



RAPPORT TECHNIQUE

EFFETS DE LA DÉGRADATION DES RÉCIFS CORALLIENS SUR LE SUCCÈS DU RECRUTE- MENT DES LARVES DE CRUSTACÉS ET DE MOLLUSQUES (RANGIROA - POLYNÉSIE FRANÇAISE)



Alexandre ZVARA
Stagiaire en Master 2



CRISP



Coral Reef Initiatives for the Pacific
Initiatives Corail pour le Pacifique



Le CRISP est un programme mis en œuvre dans le cadre de la politique développée par le Programme Régional Océanien pour l'Environnement afin de contribuer à la protection et la gestion durable des récifs coralliens des pays du Pacifique.

L'initiative pour la protection et la gestion des récifs coralliens dans le Pacifique, engagée par la France et ouverte à toutes les contributions, a pour but de développer pour l'avenir une vision de ces milieux uniques et des peuples qui en dépendent ; elle se propose de mettre en place des stratégies et des projets visant à préserver leur biodiversité et à développer les services économiques et environnementaux qu'ils rendent, tant au niveau local que global. Elle est conçue en outre comme un vecteur d'intégration régionale entre états développés et pays en voie de développement du Pacifique.

Le CRISP est structuré en trois composantes comprenant respectivement divers projets :

Composante 1A : Aires marines protégées et gestion côtière intégrée

- Projet 1A1 : Planification de la stratégie de conservation de la biodiversité marine
- Projet 1A2 : Aires Marines Protégées (AMP)
- Projet 1A3 : Renforcement institutionnel
- Projet 1A4 : Gestion intégrée des zones lagunaires et des bassins versants

Comp. 2 : Connaissance, gestion, restauration et valorisation des écosystèmes coralliens

- 2A : Connaissance, gestion, suivi et valorisation des écosystèmes coralliens
- 2B : Restauration récifale
- 2C : Valorisation des Substances Actives Marines (SAM)
- 2D : Mise en place d'une base de données régionale (Reefbase Pacifique)

Composante 3 : Appui institutionnel et technique

- 3A : Capitalisation, valorisation et vulgarisation des acquis du programme CRISP
- 3B : Coordination, promotion et développement du programme CRISP

Cellule de Coordination CRISP (CCU)

Chef de Programme : **Eric CLUA**

CPS - BP D5

98848 Nouméa Cedex

Nouvelle-Calédonie

Tél/Fax : (687) 26 54 71

E-mail : ericC@spc.int

www.crisponline.net

COMPOSANTE 2A

Connaissance, gestion, suivi et valorisation des récifs coralliens

■ PROJET 2A-1 :

Capture et Culture des Postlarves (PCC) de poissons et crustacés des récifs coralliens

■ PROJET 2A-2 :

Amélioration de la connaissance et des modalités de gestion des écosystèmes coralliens

■ PROJET 2A-3 :

Développement des outils et processus de suivi de l'état de santé des récifs coralliens

■ PROJET 2A-4 :

Mise au point et test de méthodes novatrices de rétrocession de l'information à destination des usagers et gestionnaires des écosystèmes coralliens

■ PROJET 2A-5 :

Etudes spécifiques sur i) l'effet de l'augmentation du CO2 sur la santé des récifs coralliens et ii) contribution au développement de l'écotourisme

Responsable composante :

René GALZIN

UMR 5244 CNRS-EPHE-UPVD

52, Av. Paul Alduy

66860 Perpignan

France

Tél : (33) 4 68 66 20 55

Fax : (33) 4 68 50 36 86

E-mail : galzin@univ-perp.fr

Financement :



AGENCE FRANÇAISE
DE DÉVELOPPEMENT

REMERCIEMENTS

Au terme de ces trois mois de recherche, je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, scientifiquement, financièrement ou moralement, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Je désire remercier David Lecchini et Bernard Hugueny, chercheurs à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et Suzanne Mills et René Galzin, chercheurs à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes (UMR 5422 EPHE - CNRS - Université de Perpignan) qui m'ont permis de réaliser ce stage de Master. Je leur sais gré de m'avoir fait confiance tout au long de ce travail de Master.

Ce travail a été réalisé au sein du Service de la Perliculture de Rangiroa (Polynésie française). Je tiens à remercier très chaleureusement Anne-Sandrine Talfer, Cédrik Lo, Rosita Leduc et Mereani Bellais d'avoir entrepris de nombreuses démarches pour le bon déroulement du stage et m'avoir permis de loger au Service de la Perliculture de Rangiroa. Un immense merci aux employés du Service de la Perliculture (Rachel, Mama Ura, Jonas, Toto, Joseph, Soko). Merci pour votre aide si précieuse !

Je tiens à remercier très chaleureusement Christophe Brié (Tropical Fish Tahiti) qui a su me guider tout au long de ce stage de près et de loin, et m'a apporté son soutien et son aide dans les moments délicats de ce travail de recherche.

* *

*

FINANCEMENT DE L'ETUDE

* **Financement par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) :**

L'étude a été financée à 75 % par un financement ANR Jeunes Chercheurs (ANR-06-JCJC-0012-01; D. Lecchini; Coral Reefs; novembre 2006 / octobre 2009).



* **Financement par le programme CRISP (Coral Reef Initiative in the South Pacific) :**

L'étude a été financée à 25 % par un financement CRISP (Composante C2A, R. Galzin & D. Lecchini; janvier 2007 / décembre 2009). L'initiative pour la protection et la gestion des récifs coralliens dans le Pacifique, engagée par la France et ouverte à toutes les contributions, a pour but de développer pour l'avenir une vision de ces milieux uniques et des peuples qui en dépendent ; elle se propose de mettre en place des stratégies et des projets visant à préserver leur biodiversité et à développer les services économiques et environnementaux qu'ils rendent, tant au niveau local que global. Elle est conçue en outre comme un vecteur d'intégration régionale entre états développés et pays en voie de développement du Pacifique. Le CRISP est un programme mis en oeuvre dans le cadre de la politique développée par le Programme Régional Océanien pour l'Environnement afin de contribuer à la protection et la gestion durable des récifs coralliens des pays du Pacifique. Le CRISP est structuré en trois composantes comprenant respectivement divers projets :

- **Composante 1 : Aires marines protégées et gestion côtière intégrée**

- * Projet 1A1 : Planification de la stratégie de conservation de la biodiversité marine
- * Projet 1A2 : Aires Marines Protégées
- * Projet 1A3 : Renforcement institutionnel
- * Projet 1A4 : Gestion intégrée des zones lagunaires et des bassins versants

- **Composante 2 : Connaissance, gestion, restauration et valorisation des écosystèmes coralliens**

- * 2A : Connaissance, gestion, suivi et valorisation des écosystèmes coralliens
- * 2B : Restauration récifale
- * 2C : Valorisation des substances Actives Marines
- * 2D : Mise en place d'une base de données régionale (Reefbase Pacifique)

- **Composante 3 : Appui institutionnel et technique**

- * 3A : Capitalisation, valorisation et vulgarisation des acquis du programme CRISP
- * 3B : Coordination, promotion et développement du programme CRISP



Avant propos

Le stage de Master fait partie d'un vaste programme de recherche : **Effets de la dégradation des habitats coralliens sur l'attraction, l'installation et la survie des larves de crustacés, de mollusques et de poissons (Polynésie française)**. Le projet se compose de 4 axes :

Axe 1: *Quel est le succès de recrutement des larves marines selon l'état de dégradation des récifs coralliens ?* **Axe 2:** *Quel est le potentiel attracteur des récifs coralliens selon leur état de dégradation (sites dégradés vs. sains) sur les larves marines ?* **Axe 3:** *Quelles sont les capacités sensorielles (visuelles, chimiques et sonores) des larves marines dans la reconnaissance de leur habitat d'installation ?* **Axe 4:** *Quelles sont les conséquences de la sélection d'un habitat sur la mortalité et la croissance post-installation des larves marines ?* Cette étude s'intègre dans l'axe 1 du programme de recherche.

Sur l'atoll de Rangiroa, j'ai participé à la mise en place de l'expérience de recrutement dans sa totalité avec l'aide de Suzanne Mills et Laurent Burgy. Nous avons effectué le choix des sites, préparé les 360 collecteurs, immergé les collecteurs et retiré les collecteurs à chaque date. L'analyse du contenu des 360 collecteurs (comptage et détermination des larves) a été réalisée par Laurent Burgy et moi. Nous avons tous deux effectué une cartographie des sites et biotopes grâce aux données GPS récoltées sur le terrain par Suzanne Mills, Laurent et moi. J'ai photographié quelques larves récoltées sous la loupe binoculaire. Suzanne Mills, Laurent Burgy et moi avons mis en place une expérience de mortalité larvaire. J'ai immergé les 138 collecteurs et effectué un relevé à la première date. J'ai cartographié et photographié les zones d'eau douce, les hoas, les passes et les infrastructures de la zone d'étude. Cette initiative a pour but d'étudier l'influence du milieu terrestre sur les bords du lagon.

