nous allons maintenant établir la situation légale et administrative de l'île puis discuter de la possibilité d'implémenter des fermes polyculturelles sur ce territoire.

5.1 ADMINISTRATION ENVIRONNEMENTALE EN NOUVELLE-CALEDONIE

La Nouvelle-Calédonie est un territoire d'Outre-Mer rattaché à la France. De ce fait, l'Etat français a une influence sur les grandes politiques environnementales à développer par le biais d'infrastructures qui ont vocation à favoriser la protection et l'utilisation des ressources environnementales du territoire. Les principales administrations rattachées au Ministère de la Transition écologique et solidaire et qui agissent en Nouvelle-Calédonie sont l'Agence des aires marines protégées (créée en 2006) et l'Agence française de développement. Le ministère soutient aussi un programme intergouvernemental régional qui a vocation à gérer les ressources insulaires et les écosystèmes océaniques de manière durable, propre et à entretenir la vie et les modes de subsistance locaux. Il compte 25 membres en son sein. L'ensemble de ces administrations va soutenir et conseiller le gouvernement de Nouvelle-Calédonie nommé Congrès de N.C et qui a autorité en la matière sur son territoire.

En considérant les différentes projections possibles en ce qui concerne les changements climatiques, il est nécessaire de mettre en place des politiques d'appuis pour la protection des mangroves mais aussi pour l'adaptation de l'aquaculture sur le territoire. Le Congrès de Nouvelle-Calédonie a ainsi déterminé une ligne directrice face à ce phénomène et établi différentes politiques ayant des objectifs précis dans leurs domaines respectifs. Ce fil rouge met en évidence la volonté d'un développement d'une pêche et d'une aquaculture durables pour les générations contemporaines et futures en corrélation d'une protection, voire d'une réhabilitation si nécessaire, des écosystèmes du territoire.

Avant de détailler les différentes mesures prises par le gouvernement, il est nécessaire de garder à l'esprit les différents impacts du changement climatique sur l'aquaculture de crevettes calédoniennes. A court termes, l'augmentation de la température atmosphérique et marine va améliorer le taux de croissance des crevettes, et donc le rendement des fermiers (tant que celle-ci ne dépasse pas 2°C). Cependant, la montée des eaux obligera les éleveurs à s'adapter soit via un rehaussement du fond de bassin avec un ajout de terres et des parois, soit en construisant de nouveaux sites en amont, soit en établissant de nouveaux types de cultures plus résilientes. A long termes, les risques maladifs ainsi que la dégradation du milieu dans son ensemble ne permettront plus ce type d'activités sans une gestion holistique mix.

Dans le domaine du développement économique et des recettes publiques pour l'aquaculture, la politique la plus importante et pouvant grandement affecter les milieux concerne l'établissement d'infrastructures à l'épreuve du changement climatique, dénommée politique E.8. En outre, la nécessité de conserver les habitats dans lesquels sont pratiqués ces types d'activités (pêche comprise) s'est concrétisée via des législations sur la sécurité alimentaire et les moyens d'existence durable. Pour contrer les effets néfastes des fortes pluies entrainant torrent de boues et apports excessifs de sédiments vers les côtes et mangroves, la directive F.1 préconise une gestion adaptée et une réhabilitation du couvert végétal des bassins versants. Ci-dessous un exemple de projet tel décrit précédemment (figure 16) :

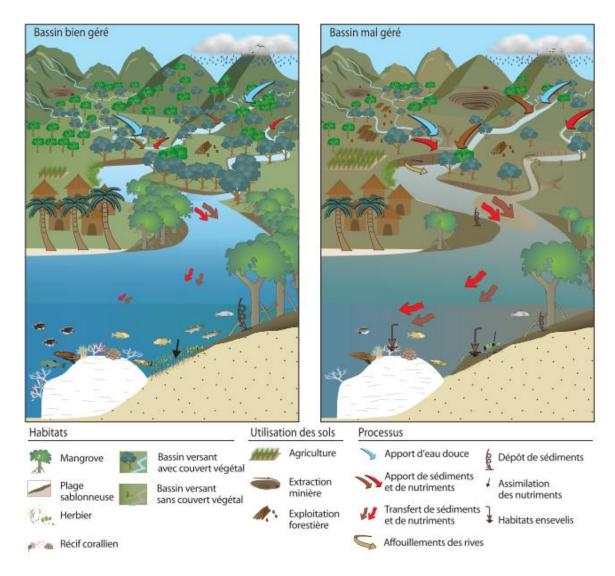


Figure 16 : schéma comparatif d'un milieu sans et avec réhabilitation du couvert végétal du bassin versant (F.A.O, 2007)

Ce schéma illustre de façon synthétique les impacts de types d'utilisation des sols autre que pour une couverture végétale (agriculture, extraction minière, exploitation forestière). On y retrouve un apport et un transfert excessifs de nutriments sans dépôt suffisant combinés avec un affouillement des rives (érosion) entrainant un ensevelissement des habitats et une diminution de l'assimilation des nutriments.

Elle rentre directement en lien avec la seconde législation et la cinquième (politique F2 et F5) qui concernent la conservation des habitats marins côtiers et la pérennisation des productions côtières dans un cadre de sécurité alimentaire. Ces objectifs pourront être atteints si, et seulement si, des moyens d'existence durable sont mise en place pour les exploitants. On peut en citer plusieurs qui, en accord avec les dispositions des instances internationales, revêtent une importance capitale comme :

- L'amélioration et la diffusion des connaissances techniques d'exploitation et de gestion de projet aquacole pour les populations locales (politique L1)
- La diversification des productions aquacoles côtières (politique L4)
- L'aménagement des stations aquacoles côtières (infrastructures existantes et projets futurs) aux vues de limiter les impacts sur la faune et la flore locale.