Sur l'atoll de Takapoto, Suzanne Mills et moi avons mis en place une expérience pour tester l'effet des conspécifiques sur le recrutement des larves de nacrés et d'autres invertébrés. Durant un premier séjour (6jours), Suzanne et moi avons choisi les sites et biotopes, préparé les collecteurs et immergé les collecteurs avec l'équipe de l'antenne du service de la perliculture de Takapoto. Durant un second séjour (6jours), j'ai retiré les collecteurs de l'eau à une date et mis en tube le contenu des collecteurs de deux dates (138 collecteurs).

SOMMAIRE

	Pages
SOMMAIRE	i
1. INTRODUCTION.....	1-3
2. MATERIEL ET METHODE.....	4-10
2.1 Site d'étude	
2.2 Modèle d'étude	
2.3 Stratégie d'échantillonnage	
2.3.1 Description, pose, retrait et stockage des collecteurs	
2.3.2 Détrouage des collecteurs	
2.4 Traitement statistique des données	
3. RESULTATS.....	12-18
3.1 <i>Recrutement des larves au cours du temps</i>	
3.2 <i>Recrutement des larves sur les sites attribués à chaque passe</i>	
3.3 <i>Recrutement des larves sur les différents biotopes</i>	
3.4 <i>Recrutement des larves sur les différents habitats</i>	
3.5 <i>Recrutement des larves en fonction du temps, de la passe et de l'habitat</i>	
3.6 <i>Recrutement des larves en fonction de la passe, de l'habitat et du biotope</i>	
3.7 <i>Recrutement des larves en fonction du temps, de l'habitat et du biotope</i>	
4. DISCUSSION.....	19-25
4.1 <i>L'évolution du recrutement au cours du temps est-elle celle attendue ?</i>	
4.2 <i>Le recrutement entre les deux passes est il homogène ?</i>	
4.3 <i>Existe-t-il un effet systématique de la dégradation des récifs coralliens sur le recrutement indépendamment du temps et de l'espace à l'échelle d'un atoll ?</i>	
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	26
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	27-30
ANNEXES.....	31-35

1.INTRODUCTION

Les populations humaines tropicales et subtropicales maritimes dépendent des biens et services apportés par les récifs coralliens (alimentation, commercialisation) (Hugues *et al.*, 2003, Berkes *et al.* 2006). Or les récifs coralliens connaissent un déclin dans le monde entier causé par une intensification des régimes de perturbations naturelles (cyclones, réchauffement climatique - Brown, 1997 ; Harley *et al.*, 2006) et anthropiques (destruction des habitats, pollution, surexploitation des produits de la mer etc. - Nyström *et al.*, 2001). Les dégradations dues à ces perturbations, se caractérisent par une forte mortalité des coraux. La diminution du recouvrement corallien aboutit d'abord à un substrat en mosaïque composé de « patches » de tissus coralliens vivants et de « patches » de squelettes coralliens colonisés par les algues filamenteuses. La structure « corallite » (partie du squelette élaborée par un polype) est encore apparente chez les coraux dont la mort est récente et disparaît avec le temps (Belwood *et al.*, 2004 ; Mumby *et al.* 2001). Le passage d'un écosystème corallien à un écosystème dominé par les algues modifie sur le long terme les communautés de poissons et d'invertébrés marins (Augustin *et al.*, 1999 ; Catterall *et al.*, 1997). Ainsi, les récifs coralliens soumis aux perturbations anthropiques subissent généralement une décroissance des populations adultes d'organismes marins plus importantes que sur des îles non dégradées. De nombreux auteurs ont étudié les effets des perturbations naturelles et anthropiques sur les communautés de coraux, poissons, crustacés et mollusques (Nyström *et al.*, 2000, Catterall *et al.*, 2001). Cette étude porte sur l'influence de la dégradation des habitats coralliens sur le succès de recrutement des larves de crustacés et mollusques.

La plupart des invertébrés marins peuplant les récifs coralliens possèdent un cycle biologique caractérisé par une phase larvaire pélagique océanique de quelques jours à quelques mois. Durant cette période, les larves dispersent plus ou moins loin de leur île natale puis colonisent cette même île (auto-recrutement) ou une autre île (allo-recrutement). Dans les heures qui suivent la colonisation, les larves adoptent un comportement de recherche d'un habitat favorable à leur croissance déterminé par des relations physiologiques entre l'environnement et les larves (Gapasin *et al.* 2004, Huggett *et al.*, 2005). C'est le processus d'installation des larves dans un récif corallien (Rodriguez *et al.*, 1993). La période qui suit l'installation se caractérise par une forte mortalité larvaire (Caley *et al.*, 1996). L'entrée ou non d'un individu dans la population adulte dépend, dans le milieu benthique des récifs coralliens, du succès de l'installation et de la période post-installation (Menge, 2000). On

défini le recrutement comme étant le nombre de larves qui se sont installées et qui ont survécu à une période de temps post-installation (période de forte mortalité des larves - Caley *et al.*, 1996). Le recrutement est considéré comme un des processus majeurs régulant le stock des populations et la structure des communautés des écosystèmes marins (Caley *et al.*, 1996). Il est aujourd'hui largement accepté que la taille des populations adultes des invertébrés marins benthiques à phase larvaire pélagique est déterminée en majorité par le succès du recrutement (choix d'un habitat + survie des larves après les deux premiers mois suivants l'installation) (Caley *et al.* 1996). Cette étude a pour but d'étudier l'influence de la dégradation des récifs coralliens de l'atoll de Rangiroa (Polynésie française ; Annexe 1) sur le succès de recrutement des larves de mollusques et de crustacés.

Les îles de Polynésie Française sont nées dans l'océan lors d'activités volcaniques. Après leur naissance, les îles dites "hautes" sont colonisées par les organismes bio-constructeurs formant ainsi progressivement un récif corallien accolé à l'île. A mesure que la plaque océanique se déplace, l'île subit une subsidence due l'érosion et à la masse de l'île (la base de l'île se refroidit et se rétracte, provoquant une diminution d'altitude du volcan). Le stade final de l'évolution d'une île haute est l'atoll où seules sont visibles les structures récifales. Selon la terminologie récifale définit par Battistini *et al.* (1975), un atoll est un « ensemble récifal de haute mer, émergé à marée haute, sans roche volcanique affleurant, le plus souvent de forme annulaire avec un lagon central ». Le lagon est une étendue d'eau de mer contenue dans une cuvette dont la profondeur moyenne varie de 20 à 40m. Le fond est constitué de sables coralliens issus de l'érosion des structures récifales alentours. On peut y rencontrer en nombre très variable des pinacles et des pâtés coralliens surgissant du fond du lagon et atteignant ou non la surface (Photo 3 et 4). Le lagon est séparé de l'océan par la couronne récifale (zone émergée de l'atoll sur laquelle vivent les populations humaines). Les échanges d'eau entre le milieu océanique et le milieu lagonaire se font à travers les passes (entailles profondes dans la couronne corallienne) et les hoas (chenaux de communication peu profonds dans la couronne corallienne).

Rangiroa (Photo n°1) est situé dans l'archipel des Tuamotu. L'atoll possède un lagon intérieur de 80 km de long et 32 km dans sa plus grande largeur. Le périmètre de l'anneau récifal est de 202 km et le lagon occupe une surface de 1 592 km². Deux passes s'ouvrent sur sa côte nord. Ce sont les passes Hutuaara (couramment nommée « avatoru ») à l'entrée du village d'Avatoru et Hiria (couramment nommée « tiputa ») à l'entrée du village de Tiputa (Photo n°2). Les 2 865 habitants se répartissent dans les deux principaux villages situés sur

deux portions émergées: Avatoru (12,5 km de long x 500 m de large) et Tiputa (4 km de long x 300 m de large).

Des perturbations naturelles tels que les « cyclones », « ENSO », « el niño » et « la niña » autour et à l'intérieur de l'atoll peuvent accélérer l'alternance d'un biotope corallien vivant à un biotope corallien mort colonisé par les algues. Une mortalité en masse des coraux de Rangiroa (jusqu'à 99% sur certains sites) a été recensée en 2001 suite aux événements de blanchiment induit par le phénomène « el niño » qui atteint son maximum en 1998 (Mumby *et al.*, 2001). Une augmentation de la température de l'eau de surface jusqu'à 29,4°C créa une perte des pigments coralliens contenu dans les zooxanthelles. Sur cet atoll, les deux états des récifs coralliens sont donc présents: « corail mort » avec recouvrement algal et « corail vivant ». L'influence de ces dégradations sur le succès de recrutement des invertébrés marins n'a jamais été étudiée. Les larves de crustacés et mollusques marins de cet atoll n'ont pour la majorité jamais été identifiées jusqu'à l'espèce. L'étude de leur installation et de leur survie post-installation est néanmoins possible grâce à une quantification des recrues déterminées à un certain niveau taxonomique.