Tous ces objectifs se doivent d'être atteints mais la continuité de la doctrine actuelle établissant la rentabilité comme condition *sine qua non* de la viabilité d'un projet n'est plus de mise.

5.2 POSSIBILITE DE DEVELOPPEMENT DE FERMES AQUACOLE DE TYPE POLYCULTUREL MIX

Selon l'Ifremer, la Nouvelle-Calédonie possède 28 fermes en activité régulière et deux autres en construction, toutes situées sur la côte Ouest de la Grande-île tout comme les deux écloseries fournissant les post-larves aux éleveurs. La majorité de ces fermes sont de types semi-intensifs et exploitent des surfaces de plus de 20 ha pouvant aller jusque 130 ha. Le peu de fermes encore de type familiale, au nombre de 10, sont exploitées selon le mode semiintensif sur des surfaces en moyenne d'une dizaine d'hectares. Au total, ce sont plus de 1000 ha de terres allouées aux exploitations crevetticoles. Les marchés cibles sont principalement occidentaux et japonais à fort revenu. Au vu de la surface réduite de l'île, il serait logique et plus rentable de cibler le marché haut-de-gamme des crevettes plutôt que de chercher à faire de la quantité. Il a été démontré précédemment que la qualité des crevettes lors des récoltes était bien supérieur via des systèmes extensif (Alongi, 2000) ou polyculturel (Tuan et al, 2013). De plus, ce dernier type d'élevage possède un ratio coût/bénéfice bien supérieur aux autres systèmes; 1.25 pour le mix mangroves / crevettes et jusque 2.05 si on ajoute l'exploitation de crabes (c.f partie III). La quantité fournie par ces exploitations est cependant bien moindre que celles de type plus conventionnel mais la qualité est bien supérieure. A l'heure actuelle, ce marché produit pour 2 400 tonnes par an dont 1 900 pour l'exportation et 500 pour la consommation locale pour un revenu total de 22 millions d'euros. La transition vers des exploitations de type polyculturel ferait certes diminuer la quantité produite, mais la qualité supérieure permettrait de conserver ce niveau de revenu voir de l'améliorer. Par ailleurs, la diversification des produits fournis par les fermes leur permettrait d'avoir des revenus plus stables en allouant les bénéfices à plusieurs produits. En cas de crise grave du secteur de la crevette (maladies, dévaluation des prix sur le marché international, intempéries climatiques ...), leurs moyens de subsistances ne seraient pas totalement anéantis. Le meilleur exemple concerne les crises de 1993 et 1997 en lien avec les syndrome 93 et syndrome d'été qui ont affecté la production pour la faire diminuer de plus de 2 tiers (c.f partie II). Par ailleurs, la polyculture combinée de crevettes et autres espèces aquacoles pourrait permettre de transférer la consommation de produits halieutiques provenant de la mer vers celle provenant de fermes aquacoles. Les impacts de la pêche sur l'environnement (surpêche, diminution drastique de la biodiversité du milieu marin, consommation de produits fossiles pour les bateaux...) seraient fortement diminués. Cependant, ces fermes aquacoles ne doivent pas créer des impacts supplémentaires pour les environnements côtiers, plus particulièrement pour les mangroves qui sont les premières affectées par ces activités (Primavera, 2000).

Les mangroves de Nouvelle-Calédonie sont majoritairement situées sur la côte Ouest de l'île (88%) et occupent une surface de 360 km², soit 36 000 hectares actuellement. Depuis le début des exploitations crevetticoles, les mangroves ont diminué de plus 40% de par leur surface. Bien que les apports d'effluents puissent permettre la croissance de palétuviers *Rhizophora* (Virly *et al*, 2005), ils vont endommager de façon non négligeable la qualité des eaux et des sols entrainant une perte de la biodiversité et des services écosystémiques fournies par les mangroves. De plus, les effets de ces effluents vont être influencés par la topographie et la puissance des marées. Au plus le bassin sera au niveau de la mer, au mieux les effluents seront gérés par l'environnement (Virly *et al*, 2005) évitant la stagnation des eaux et inhibant l'eutrophisation du milieu, une dégradation anaérobie des éléments limitant la croissance végétale et autres effets (*c.f.* partie II).

Dans le cadre d'une production aquacole plus propre pour l'environnement, la transformation des fermes aquacoles existantes et / ou la création de nouvelles structure en système polyculturel partiellement séparé pourrait être un axe à suivre. Via l'établissement de ce type de système la production de crevettes de l'île diminuerai d'environ 40%, cependant la perte de revenu ne serait que de 25% (Tuan *et al*, 2013). Des revenus complémentaires seraient cependant émis via les autres productions de la polyculture. Par ailleurs, aux vues de la demande plus importante de main d'œuvre pour une exploitation de ce type, le nombre d'emploi supplémentaires dégagés par cette transition a été estimé à 1.3 fois plus, soit plus de 300 emplois par rapport à l'année 2016.

Les effets des effluents de ce type de ferme seront aussi considérablement réduis. Ces fermes possèdent des digues partiellement ouvertes sur le milieu extérieur car elles sont formées de palétuviers. Elles se retrouvent donc soumises naturellement aux marées permettant des échanges fréquents entre le milieu d'élevage et le milieu extérieur. La régulation des concentrations en nutriments, en azote et en phosphore se fait naturellement via une chaine trophique développée tout en restant dans les conditions viables (c.f partie III). Dans le cas où un apport de nutriments supplémentaire est nécessaire, et en accord avec les règles sous-entendues d'une exploitation en développement durable, il devra se faire via des aliments naturels provenant plus du milieu végétal qu'animal (utilisation d'algues plutôt que de farines animales) et à la granulométrie adaptée aux différentes phases de croissance de la crevette. Avec ce système régulé naturellement par les marées et la limitation des apports nutritionnels et adaptés, le phénomène d'eutrophisation des bassins sera évité tout en conservant une concentration en phytoplancton et en oxygène dans le milieu viable. Cela permettra aussi de

limiter l'apport d'eau douce dans les bassins, élément essentiel lié à l'assèchement du bassin hydrographique où se situé l'élevage. Ces digues naturelles de palétuviers serviront aussi à la limitation de l'érosion des côtes, les palétuviers ayant la capacité de sédimenter les éléments. De plus, l'absence d'eau stagnante et la présence d'une chaîne trophique efficiente limitera la prolifération des moustiques dans le secteur de la ferme et l'apparition de maladies (ébola, chikungunya ...). On pourrait par exemple développer des populations de libellules consommatrice de moustiques et elles même source d'aliments pour oiseaux endémiques aux mangroves de Nouvelle-Calédonie ou de poissons d'élevage.