L'objectif de cette étude est de tester l'influence négative de la dégradation des récifs coralliens sur le succès du recrutement des larves de crustacés et mollusques marins. Le collectage de larves sur un substrat artificiel effectué: 1) à différentes dates, doit permettre d'illustrer une évolution différente, selon les taxons, des patrons temporels et en intensité du recrutement ; 2) sur des sites autour de deux passes, doit permettre de détecter une différence de recrutement selon la passe ; 3) dans un habitat dominé par des pinacles algaux (« dégradé ») et dans un habitat dominé par des pinacles de corail vivant (« non dégradé »), doit permettre de montrer que le succès de recrutement est plus faible sur des pinacles algaux ; 4) sur des biotopes « corail vivant », « corail mort » et « sable » doit permettre de montrer que le succès de recrutement est plus faible sur les biotopes « corail mort ». Quatre hypothèses majeures sont donc testées correspondant à quatre facteurs: la dégradation de l'habitat, la dégradation du biotope, le temps et les passes. Une seule expérience permet de tester l'ensemble des hypothèses sur plusieurs taxons. Des interactions entre facteurs sont suspectées et seront donc testées. Elles seront interprétés, lorsque c'est possible, à la lumière des connaissances sur les facteurs pouvant influencer la variabilité spatiale, temporelle et en intensité du recrutement.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1. Site d'étude

L'échantillonnage a eu lieu sur deux zones de la côte nord de l'atoll de Rangiroa, l'une dégradée (habitat « dégradé ») et l'autre non dégradée (habitat « non dégradé ») (Figure n°1a. ; photo n°2) Huit sites ont été définis: quatre sites sur le zone dégradée (dominance de pinacles algaux – Avatoru : 1A et 4A ; Repo-repo : 1K et 4K) et quatre sites sur la zone non dégradées (dominance des coraux vivants – Papiero : 1P et 4P ; Tiputa : 1T et 4T) (photo n°2). Les différents pinacles sont séparés les uns des autres par de grandes étendues de sable. Une étude préliminaire à celle-ci, conduite par S. Mills et D. Lecchini, a montré que les sites Avatoru et Repo-repo étaient constitués essentiellement de pinacles algaux et que les sites Papiero et Tiputa étaient constitués essentiellement de pinacles coralliens vivants. Les sites 1A, 1P et les sites 4A, 4P sont situés respectivement à 1 km et 4 km aux abords de la passe d'Avatoru. Les sites 1K, 1T et les sites 4K, 4T sont situés respectivement à 1 km et 4 km aux abords de la passe de Tiputa (Figure n°1a.).

Sur chaque site, trois pinacles ont été choisis et ont pris l'appellation de biotope « corail vivant », « corail mort » et « sable » selon leur description (Figure n°1b.). Ces pinacles ont été décrits avec la méthode du "Line Intercept Transect " (Loya, 1978). Trois transects de 10 m de long ont été positionnés sur chaque biotope et le substrat recensé tous les 50 cm. Les différentes catégories du substrat sont : débris coralliens, sable, macro-algues, micro-algues (toujours associé à du corail mort) et corail vivant. Un pinnacle est appelé « corail vivant » lorsque le pourcentage de corail vivant est $> 40-50 \%$, un pinnacle est appelé « corail mort » lorsque le pourcentage de corail vivant est $< 20\%$ et un banc de sable est appelé « sable » servant de témoin à l'expérience. La profondeur des pinacles a aussi été estimée à l'aide d'un profondimètre électronique (aqua-lung ®) .

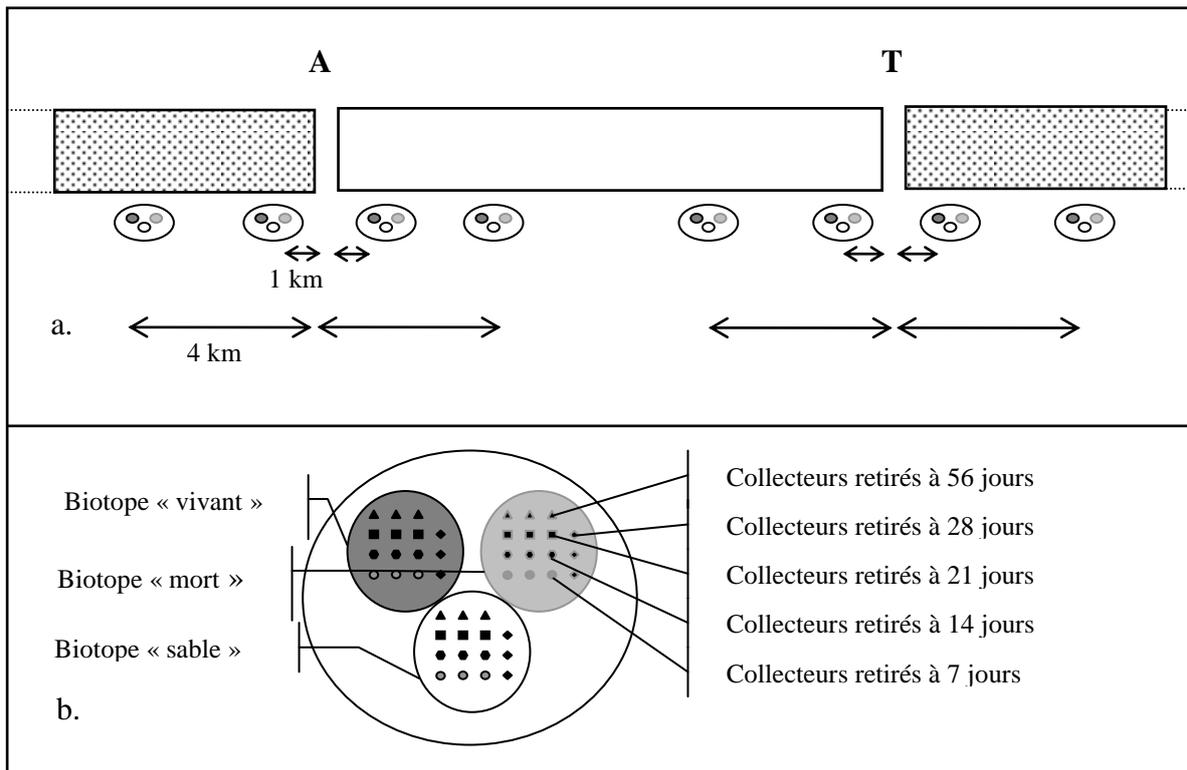
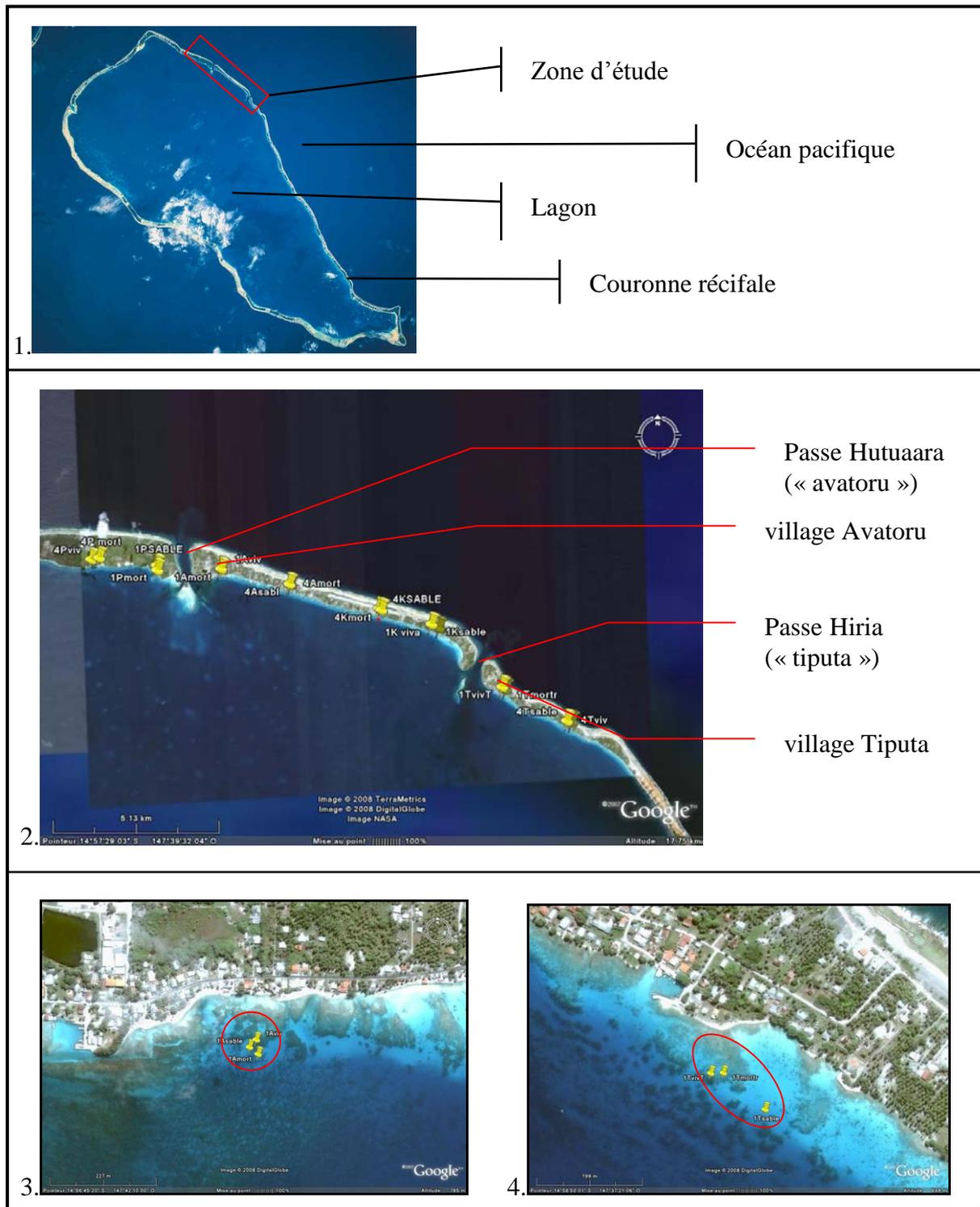


Figure n°1: **a.** Schéma de l'expérience de recrutement à Rangiroa. A= passe d'avatoru, T= passe de tiputa, la zone vide entre les deux passes constitue l'habitat « dégradé », les zones remplies constituent les habitats « non dégradés ». **b.** Schémas d'un site contenant trois biotopes. Les biotopes dans l'expérience ne sont pas accolés. Ils sont séparés par des étendues de sable de 30 à 100 mètres. Chaque biotope contient 15 collecteurs posés à J0. Trois collecteurs (réplicas) par biotope sont retirés à chaque date.



Photos n° 1 à 4: 1. Photo par satellite de l'Atoll de Rangiroa. (www.colonialvoyage.com). 2. Photo par satellite de la portion d'étude de l'atoll de Rangiroa (google earth). Les sites et biotopes ont été positionnés sur la carte selon leur latitude et longitude relevés sur le terrain à l'aide d'un gps. Les deux passes sont visibles. Les sites 4P,4A et 4K,4T sont respectivement à 4 km des passes « avatoru » et « tiputa ». Les sites 1P,1A et 1K,1T sont respectivement à 1 km des passes « avatoru » et « tiputa ». Les biotopes sont : viv = « corail vivant », mort = « corail mort », sable = « sable ». Certains biotopes sont manquants à cause de la résolution de la carte. 3. Photos par satellite (google earth) du site 1A situé à 1 km de la passe Avatoru. 4. Photos par satellite (google earth) du site 1T situé à 1 km de la passe Tiputa.

2.2 Modèle d'étude :

Parmi les organismes peuplant les écosystèmes coralliens, les mollusques et les crustacés constituent des phyla importants en abondance et en richesse spécifique. L'étude du recrutement des crustacés et des mollusques selon l'état de dégradation des récifs coralliens nécessite de capturer ces organismes à l'état larvaire. Or, aucune clé de détermination de ces phyla n'a été établie à l'état larvaire. Dans l'étude, il était donc impossible de déterminer les larves jusqu'à l'espèce. L'identification des larves s'est faite en deux étapes : la première se basant sur les clefs de détermination des adultes des crustacés et des mollusques (larves présentant les caractères clés d'identification des adultes) a souvent permis d'aller jusqu'à l'infra ordre. La seconde permettait de regrouper les larves présentant des caractères morphologiques identiques et de les nommer par un morphe (Tableau n°1).

Au total , 15 morphes ont été identifiés. Ce travail d'identification des larves jusqu'au plus bas niveau taxonomique possible a constitué une partie importante du stage. De plus, c'est une étape indispensable pour les futures études sur le recrutement larvaire des crustacés et des mollusques. Néanmoins, dans le cadre de mon stage et vu les connaissances actuelles sur la biologie et l'écologie des larves de crustacés et de mollusques, les résultats ont été analysés au niveau des classes : Bivalvia, Gastropoda, Malacostraca et maxillopoda. Au niveau des sous-classes pour les Gastropoda : opisthobranchia et prosobranchia et pour les maxillopoda : Cirripeda . Au niveau des ordre pour les Malacostraca : Amphipoda et Decapoda. A l'infra-ordre pour les décapodes : Anomoura et Brachyoura.

Phylum	Class	Ordre	Infra-ordre	Famille / groupes morphologiques	Photos	
Mollusca	Bivalvia	Pteroidae		Ostreidae	Annexe 3c	
				Crassostrea	Annexe 3a	
				Pectinidae	Annexe 3b	
	Gastropoda (Opisthobranchia)				Gasteropods 1	Annexe 4 c
					Gasteropods 2	Annexe 4 d
					Gasteropods 3	Annexe 4 a, b
	Gastropoda (Prosobranchia)					
Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	Gammaridea	Amphipodes	Annexe 2 b	
		Décapoda	Caridae	Crevettes	Annexe 2 c	
			Anomoura	Anomoures	Annexe 2 e	
			Brachiourea	Brachyoures	Annexe 2 d	
		Maxillopoda (cirripeda)			Cyprids	Annexe 2 a

Tableau n°1: Taxa récoltés et dont le nombre d'individus a été dénombré.

2.3.Stratégie d'échantillonnage

2. 3.1 Description , pose , retrait et stockage des collecteurs :

Afin d'étudier le recrutement des larves de mollusques et de crustacés dans le lagon, des collecteurs benthiques ont été utilisés. Ces collecteurs sont constitués d'un film de polyéthylène tissé (ombrière) de 16 m de long, replié le long d'une cordelette pour atteindre une longueur de 60 cm (Photo n°5). Les 360 collecteurs ont été immergés à J0 (4/03/08). Ils ont été attachés par leur cordelette : aux substrats naturels sur les biotopes « corail vivant » et « corail mort » ; à une tige en acier lestée par des corps-morts sur les biotopes « sable » et maintenus verticalement dans la colonne d'eau par un flotteur ((Photo n°6; 7; 8). Puis trois collecteurs ont été retirés sur chaque biotope après 7 jours d'immersion (J7 - 11/03/08), 14 jours (J14 - 18/03/08), 21 jours (J21 - 25/03/08), 28 jours (J28 - 01/04/08) et 56 jours (J56 - 29/04/08). Le retrait des collecteurs a été effectué de la manière suivante : sous l'eau, le collecteur a été introduit dans un sac plastique, la cordelette a ensuite été coupée et le sac fermé avant de remonter en surface. Au laboratoire, les sacs contenant les collecteurs furent conservés dans un congélateur en attendant d'être analysés.

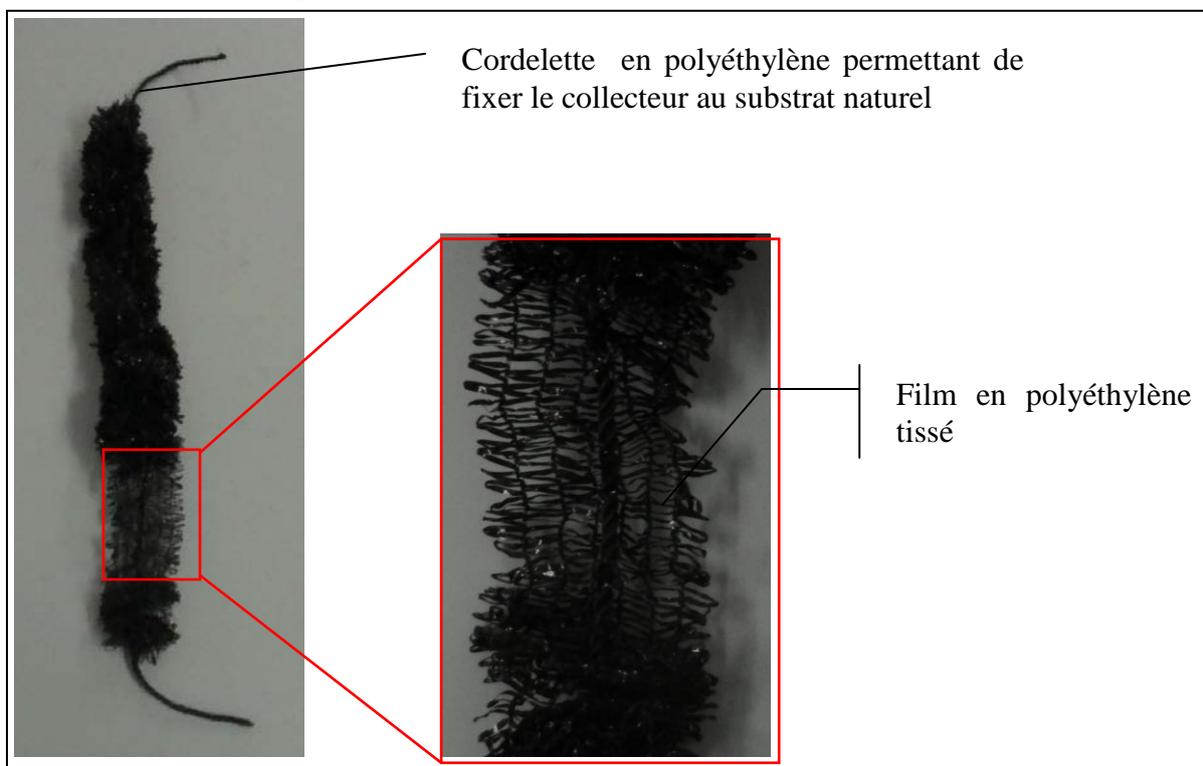


Photo n°5: Collecteur en polyéthylène tissé (ombrière) utilisé comme substrat artificiel pour le recrutement des larves d'invertébrés marins. D'autres formes de collecteurs existent mais celle ci (en guirlande) est la plus utilisée par les perliculteurs de Polynésie française pour le captage passif en milieu lagunaire des naissains de nacres (*Pinctada margaritifera*).