Le choix des espèces à incorporer à l'exploitation doit être réalisé en fonction des espèces endémiques ou déjà présentes afin de sauvegarder au maximum la biodiversité du milieu environnant. Pour les palétuviers, les deux espèces Rhizophora et Avicennia sont présents sur l'île en abondance. Leur implantation au sein du site d'élevage se fera en fonction de leurs spécificités à résister à des inondations fréquentes, à des concentrations en oxygène trop basses, à leurs capacité de traitement des effluents et à leur production de bois récoltable à terme ainsi qu'à leurs conditions physico-chimiques similaires. Ainsi, et dans le cas où cela est réalisable, les palétuviers en sortie de bassins devraient être majoritairement de type Avicennia, avec une meilleure capacité de traitements de l'azote et du phosphore dans les sédiments. De plus, les bois de ce type sont plus facilement récoltables et offrent une qualité équivalente aux autres types. Les Rhizophora possèdent la capacité à de grosses et fréquentes périodes d'inondations. Leur positionnement se fera donc au plus éloigné des bassins. Cette implémentation de palétuviers en abondance permettra de recouvrir en partie à la perte de biodiversité engendrée par l'établissement de la ferme aquacole. Le service de nurserie fourni par les mangroves sera alors rétabli et facilitera l'établissement d'une chaine alimentaire complète. Comme expliquer précédemment, l'incorporation d'espèces endémiques permettra le développement de nuisibles, mais fournira aussi des échelons à la chaîne alimentaire au milieu. Par exemple, la présence de libellules sur le site pourra faciliter l'exploitation de poissons comme le poisson lapin consommateur de cette espèce (c.f partie III). L'élevage de crabe *Uca* sera une source de revenu supplémentaire et permettra un meilleur contrôle des phénomènes de dégradation des matières organiques (capacité de décomposeur direct) et facilitera les réactions aérobies de minéralisation des éléments azotés et phosphorés.

5.3 LES LIMITES ET POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT DE CE TYPE D'EXPLOITATION

Les limites de ce genre de système sont à plusieurs niveaux. Dans le cadre des limites de la dégradation de l'environnement, la transformation d'une terre de mangroves en structure agricole sera toujours négative. Même si l'emploi d'une structure polyculture partiellement séparées permet de recouvrer une partie des services écosystémiques fournis par les mangroves, la valeur économique totale n'atteindra jamais le même niveau qu'à l'état naturel

(du point de vue environnemental pur). La capacité des mangroves à capter en grande quantité le carbone ainsi qu'à réduire l'impact des ouragans ne sera plus présente. De plus, le service de nurserie ne sera que partiellement remédié impactant une partie de la biodiversité du site.

Par ailleurs, l'emploi de telles structures nécessitent l'appui de toutes les parties prenantes. Bien que la législation néo-calédonienne ait pour objectif un « développement durable » des exploitations aquacoles, il faut encore les mettre en application. Le développement d'un système de financement accessible aux populations locales ayant vocation à de telles activités devra être fait. Afin de promouvoir le choix d'un tel type d'exploitation au détriment d'autres plus conventionnels et rentables à court terme, un volet éducation devra être prescrit à ces populations pour expliquer l'importance de la conservation de la mangrove et de son intégration au sein des élevages. Un autre aspect du volet social concerne l'emploi des femmes dans les exploitations. Les mangroves permettaient de faire vivre les populations autochtones via son abondance de ressources. Les femmes pratiquaient à l'époque la récolte de crabes dans les sédiments et d'autres activités. La création de fermes aquacole ayant supprimé leur emploi, et par ce biais leur revenu, elle doit aussi leur permettre de retrouver une activité vivrière (c.f partie III). Le meilleurs choix d'implémentation de nouvelles fermes est de les construire sur des tannes sèches fournissant le moins de services écosystémiques et où la présence des mangroves est limitée ou inexistante. Afin d'y parvenir, la réalisation d'études d'impacts environnementaux devra être effectué pour la sélection du site et la limitation maximale des impacts. Qui plus est, un contrôle fréquent des conditions physicochimiques et biologiques du milieu sera impératif. Ce n'est que dans ces conditions que de tels projets sauront être développés de manière efficace et efficiente.

En outre, toutes les études déjà réalisées permettre de dégager de nouvelles possibilités d'aquaculture plus en phase avec l'environnement. Mais pour arriver une gestion optimale du système, il est nécessaire de comprendre en profondeur les relations entre l'activité de production et son environnement. Que ce soit au niveau scientifique et écologique ou au niveau social et économique, des recherches supplémentaires doivent être réalisées. Aux vues des prévisions concernant les stocks de produits halieutiques marins et l'augmentation de la population mondiale, la polyculture aquacole se voit être une solution possible pour combler ce futur manque de produit alimentaire.