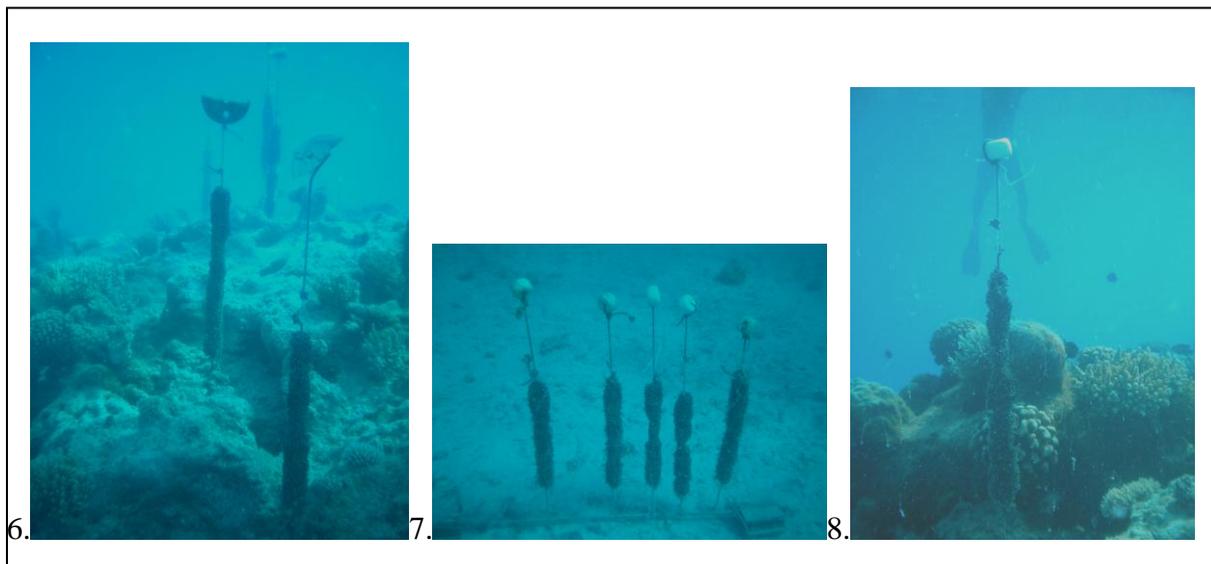


Photo 6, 7, 8: 6. Collecteurs immergés accrochés au substrat naturel sur un biotope « corail mort ». 7. Collecteurs immergés accrochés à une tige en acier lestés par des corps morts dans un biotope « sable ». 8. Au premier plan, un collecteur accroché au substrat naturel dans un biotope « corail vivant ». En second plan, un plongeur en palme masque et tuba ayant attaché le collecteur.

2.3.2 Détroquage des collecteurs :

Le détroquage des collecteurs a été effectué de la manière suivante : le contenu du sac a été vidé dans une bassine de quatre litres d'eau douce jusqu'à décongélation. Une fois décongelé, le film plastique sur lequel étaient fixées les larves a été séparé de la cordelette. Le plastique a ensuite été frotté délicatement et rincé dans la bassine afin de récupérer les larves. Enfin, l'eau a été filtrée sur deux tamis superposés (un de 400 microns et un de 224 microns) et les larves ont été collectées dans des boîtes de pétri. La détermination et le comptage des larves ont été effectués à l'aide d'une loupe binoculaire de grossissement 6,4 à 40 (marque : WILD HEERBRUGG, modèle : M3B switzerland) et d'un kit de dissection. Les larves ont été comptées et déterminées en fonction des différents morphes identifiées (Tableau n°1).

2.4. Traitement statistique des données :

Les facteurs fixes (habitat, biotope, temps, passe) et leurs interactions ont été testées par comparaison de modèles emboîtés. Considérant que les sites avaient été choisis de manière aléatoire, l'effet « site » a été rentré comme effet aléatoire dans les modèles. Les modèles construits sont des « linear mixed-effect models ». La fonction « lme » de la bibliothèque lme4 a été utilisée dans le logiciel R (R Development Core Team, R: A Language and Environment

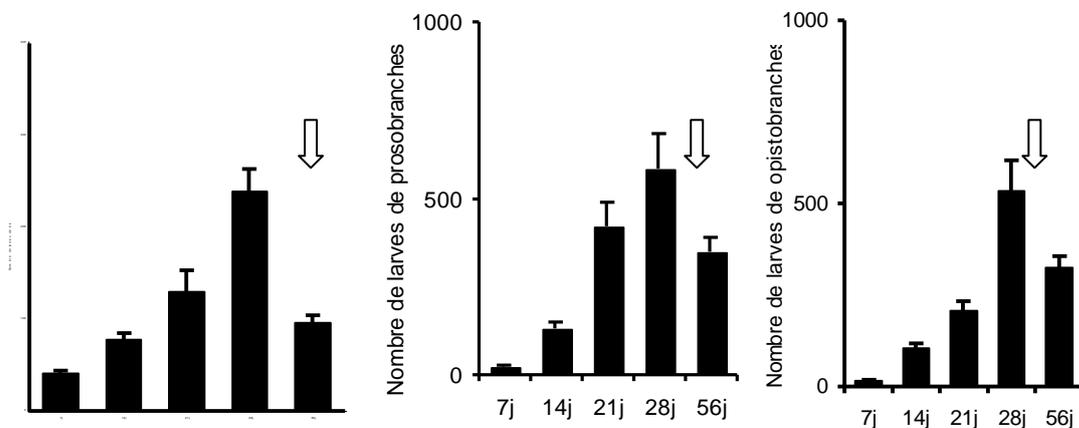
for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org>, 2006). Le liens Log-linéaire (fonction « link= log » sous R) et l'erreur de Poisson (fonction « family= poisson » sous R) ont été choisis pour modéliser une distribution poissonnienne des comptages. Un modèle nul a été construit puis la procédure ascendante a été appliquée. L'apport d'un modèle complexe par rapport à un modèle plus simple emboîté dans le premier a été testé par un test χ_i^2 basé sur le rapport des log-vraisemblances (fonction « anova » sous R) (Thompson, 2008). Le facteur « temps » a été testé en premier car son effet sur les processus de colonisation est inévitable. Puis le facteur « passe » a été testé car un recrutement différent d'une passe à une autre était suspecté. L'effet de la dégradation à grande échelle (facteur « habitat ») a été testé puis l'effet de la dégradation à plus petite échelle (facteur « biotope ») dans le but de détecter un effet additif ou interactif de l'habitat sur le biotope. Les interactions doubles puis triples et enfin l'interaction quadruple ont été testées successivement. En premier, ont été testées les interactions entre le temps et 1) la passe, 2) l'habitat, 3) le biotope suspectant une modification de l'effet de ces facteurs au cours du temps. En second, ont été testées les interactions entre la passe et 1) l'habitat, 2) le biotope suspectant un effet différent d'une modalité d'une passe à une autre. Enfin l'interaction entre le biotope et l'habitat a été testée. Les interactions triples ont ensuite été testée en commençant par temp*passe*habitat, puis temps*passe*biotope, puis temps*biotope*habitat et enfin passe*biotope*habitat. Enfin l'interaction quadruple a été testée.

3. RESULTATS

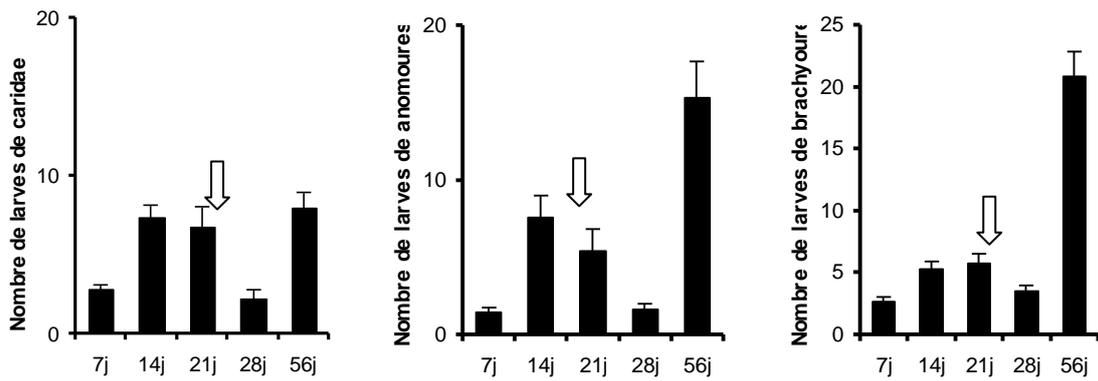
3.1 Recrutement des larves au cours du temps :

Le nombre moyen de recrues (larves installées sur les collecteurs et ayant survécu) de tous les groupes analysés varie significativement au cours du temps (Tableau n°2). Les résultats montrent trois types d'évolution du recrutement au cours du temps (Figure 2).