6 CONCLUSION

La réalisation de ce travail a permis de mettre en lumière la complexité de l'écosystème mangrove de par la richesse des services écosystémiques qu'il fournit, de son importance pour les populations locales et pour l'humanité. Les différents impacts des activités humaines ont été détaillés pour permettre une compréhension globale de ses effets plus particulièrement ceux des exploitations aquacoles de crevettes. Hormis la transformation des terres de mangroves en terres aquacoles, premier facteur de disparition, nous nous sommes intéressés aux impacts des effluents de ferme sur la capacité de régulation des cycles biogéochimiques des mangroves. Par la suite, nous avons recherché les solutions possibles existantes pour continuer les activités productrices tout en limitant au plus possibles les impacts pour finir sur la faisabilité de ces solutions sur le territoire néo-calédonien.

Il est évident qu'aux vues des services fournies par ce type d'écosystème, il est capital de le protéger au maximum tout en conservant des activités génératrices de revenus et de produits halieutiques vivriers pour les populations locales. Dans ce cadre, les recherches effectuées par certains scientifiques montrent que les solutions les plus adaptées se calquent sur le fonctionnement naturel de cet environnement. Les monocultures productrices en grande quantité, nécessitant un apport conséquent d'intrants, sont à proscrire. La polyculture partiellement séparée intégrant une chaîne trophique (A.M.T.I), dont des décomposeurs et des producteurs primaires semble être le type de solution le plus viable pour l'environnement adjacent. A travers les différents pays ayant pratiqués ce type d'exploitation, nous avons pu dégager plusieurs méthodes possibles. La solution choisie comme possibilité de développement en Nouvelle-Calédonie est la polyculture partiellement séparée où plusieurs espèces sont exploitées tout en permettant le maintien du site dans des conditions écologiques viables et en limitant les impacts. Les deux espèces de bases sont les crevettes Litopenaeus stylirostris mais peuvent être remplacées par les Penaeus monodon en raison des conditions de croissances sensiblement similaires (appartiennent à la même famille des *Penaeidae*) et les palétuviers *Rhizophora* et *Avicennia*. Elles peuvent être complétées par l'exploitation de crabe Uca, par l'exploitation de poissons adaptés à ces milieux comme Siganus lineatus ou encore de Dunaliella salina productrices d'astaxanthine (antioxydant) qui peut faire défaut aux crevettes en cas de maladies. Les résultats des différentes polycultures déjà réalisées sont probants en ce qui concerne la diminution des impacts des effluents de fermes crevetticoles et la régulation des cycles biogéochimiques du milieu ainsi que sur la conservation de certains des services fournies par les mangroves.

L'implémentation de ce type de structure en Nouvelle-Calédonie est possible dans le cas où l'ensemble des parties prenantes participe activement au projet y compris les populations locales, que la rentabilité économique ne soit pas l'objectif premier mais une multi-production adaptée intégrant les mangroves dans sa gestion holistique, que des contrôles réguliers soient effectués sur l'état du milieu de production et que des financements accessibles soient mises en place pour les producteurs. En effet, ce type d'élevage à vocation à être développé par de

petits exploitants généralement locaux. Afin de rendre ce projet viable économiquement, l'accent devra être mis sur la qualité des. Ce n'est que dans ces conditions que de tels projets pourront alors être créés et apporter des bénéfices aussi bien pour l'Homme que pour les mangroves.

7 BIBLIOGRAPHIE

- AKIYAMA, D. M. et ANGGAWATI, A. M. Polyculture of shrimp and tilapia in East Java. *American Soybean Association (ASA), Technical Bulletin AQ*, 1999, vol. 47.
- ALONGI, D. M., PFITZNER, J., TROTT, L. A., *et al.* Rapid sediment accumulation and microbial mineralization in forests of the mangrove Kandelia candel in the Jiulongjiang Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, vol. 63, no 4, p. 605-618
- ALONGI, Daniel M. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental conservation*, 2002, vol. 29, no 3, p. 331-349.
- AVNIMELECH, Yoram, RITVO, Gad, MEIJER, Leon E., et al. Water content, organic carbon and dry bulk density in flooded sediments. Aquacultural engineering, 2001, vol. 25, no 1, p. 25-33.
- BACONGUIS, S. R., *et al.* Evaluation of Leucaena leucocephala de Wit, Tectona grandis Linn., Pterocarpus indicus Willd. and Eucalyptus deglupta Blume for streambank stabilization in the Agusan River Basin. *Sylvatrop*, 1991, vol. 1, no 1, p. 79-101.
- BARTOLINI, Fabrizio, PENHA-LOPES, Gil, LIMBU, Samwel, *et al.* Behavioural responses of the mangrove fiddler crabs (Uca annulipes and U. inversa) to urban sewage loadings: Results of a mesocosm approach. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, vol. 58, no 12, p. 1860-1867.
- BELL, Michael M., MONTGOMERY, Michael T., et EMANUEL, Kerry A. Air—sea enthalpy and momentum exchange at major hurricane wind speeds observed during CBLAST. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2012, vol. 69, no 11, p. 3197-3222.
- BEVERIDGE, Malcolm CM et LITTLE, David C. The history of aquaculture in traditional societies. *Ecological aquaculture*. *The evolution of the Blue Revolution*, 2002, p. 3-29.
- BOSMA, Roel H. et VERDEGEM, Marc CJ. Sustainable aquaculture in ponds: principles, practices and limits. *Livestock Science*, 2011, vol. 139, no 1-2, p. 58-68.
- BOUILLON, Steven, CONNOLLY, R. M., et LEE, S. Y. Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: recent insights from stable isotope studies. *Journal of sea research*, 2008, vol. 59, no 1-2, p. 44-58.
- BURFORD, Michele Astrid, COSTANZO, S. D., DENNISON, W. C., *et al.* A synthesis of dominant ecological processes in intensive shrimp ponds and adjacent coastal environments in NE Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, vol. 46, no 11, p. 1456-1469.
- BURGIN, Amy J. et HAMILTON, Stephen K. Have we overemphasized the role of denitrification in aquatic ecosystems? A review of nitrate removal pathways. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, vol. 5, no 2, p. 89-96.
- CERCO, Carl F., NOEL, Mark R., et LINKER, Lewis. Managing for water clarity in Chesapeake Bay. *Journal of Environmental Engineering*, 2004, vol. 130, no 6, p. 631-642.