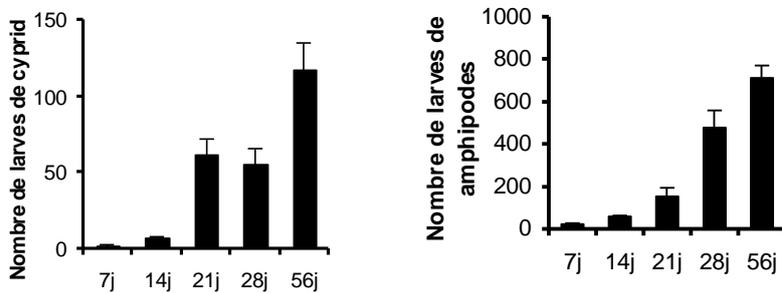
Type 1: Chez les mollusques (gastropodes : prosobranches et opistobranches, bivalves), le nombre moyen de recrues augmente du temps 7 jours au 28 jours puis diminue à 56 jours (Figure 2a.). **Type 2:** Chez les crustacés décapodes (anomoura, brachyoura, caridea), le nombre moyen de recrues augmente du temps 7 jours au temps 14 jours, puis diminue du temps 14 jours au temps 28 jours chez les anomoura et du temps 21 jours au temps 28 jours chez les brachyoura et caridea (Figure 2b.). **Type 3:** Chez les crustacés maxillopoda (cirripèda) et crustacés amphipoda, le nombre moyen de recrues augmente du temps 7 jours au temps 56 jours. Chez les cirripèda, le nombre moyen de recrues entre 7 jours et 14 jours est significativement le même ainsi qu'entre 21 et 28 jours (Figure 2c.).



a.



b.



c.

d.

Figure n°2: Recrutement au cours du temps des larves de **a. mollusques**, **b. décapodes**, **c. cyprid**, **d. amphipodes** sur l'ensemble des biotopes. Les graphiques montrent les moyennes et écart-types du nombre de recrues à 7 jours, 14 jours, 21 jours, 28 jours et 56 jours. Les flèches vides désignent les intervalles de temps durant lesquels les événements post-installation (mortalité ou émigration) ont été plus importants que l'installation (apport larvaire). Les barres d'erreurs correspondent aux intervalles de confiance autour des moyennes.

3.2 Recrutement des larves sur les sites attribués à chaque passe :

Les nombres moyens de larves de prosobranchia, opistobranchia et anomoura sont différents entre les sites attribués à la passe d'avatoru et les sites attribués à la passe de tiputa (tableau n°2). On observe, en moyenne, un plus grand nombre de recrues de prosobranchia et d'anomoura du côté de Tiputa (Figure 3a. et 3b.). A l'inverse, on observe, en moyenne, un plus grand nombre de recrues d'opistobranchia du côté d'avatoru (Figure 3c.). En revanche, la répartition des larves de cirripeda, brachyours, amphipoda, caridea et bivalvia entre les sites des deux passes est homogène.

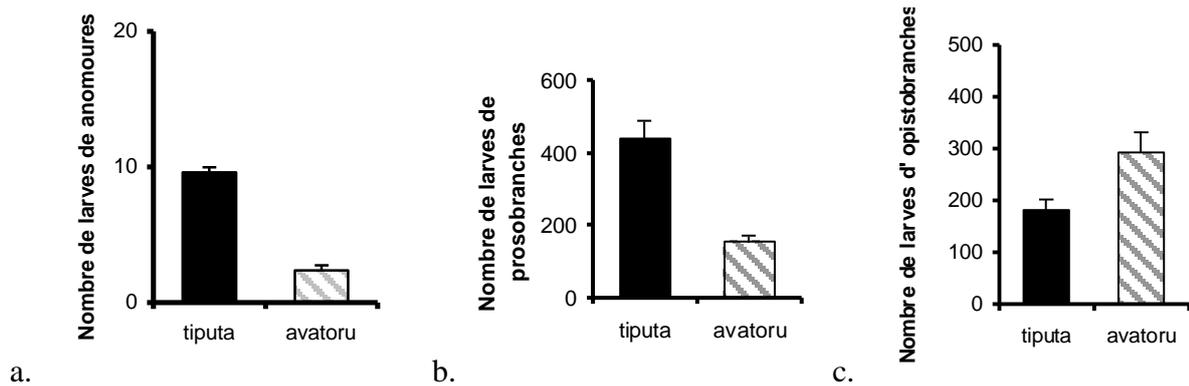


Figure n°3: Recrutement des larves de a. anomoures, b. prosobranches et c. opistobranches sur les sites autour de la passe d'avatoru et sur les sites autour de la passe de tiputa. La distribution des larves d'anomoures et de prosobranches s'opposent à celle des larves d'opistobranches. Les barres d'erreurs correspondent aux intervalles de confiance autour des moyennes.

3.3 Recrutement des larves sur les différents biotopes :

Le nombre moyen de larves de gastropodes (prosobranches et opistobranches) et de crustacés décapodes (brachyoura, anomoura, caridea) varie significativement en fonction du biotope (Tableau n°2). On observe, en moyenne, un plus grand nombre de larves de prosobranchia dans les biotopes « corail vivant » et « corail mort » que dans le biotope « sable » (Figure n°4b.). Il n'y pas de différence entre les biotopes « corail vivant » et « corail mort » pour ce taxon. Chez les opistobranches, le nombre moyen de larves est plus grand dans le biotope « corail mort » que dans le biotope « corail vivant ». Le plus petit nombre moyen de larves est trouvé, pour ce taxon, dans le biotope « sable » (Figure n°4b.). Chez les anomoura et caridea on observe significativement un plus grand nombre de larve dans le biotope « sable » alors que les nombres moyens de larves entre les biotopes « corail vivant » et « corail mort » ne sont pas différents (Figure n°4a.). Chez les brachyoura, on observe, en moyenne, un plus grand nombre de larves dans le biotope « corail vivant » que dans le biotope « corail mort » (Figure n°4a.). En revanche, la distribution des larves de bivalves, cirripeda et amphipoda est homogène entre les différents biotopes.

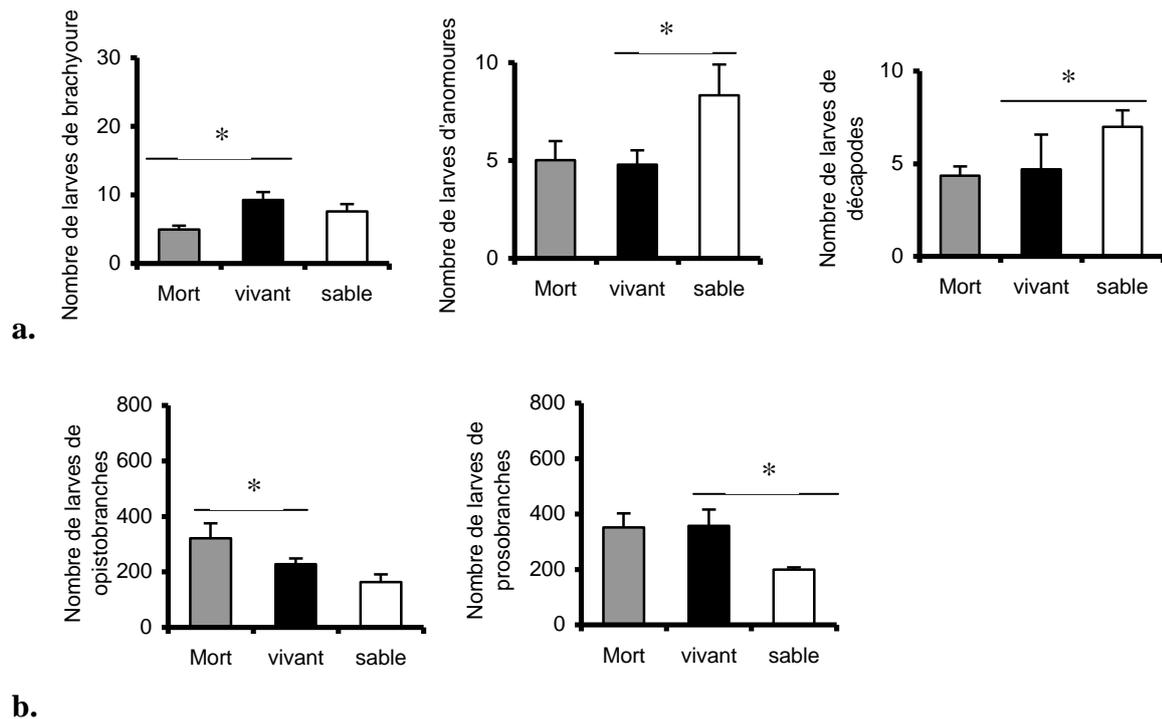


Figure n°4: Recrutement des larves de **a. décapoda** et **b. gastropoda** dans les biotopes « corail vivant », « corail mort », « sable ». Les barres d'erreurs correspondent aux intervalles de confiances autour des moyennes.

3.4 Recrutement des larves sur les différents habitats :

Le nombre moyen de larves de prosobranchia, varie significativement en fonction de l'habitat « dégradé » et « non dégradé » (Tableau n°2). On trouve plus de larves de prosobranchia dans l'habitat non dégradé que dans l'habitat dégradé (Figure n°5a.). En revanche, la répartition des autres taxons est homogène entre les « habitats dégradés » et « non dégradés » (Figure n°5b.).