- CORMIER-SALEM, Marie-Christine. Appropriation des ressources, enjeu foncier et espace halieutique sur le littoral ouest-africain. Les pêches piroguières en Afrique de l'Ouest: pouvoirs, mobilités, marchés, 2000, p. 205-229.
- CORREDOR, Jorge E. et MORELL, Julio M. Nitrate depuration of secondary sewage effluents in mangrove sediments. *Estuaries*, 1994, vol. 17, no 1, p. 295-300.
- COSTANZA, Robert, D'ARGE, Ralph, DE GROOT, Rudolf, *et al.*The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 1997, vol. 387, no 6630, p. 253.
- DAHDOUH-GUEBAS, Farid, JAYATISSA, Loku Pulukkuttige, DI NITTO, Diana, *et al.* How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami?. *Current biology*, 2005, vol. 15, no 12, p. R443-R447.
- DEBORDE, Jonathan, MARCHAND, Cyril, MOLNAR, Nathalie, *et al.* Concentrations and fractionation of carbon, iron, sulfur, nitrogen and phosphorus in mangrove sediments along an intertidal gradient (semi-arid climate, New Caledonia). *Journal of Marine science and Engineering*, 2015, vol. 3, no 1, p. 52-72.
- DE GRAAF, G. J. et XUAN, T. T. Extensive shrimp farming, mangrove clearance and marine fisheries in the southern provinces of Vietnam. *Mangroves and salt marshes*, 1998, vol. 2, no 3, p. 159-166.
- DE SCHRYVER, Peter, DEFOIRDT, Tom, et SORGELOOS, Patrick. Early mortality syndrome outbreaks: a microbial management issue in shrimp farming? *PLoS Pathogens*, 2014, vol. 10, no 4, p. e1003919.
- EONG, Ong Jin. Mangroves-a carbon source and sink. *Chemosphere*, 1993, vol. 27, no 6, p. 1097-1107.
- FITZGERALD, W. J. Silvofisheries: integrated mangrove forest aquaculture systems. *Ecological Aquaculture, the Evolution of the Blue Revolution*, 2002, p. 161-262.
- FOLKE, Carl et KAUTSKY, Nils. Aquaculture with its environment: prospects for sustainability. *Ocean & coastal management*, 1992, vol. 17, no 1, p. 5-24.
- FUCHS, Jacques, MARTIN, Jean-Louis M., et POPULUS, Jacques. Assessment of tropical shrimp aquaculture impact on the environment in tropical countries, using hydrobiology, ecology and remote sensing as helping tools for diagnosis. 1998.
- GARCIA-PÉREZ, Alfredo, ALSTON, Dallas E., et CORTÉS-MALDONADO, Ricardo. Growth, survival, yield, and size distributions of freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii and tilapia Oreochromis niloticus in polyculture and monoculture systems in Puerto Rico. *Journal of the world aquaculture society*, 2000, vol. 31, no 3, p. 446-451.
- GOYARD, Emmanuel, GOARANT, Cyrille, ANSQUER, Dominique, *et al.* Cross breeding of different domesticated lines as a simple way for genetic improvement in small aquaculture industries: Heterosis and inbreeding effects on growth and survival rates of the Pacific blue shrimp Penaeus (Litopenaeus) stylirostris. *Aquaculture*, 2008, vol. 278, no 1-4, p. 43-50.
- GUIRAL, Daniel, ALBARET, J. J., BARAN, E., et al. Les écosystèmes à mangrove. Rivières du Sud. Sociétés et mangroves ouest-africaines. Cormier-Salem MC, IRD Éditions, Paris, 1999, p. 65-130.

- HAMILTON, Lawrence S., DIXON, John A., et MILLER, Glenys Owen. Mangrove forests: an undervalued resource of the land and of the sea. *Ocean YB*, 1989, vol. 8, p. 254
- HAMPTON, Monty A. The role of subaqueous debris flow in generating turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, 1972, vol. 42, no 4.
- HEIN, Lars. Toward improved environmental and social management of Indian shrimp farming. *Environmental Management*, 2002, vol. 29, no 3, p. 349-359.
- HEITZMANN, Martha Crawford. Don't forget the coastal waters!. *Organisation for Economic Cooperation and Development. The OECD Observer*, 2006, no 254, p. 22.
- HIRAISHI, T. et HARADA, K. Greenbelt tsunami prevention in South Pacific region. Report of the port and airport research institute 42: 1–23. 2003.
- ILTIS, Jacques et MEYER, Jean-Yves. La mangrove introduite dans les archipels éloignés d'Océanie, entre assimilation et rejet. L'Espace géographique, 2010, vol. 39, no 3, p. 267-275.
- Institut d'Emission d'Outre-Mer. Nouvelle-Calédonie. Rapport Annuel. 2017
- Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer). *Développer une approche intégrée des océans et de leurs ressources*. Rapport annuel, Nouméa, 2015
- JENNERJAHN, Tim C. et ITTEKKOT, Venugopalan. Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*, 2002, vol. 89, no 1, p. 23-30.
- JUNK, Wolfgang J., BROWN, Mark, CAMPBELL, Ian C., *et al.*The comparative biodiversity of seven globally important wetlands: a synthesis. *Aquatic Sciences*, 2006, vol. 68, no 3, p. 400-414.
- KRISTENSEN, Erik et ALONGI, Daniel M. Control by fiddler crabs (Uca vocans) and plant roots (Avicennia marina) on carbon, iron, and sulfur biogeochemistry in mangrove sediment. *Limnology and Oceanography*, 2006, vol. 51, no 4, p. 1557-1571.
- LAL, Padma Narsey. Conservation or conversion of mangroves in Fiji: an ecological economic analysis. 1990.
- LALITHA, N., MURALIDHAR, M., SARASWATHY, R., et al. Effect of cassava waste on bioremediation of nitrogenous metabolites and shrimp growth. *Journal of Environmental Biology*, 2017, vol. 38, no 4, p. 611.
- LEE, S. Y. Mangrove macrobenthos: assemblages, services, and linkages. *Journal of Sea Research*, 2008, vol. 59, no 1-2, p. 16-29.
- LE GUEN, Tanguy et DAVID, Gilbert. L'aquaculture de la crevette penaeides en Nouvelle-Calédonie (1970-1995). *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 1998, vol. 51, no 51, p. 305-322.
- LEMONNIER, Hugues. Effet des conditions environnementales sur le développement des pathologies à Vibrio dans les élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie. 2007. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle.
- LEMONNIER, Hugues. Effet des conditions environnementales sur le développement des pathologies à Vibrio dans les élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie. 2007. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle.
- LEWIS III, Roy R. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological engineering*, 2005, vol. 24, no 4, p. 403-418.