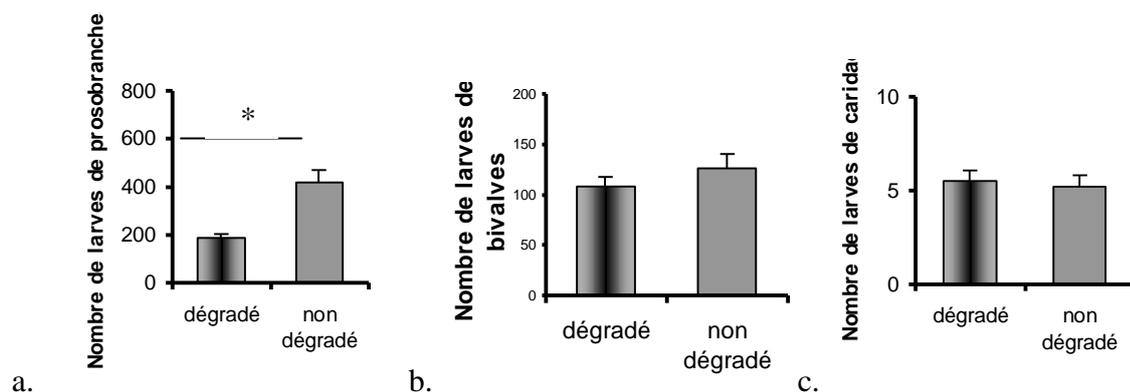


Figure 5: Recrutement des larves de **a. prosobranchia**, **b. bivalvia**, **c. caridiae** en fonction de l'état dégradé et non dégradé de l'habitat. Les barres d'erreurs correspondent aux intervalles de confiances autour des moyennes.

3.5 Recrutement des larves en fonction du temps, de la passe et de l'habitat :

Le nombre moyen de larves de prosobranchia varie significativement fonction du temps, de l'habitat et de la passe (Tableau n°2). A 21 jours, 28 jours et 56 jours, le nombre moyen de larves à tiputa est supérieur au nombre moyen de larves à avatoru et le nombre moyen de larves dans l'habitat dégradé est supérieur au nombre de larves dans l'habitat non dégradé (Figure n°6a.).

Le nombre moyen de larves d'anomoura varie significativement fonction du temps, de l'habitat et de la passe (Tableau n°2). A 21 jours, 28 jours et 56 jours, le nombre moyen de larves à avatoru est supérieur au nombre moyen de larves à tiputa et le nombre moyen de larves dans l'habitat non-dégradé est supérieur au nombre de larves dans l'habitat dégradé.

Les nombres moyens de larves de brachyours varie significativement fonction du temps, de l'habitat et de la passe (Tableau n°2).

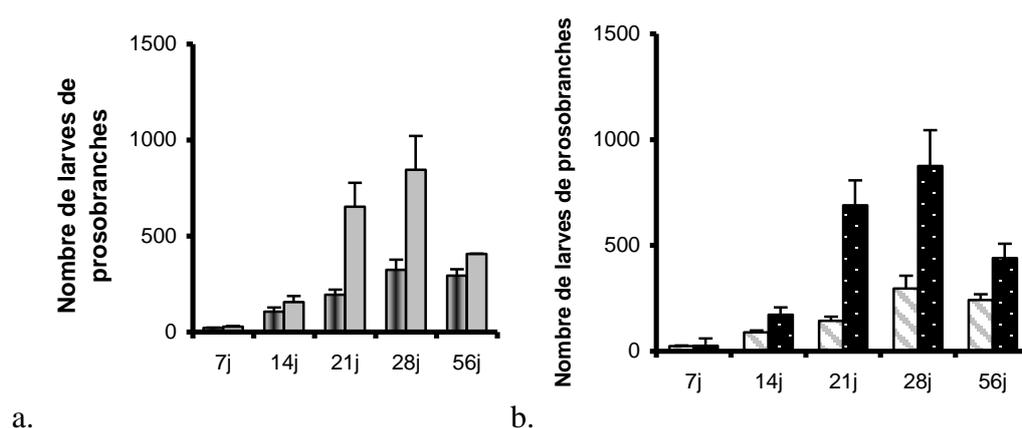


Figure 6: recrutement des larves de prosobranchia : **a.** au cours du temps et en fonction de l'habitat (les barres grises correspondent à l'habitat « non dégradé » ; **b.** au cours du temps et en fonction des passes. Les barres noirs avec les points blancs correspondent à la passe Tiputa. Les barres d'erreurs correspondent aux intervalles de confiances autour des moyennes.

3.6 Recrutement des larves en fonction de la passe, de l'habitat et du biotope :

Le nombre moyen de larves d'anomoures, d'amphipodes et de caridea varie significativement fonction de la passe, de l'habitat et du biotope (Tableau n°2).

3.7 Recrutement des larves en fonction du temps, de l'habitat et du biotope :

Le nombre moyen de larves de bivalves varie significativement fonction de la passe, de l'habitat et du biotope (Tableau n°2).

taxons	mollusca			crustacea				
	gastropoda		bivalvia	decapoda			maxillopoda	
	prosobranchia	opisthobranchia		anomoura	amphipoda	brachyoura	caridea	cirripeda
temps	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16
passé	0.01574	0.02212	0.9924	0.00867	0.08147	0.6601	0.2759	0.3714
habitat	0.04571	0.6207	0.3059	0.2039	0.1231	0.1144	0.9366	0.3167
biotope	< 2.2e-16	< 2.2e-16	0.617	< 2.2e-16	0.236	< 2.2e-16	< 2.2e-16	0.324

a.

taxons	mollusca			crustacea				
	gastropoda		bivalvia	decapoda			maxillopoda	
	prosobranchia	opisthobranchia		anomoura	amphipoda	brachyoura	caridea	cirripeda
t*p	< 2.2e-16	0,009	0,456	< 2.2e-16	< 2.2e-16	0,789	0,654	0,213
t*b	0,425	0,0068	0,599	0,213	0,068	1.327e-09	0,852	0,652
t*h	< 2.2e-16	0,965	0,4	2.2e-16	0,452	7.803e-11	0,465	0,123
b*p	0,069	0,256	0,714	0.007474	0,852	0,185	0,068	0,856
h*p	0,098	0,135	0,298	0.001483	0,269	0,412	0,289	0,354
h*b	0,52	0,546	0,247	0,089	0,089	< 2.2e-16	0,064	0,589

b.

taxons	mollusca			crustacea				
	gastropoda		bivalvia	decapoda			maxillopoda	
	prosobranchia	opisthobranchia		anomoura	amphipoda	brachyoura	caridea	cirripeda
t*p*b	0,567	0,682	< 2.2e-16	0,6872	0,865	0,125	0,523	0,99
t*p*h	< 2.2e-16	0,513	0,126	5.516e-08	0,082	0.001558	0,789	0,689
p*h*b	0,24	0,072	0,46	1.396e-10	< 2.2e-16	0,48	< 2.2e-16	0,465
h*b*t	0,07	0,657	0,589	0,66	0,299	0,143	0,695	0,896
t*p*h*								
b	0,248	0,925	0,854	0,112	0,4	0,123	0,72	0,258

c.

Tableau n°2: Tests des rapports de log vraisemblance entre un modèle compliqué et un modèle plus simple emboîté dans le premier (procédure ascendante). Le tableau donne les probabilités critiques associées aux tests χ_i^2 basé sur le rapport des vraisemblances. Les probabilités indiquant un effet significatif du facteur sur le recrutement sont en gras. **a. Tests des effets simples.** Les degrés de liberté pour le temps et la passe sont respectivement 4 et 1. Les degrés de liberté pour l'habitat et le biotope sont respectivement 1 et 2. **b. Tests des interactions doubles.** t= temps, p=passe, b= biotope, h= habitat. Les degrés de liberté pour les interactions t*p, t*b, t*h, b*p, h*p, h*b sont respectivement 4, 8, 5, 2, 1, 2. **c. Tests des interactions triples et quadruples.** Les degrés de liberté pour les interactions t*p*b, t*p*h, p*h*b, h*b*t, t*p*h et t*p*b*h sont respectivement 8, 5, 2, 16 et 18.

taxons		modèles avec interactions	
mollusca	bivalvia		t+t :p :b
	gastropoda	prosobranchia	t+p+h+b+t:p+t:h+t:p:h
		opistobranchia	t+p+b+t:p+t:b
crustacea	decapoda	anomoura	t+p+b+t:p+t:b
		amphipoda	t+t:p
		brachyoura	t+b+t:p+t:h+b:p+h:p
		caridea	t+b+p:h:b
	maxillopoda	cirripeda	t

Tableau n°3: Modèles retenus avec interactions et effets simple significatifs. La variable à prédire est le nombre de recrues. L'effet aléatoire est « site ».

4. DISCUSSION

4.1 L'évolution du recrutement au cours du temps est-elle celle attendue ?

Les études de recrutement qui portent sur plusieurs taxa montrent des patrons temporels et en intensité espèce-spécifiques, variés, incluant des fluctuations saisonnières régulières, continues et des pulses irréguliers des années particulières (Watson et al, 2004). Conformément aux attentes, les résultats de cette expérience montrent une variation significative de l'intensité du recrutement des larves d'invertébrés durant deux mois. Les dates entre lesquelles sont observées une augmentation ou une diminution du nombre de larves sur les collecteurs varient en fonction des taxons. Bien que nous n'ayons pas analysé les larves jusqu'à l'espèce, nous avons observé des types d'évolution différents entre larves de mollusques : bivalvia et gastropoda (type1), crustacea décapoda : anomoura, caridea, brachyoura (type 2) et crustacés maxillopoda : cirripeda et amphipoda (type 3). Le nombre moyen de recrues aux différentes dates est le résultat de l'installation larvaire et des processus post-installation (mortalité: prédation, compétition, émigration, perturbations: houles occasionnelles) (Todd, 1998).