- LIQUETE, Camino, PIRODDI, Chiara, DRAKOU, Evangelia G., *et al.* Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. *PloS one*, 2013, vol. 8, no 7, p. e67737.
- LOCATELLI, Bruno. Ecosystem services and climate change. 2016.
- LUGO, Ariel E. et SNEDAKER, Samuel C. The ecology of mangroves. *Annual review of ecology and systematics*, 1974, vol. 5, no 1, p. 39-64.
- MARTIN, Jean-Louis M., VERAN, Yves, GUELORGET, Olivier, *et al.* Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds. *Aquaculture*, 1998, vol. 164, no 1-4, p. 135-149
- MARTÍNEZ CRUZ, Patricia, IBÁÑEZ, Ana L., MONROY HERMOSILLO, Oscar A., *et al.* Use of probiotics in aquaculture. *ISRN microbiology*, 2012, vol. 2012.
- MCKINNON, A. D., TROTT, L. A., ALONGI, D. M., *et al.* Water column production and nutrient characteristics in mangrove creeks receiving shrimp farm effluent. *Aquaculture research*, 2002, vol. 33, no 1, p. 55-73.
- MENASVETA, Deb et MARTOSUBROTO, Purwito. Fisheries Management Frameworks of the Countries Bordering the South China Sea. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 1997.
- MITRA, Abhijit. Sensitivity of mangrove ecosystem to changing climate. India: Springer, 2013.
- NGA, Bui Tui, LÜRLING, Miquel, PEETERS, Edwin, *et al.* Effects of crushed conspecifics on growth and survival of Penaeus monodon Fabricius post larvae. *Aquaculture research*, 2006, vol. 37, no 3, p. 224-232.
- NOEL, Julien, RENOUX, Eddy, et HOBIALISOA, Dabe Rakotonavalona. Les mutations spatiales des mangroves du Nord-Ouest de Madagascar. 2011.
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (F.A.O). *Globefish highlights*, Rapport annuel, 2016, Rome
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (F.A.O). L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde. Rapport annuel, 2006, Rome
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (F.A.O). Protection sociale et agriculture : Briser le cercle vicieux de la pauvreté rurale. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Rapport, 2015, Rome
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (F.A.O). *The World's Mangroves, 1980-2005, Africa.* Rapport, 2007, Rome
- PATHAK, H. et RAO, D. L. N. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, vol. 30, no 6, p. 695-702.
- PÁEZ-OSUNA, Federico et TRON-MAYEN, Lucía. Concentration and distribution of heavy metals in tissues of wild and farmed shrimp Penaeus vannamei from the northwest coast of Mexico. *Environment International*, 1996, vol. 22, no 4, p. 443-450.
- PETERSEN, Elizabeth H., LUAN, Tran Dinh, CHINH, Dam Thi My, et al. Bioeconomics of cobia, Rachycentron canadum, culture in Vietnam. Aquaculture Economics & Management, 2014, vol. 18, no 1, p. 28-44.

- PRIMAVERA, Jurgenne H. Mangroves, fishponds, and the quest for sustainability. *Science*, 2005, vol. 310, no 5745, p. 57-59.
- PRIMAVERA, J. Honculada. Mangroves and brackishwater pond culture in the Philippines. In : *Asia-Pacific Symposium on Mangrove Ecosystems*. Springer, Dordrecht, 1995. p. 303-309.
- PRIMAVERA, J. H. Integrated mangrove-aquaculture systems in Asia. *Integrated coastal zone management*, 2000, p. 121-130.
- RAFOMANANA, Tianiva. Le Groupe Réfrigépêche Madagascar dans le Nord-Ouest. Impacts économiques et socio-spatiaux. Antananarivo, Université, mémoire de maîtrise, géographie, 2005, p. 107
- RIVERA-MONROY, Victor H., TORRES, Luis A., BAHAMON, Nixon, *et al.* The potential use of mangrove forests as nitrogen sinks of shrimp aquaculture pond effluents: the role of denitrification. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1999, vol. 30, no 1, p. 12-25.
- ROBERTSON, A. I. et PHILLIPS, M. J. Mangroves as filters of shrimp pond effluent: predictions and biogeochemical research needs. *Hydrobiologia*, 1995, vol. 295, no 1-3, p. 311-321.
- RÖNNBÄCK, Patrik, BRYCESON, Ian, et KAUTSKY, Nils. Coastal aquaculture development in Eastern Africa and the Western Indian Ocean: Prospects and problems for food security and local economies. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2002, vol. 31, no 7, p. 537-542.
- RÖNNBÄCK, Patrik. Shrimp aquaculture: State of the art. Swedish EIA Centre, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Uppsala, 2001
- SAENGER, Peter, SPECHT, Marion M., SPECHT, RAYMOND L., *et al.* Mangal and coastal salt marsh communities in Australasia. 1977.
- SAMOCHA, Tzachi M. et LAWRENCE, Addison L. Shrimp farms' effluent waters, environmental impact and potential treatment methods. *Interactions between cultured species and naturally occurring species in the environment*, 1997, p. 35-38.
- SCHUSTER, Walter H., CONSEIL INDO-PACIFIQUE DES PÊCHES (BAUGKON), et INDONÉSIE. INLAND FISHERIES DIVISION. Fish-culture in Brackish-water Ponds of Java, by WH Schuster. [English Traduction Prepared by the Author.]. Diocesan Press, 1952
- SHAHBUDIN, S. Geochemistry of sediment in the major estuarine mangrove forest of Terengganu region, Malaysia. *American Journal of Applied Sciences*, 2008, vol. 5, no 12, p. 1707-1712
- SIMPSON, L. T., OSBORNE, T. Z., et FELLER, I. C. Establishment and biomass allocation of black and red mangroves: response to propagule flotation duration and seedling light availability. *Journal of Coastal Research*, 2016, vol. 33, no 5, p. 1126-1134.
- SNIESZKO, S. F. Recent advances in scientific knowledge and developments pertaining to diseases of fishes. *Advances in veterinary science and comparative medicine*, 1973, vol. 17, p. 291-314.
- SONNENHOLZNER, Stanislaus et BOYD, Claude E. Chemical and physical properties of shrimp pond bottom soils in Ecuador. *Journal of the world aquaculture society*, 2000, vol. 31, no 3, p. 358-375.

- STONICH, Susan C. et BAILEY, Conner. Resisting the blue revolution: contending coalitions surrounding industrial shrimp farming. *Human Organization*, 2000, p. 23-36.
- SUGITA, Haruo, NAKAMURA, Hiroshi, et SHIMADA, Taku. Microbial communities associated with filter materials in recirculating aquaculture systems of freshwater fish. *Aquaculture*, 2005, vol. 243, no 1-4, p. 403-409.
- SZUSTER, B. Coastal shrimp farming in Thailand: searching for sustainability. *Environment and Livelihoods in Tropical Coastal Zones: Managing Agriculture-Fishery-Aquaculture Conflicts, CAB International, UK*, 2006, p. 86-97.
- TACON, A. G. J. Nutritional studies in crustaceans and the problems of applying research findings to practical farming systems 1. *Aquaculture Nutrition*, 1996, vol. 2, no 3, p. 165-174.
- TAM, N. F. Y. et WONG, Y. S. Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1998, vol. 103, no 1-4, p. 245-261.
- TENDENCIA, Eleonor A., FERMIN, Armando C., DELA PEÑA, Milagros R., *et al.* Effect of Epinephelus coioides, Chanos chanos, and GIFT tilapia in polyculture with Penaeus monodon on the growth of the luminous bacteria Vibrio harveyi. *Aquaculture*, 2006, vol. 253, no 1-4, p. 48-56.
- THIBODEAU, Francis R. et NICKERSON, Norton H. Differential oxidation of mangrove substrate by Avicennia germinans and Rhizophora mangle. *American Journal of Botany*, 1986, vol. 73, no 4, p. 512-516.
- THOMAS, Yoann, COURTIES, Claude, EL HELWE, Yasmin, *et al.* Spatial and temporal extension of eutrophication associated with shrimp farm wastewater discharges in the New Caledonia lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, vol. 61, no 7-12, p. 387-398.
- TIAN, Xiangli, LI, Deshang, DONG, Shuanglin, *et al.* An experimental study on closed-polyculture of penaeid shrimp with tilapia and constricted tagelus. *Aquaculture*, 2001, vol. 202, no 1-2, p. 57-71.
- TOMLINSON, P. B. The botany of mangroves. Cambridge tropical biology series. 1986.
- TRIMMER, Mark, NICHOLLS, Joanna C., et DEFLANDRE, Bruno. Anaerobic ammonium oxidation measured in sediments along the Thames estuary, United Kingdom. *Applied and environmental microbiology*, 2003, vol. 69, no 11, p. 6447-6454.
- TROELL, Max, RÖNNBÄCK, Patrik, HALLING, Christina, *et al.* Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. In: *Sixteenth International Seaweed Symposium*. Springer, Dordrecht, 1999. p. 603-611.
- TROELL, M. et BERG, H. Cage fish farming in the tropical Lake Kariba, Zimbabwe: impact and biogeochemical changes in sediment. *Aquaculture research*, 1997, vol. 28, no 7, p. 527-544.
- TUAN, Tran Ngoc, DUC, Pham Minh, et HATAI, Kishio. Overview of the use of probiotics in aquaculture. *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 2013, vol. 3, no 3, p. 89-97.

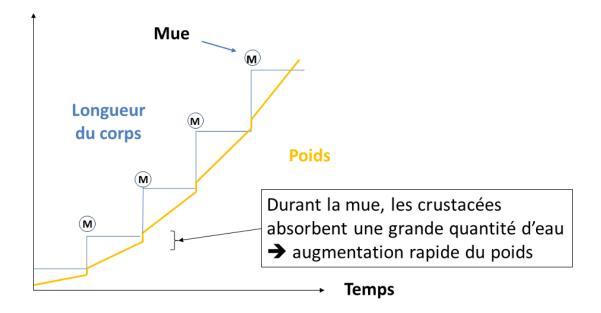
- TWILLEY, R. R., CHEN, R. H., et HARGIS, T. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1992, vol. 64, no 1-2, p. 265-288.
- VIRLY, Sabrina, BUISSON, Damien, CLOUGH, Barry, *et al*. Evaluation de l'impact de l'aquaculture de crevettes sur les mangroves de Nouvelle-Calédonie. 2005.
- WICHERN, Jannike, WICHERN, Florian, et JOERGENSEN, Rainer Georg. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. *Geoderma*, 2006, vol. 137, no 1-2, p. 100-108.
- WOODROFFE, Colin, ROBERTSON, A., et ALONGI, D. Mangrove sediments and geomorphology. *Tropical mangrove ecosystems. Coastal and estuarine studies*, 1992, vol. 41
- WU, Yan, TAM, N. F. Y., et WONG, M. H. Effects of salinity on treatment of municipal wastewater by constructed mangrove wetland microcosms. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, vol. 57, no 6-12, p. 727-734.
- YUAN, Derun, YI, Yang, YAKUPITIYAGE, Amararatne, *et al*. Effects of addition of red tilapia (Oreochromis spp.) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (Litopenaeus vannamei) in cement tanks. *Aquaculture*, 2010, vol. 298, no 3-4, p. 226-238.

8 ANNEXES

• Annexe 1 : Récapitulatif des projections sur les modifications des paramètres physicochimiques de l'océan

rarametre	моуеппе ае	110,00000				
environnemental 1980–1999	B1 2035	A2 2035	B1 2100*	A2 2100		
Température de l'air (°C)	23,5ª	+0,5 à +1,0	+0,5 à +1,0	+1,0 à +1,5	+2,5 à +3,0	
Hauteur annuelle des précipitations (mm)	1 066ª	+5 à +15 %	+5 à +20 %	+10 à +20 %	+10 à +20 %	
Gudanas (nhas naman)	2.2	Possible diminuti				
Cyclones (nbre par an)	2,3	Probable intensif				
Température des eaux de surface (°C)	25,1	+0,6 à +0,8	+0,7 à +0,8	+1,2 à +1,6	+2,2 à +2,7	
Niveau de la mer (cm)	+6 depuis					
1960 GIEC **	1960	+8	+8	+18 à +38	+23 à +51	
Modèles empiriques ***		+20 à +30	+20 à +30	+70 à +110	+90 à +140	
pH de l'océan (unités)	8,08	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	

• Annexe 2 : Phase de croissance et prise de masse d'une crevette type



 Annexe 3 : Projections des évolutions climatiques et océaniques pour la Nouvelle-Calédonie (repris par Ifremer, 2015)

rarametre	moyenne de al 1980–1999					
environnemental		B1 2035	A2 2035	B1 2100*	A2 2100	
Température de l'air (°C)	23,5ª	+0,5 à +1,0	+0,5 à +1,0	+1,0 à +1,5	+2,5 à +3,0	
Hauteur annuelle des	1 066ª	+5 à +15 %	+5 à +20 %	+10 à +20 %	+10 à +20 %	
précipitations (mm)						
Cyclones (nbre par an)	2,3	Possible diminutProbable intensif				
Température des eaux de surface (°C) 25,1	25.1	+0,6 à +0,8	+0,7 à +0,8	+1,2 à +1,6	+2,2 à +2,7	
	25,1					
Niveau de la mer (cm)	+6 depuis					
GIEC**	1960	+8	+8	+18 à +38	+23 à +51	
GIEC **						
Modèles empiriques ***		+20 à +30	+20 à +30	+70 à +110	+90 à +140	
pH de l'océan (unités)	8,08	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	

 Annexe 4 : Critères locaux et globaux d'implémentation d'une aquaculture « durable » (Troell, 1999).

LAND USE

- local . Do not convert mangrove ecosystems or agricultural land into shrimp ponds
 - · Reduce the negative indirect impact on mangroves caused by access roads and water canals
 - · Initiate mangrove restoration programs where aquaculture development has caused significant damage to this ecosystem
 - · Minimise land use by good management
 - · Place pond in areas with low population density to minimise land and water use conflicts
 - · Use feasibility studies prior to development to minimise risk of arising resource use conflicts
 - · Avoid overcrowding of ponds that exceeds the environmental carrying capacity (use e.g. the "ecological footprint" concept)

global . Locate ponds in consumer countries

SEED AND INTRODUCTION OF ALIEN SPECIES AND DISEASE

- local . No use of gentically modified organisms (GMO)
 - · Use hatchery produced seed
 - · Close cycle in shrimp hatcheries by domesticating shrimps
 - · Farm only native species

global . No transport of seed and broodstock between countries

WATER USE

- local Reduce water exchange rates and thus water input requirement
 - · Site-specific methodlogical considerations:
 - develop the farming of shrimps in fully marine waters to reduce the dependence on fresh water sources
 - develop the farming of shrimps in low salinity waters to minimise the risk of salinisation of adjacent soil and water

FEED

- local . Use culture system that utilise natural or stimulated production in the ponds or incoming waters
 - · Minimise the food conversion ratio (FCR) through proper management
- global . Develop and use formulated feeds not based on fishmeal and fish oil, or at least drastically reduce content of these
 - · Use fish meal based on trimmings of fish processed for human consumption

NUTRIENT LOADING

- local . Use only certified organic fertilisers
 - · Reduce water exchange rates and thus the amount of effluent discharge
 - Reduce nutrient concentrations in effluents by investing in settling and biological treatment ponds, including integrated farming with e.g. seaweeds and filter feeders
 - · Improve feeds and management to reduce the food conversion ratio (FCR)
 - · Remove salt from sludge and use as fertiliser

CHEMICAL AND ANTIBIOTIC USE

- Reduce the need for chemicals and antibiotics by improved pond and water management that limit the risk of exceeding the local carrying capacity of the environment
- global . Minimise or refrain from chemical use
 - · Refrain from antibiotic use
 - Use probiotics