Sous l'hypothèse d'une corrélation temporelle et en intensité entre les patrons de colonisation et l'apport larvaire à l'installation, l'augmentation des larves sur les collecteurs devrait être corrélée à un pic de colonisation des taxons concernés. L'expérience de Raphaël Santos, menée en parallèle à la notre, consistait à quantifier quotidiennement les larves

colonisantes de crabes (decapoda brachyoura) et de crevettes (décapoda caridea) sur la crête récifale. Ses résultats montrent un pic de colonisation larvaire entre le 26 mars et le 5 avril. Ces dates correspondent dans notre expérience à une immersion des collecteurs de 22 à 33 jours. Nous avons observé une augmentation du nombre de larves décapoda caridea et decapoda brachyoura entre 28 et 56 jours. Un décalage de plusieurs jours entre les pics à la colonisation et à l'installation a donc eu lieu. Cependant, nous ne savons pas si les larves que nous avons récoltées font parti du même stock colonisant le récif quelques jours plus tôt. Les questions de couplages temporels et spatiaux entre les patrons de colonisation et ceux de l'installation, bien qu'explorées, ne sont pas encore résolues (Lecchini, Galzin, 2006).

La diminution du nombre de recrues sur les collecteurs chez les mollusques et les crustacés décapodes s'explique par les mécanismes post-installation. La prédation, la compétition intra- et inter-spécifique pour les ressources ou pour la place disponible (effets densité-dépendant) limitent le nombre de recrues dans les populations naturelles (Chesson, 1998). Nous faisons l'hypothèse que les facteurs agissant après l'installation sur les taxons dans le milieu naturel ont le même effet sur un substrat artificiel. Or, ce n'est pas toujours le cas. Tyrrel *et al.* (2006), ont montré que la compétition entre espèces sur substrat artificiel n'était pas toujours représentative de la compétition dans le biotope naturel. Des espèces peuvent s'installer sur les collecteurs, dans des biotopes où elles ne seraient habituellement pas rencontrées. L'utilisation de collecteurs artificiels pour détecter une différence de recrutement entre différents habitats nécessite une correspondance entre les substrats artificiels et le substrat naturel environnant. Paula *et al.* (2006) ont étudiés l'installation du crabe *Carcinus maenas* sur substrat artificiel et substrat naturel entre différents habitats. Les résultats montrent une forte correspondance entre le substrat naturel environnant et le substrat artificiel. Cette étude bien que réalisée en milieu tempéré (Cascais, Portugal) justifie l'utilisation dans notre cas de substrats artificiels.

Lors de l'expérience nous avons observé que certains poissons venaient s'alimenter sur les collecteurs. La prédation devrait être un facteur de la mortalité post-installation. La même étude réalisée en 2007 par Suzanne Mills n'avait montré aucun effet de la prédation sur le recrutement. Or des collecteurs en cage aurait du montrer sur un même biotope un nombre de recrues plus élevées que sur des collecteurs libres. La taille des mailles pourrait être suffisamment grande pour que les poissons s'alimentent sur les deux types de collecteurs. La mortalité due au cannibalisme peut aussi avoir lieu sur les collecteurs. Luppi *et al.*, 2002 montrent que chez le crabe *Cyrtograpsus angulatus*, le recrutement est régulé au moins en partie par le cannibalisme.

Des événements météorologiques (houles occasionnelles) ont pu participer à la diminution du nombre de larves sur les collecteurs. Entre 21 et 28 jours une houle a pu arracher les décapodes des collecteurs. Cette hypothèse est moins évidente pour les cyprids à moins d'un apport larvaire suffisant pour ne pas voir diminuer le nombre de larves. Les houles font partie du régime de perturbations naturelles d'un lagon. Les taxons qui le peuplent emploient des stratégies comportementales de protection en rapport avec les substrats naturels. Les barnacles et certains crustacés décapodes privilégient les anfractuosités à l'abris du courant. Les capacités de fixation des larves sur un substrat artificiel déterminent leur résistance face aux courants. Or ces stratégies ne sont peut être pas retrouvées sur les collecteurs artificiels. La protection et les capacités de fixation des larves sur le substrat artificiel sont inconnues. Les larves sessiles (bivalves, gastropodes) sont peut être moins touchés par de tels événement que des larves non fixées (crustacés décapodes et cyprids), ces différences peuvent menées à des biais expérimentaux qu'il serait intéressant d'explorer.

4.2 Le recrutement entre les deux passes est il homogène ?

Les larves d'invertébrés et de poissons mettent fin à leur vie pélagique lorsqu'elles entrent dans le lagon. Les voies d'entrée sont les hoas, le déferlement des vagues par dessus la couronne récifale et les passes lorsque elles existent (Michel et al. 1971). Les anomoures, prosobranches et opistobranches ont un recrutement différent entre les sites des deux passes. Deux hypothèses majeures peuvent expliquer ce patron : 1) le patron spatial de colonisation des larves est hétérogène à l'entrée des deux passes. Les sites autour de la passe colonisée par un plus grand nombre de larves montrent alors un plus grand nombre de larves à l'installation. 2) le patron spatial de colonisation des larves est homogène à l'entrée des deux passes. L'hétérogénéité spatiale observée à l'installation devrait résulter d'une influence des passes se manifestant : a) physiquement par l'action des courants alternatifs, b) biologiquement par l'influence des prédateurs de chaque passe sur le stock entrant de larves. Michel et al. (1971) ont étudié le rapport entre la biomasse planctonique et l'hydrologie aux abords des passes d'avatoru et tiputa. Leurs résultats montrent que certaines espèces rencontrées habituellement dans le lagon sont présentes en grande quantité à l'extérieur du lagon aux bord des passes. Il semblerait que les courants tourbillonnaires de sortie d'eau du lagon soient capables d'isoler certaines lentilles d'eau qui conserverait assez longtemps une individualité biologique. De plus, la passe d'avatoru présente une plus grande quantité de plancton à l'origine d'une plus grande quantité de poissons (Michel A., 1971). La prédation pourrait alors faire diminuer le

stock de larves dans l'une des passes. C'est peut être le cas chez les anomoures et prosobranches moins récoltés à Avatoru qu'à Tiputa.

Les caractéristiques de chaque passe ne sont pas connues en détail. Une comparaison plus fine de la structure et de la composition physique et biologique des deux passes permettrait de tester les facteurs pouvant influencer les patrons spatiaux, temporels et en intensité du recrutement. Une étude dont l'analyse des résultats est en cours a été réalisée sur l'atoll « fermé » de Takapoto. Cet atoll ne présentant aucune passe, les échanges entre le lagon et l'océan ont lieu par dessus la couronne récifale et par les hoas. Notre étude n'incluant pas de sites témoins sans passe, la comparaison des deux expériences pourrait s'avérer utile. Nous avons intégré dans l'étude des sites présents à 1 km et 4 km des passes. L'effet physique des courants peut être ressenti différemment en fonction de la distance. Cependant Michel et al. (1971) suppose que le balancement des marées exerce une influence sur les zones autour des passes sur environ 5 km. Pour confirmer cette hypothèse, les résultats de cette étude pourraient être analysés en séparant les sites à 1 et 4 km des passes. L'effet de la dégradation des récifs pourrait dépendre de la distance à la passe.

4.3 Existe-t-il un effet systématique de la dégradation des récifs coralliens sur le recrutement indépendamment du temps et de l'espace à l'échelle d'un atoll?

L'objectif de cette étude est de tester l'effet systématique de la dégradation des récifs coralliens à différentes échelles spatiales sur le recrutement des larves d'invertébrés. Nous avons fait deux hypothèses : 1) Un habitat « dégradé » sur une dizaine de kilomètres diminue le recrutement des larves. 2) Un biotope « dégradé » sur une dizaine de mètres diminue le recrutement des larves. Contrairement aux attentes, nos résultats montrent que les différences de recrutement entre habitats et entre biotopes ne sont pas systématiques. L'influence de la mortalité des récifs coralliens varie d'un taxon à un autre, dans le temps et dans l'espace.

Une interaction significative entre l'habitat, la passe et le temps a été trouvée pour les prosobranches, les anomoures et les brachyours. Les différences dans le nombre moyen de larves entre habitats dégradés et habitat non dégradés semblent provenir d'avantage de l'orientation relative des habitats « dégradé » et « non dégradé » par rapport aux courants entrants des passes que d'une orientation active des larves dans la colonne d'eau (Figure n°7). L'eau qui circule de l'océan vers le lagon est expulsé majoritairement sur la gauche en entrant dans le lagon quelque soit la passe (due sans doute à la largeur de la passe ce côté). Or à Avatoru la zone sur la gauche correspond à l'habitat « dégradé » alors qu'à Tiputa elle

correspond à l'habitat « non-dégradé ». Les larves de prosobranches en plus grande quantité à tiputa s'installent donc en plus grande quantité dans l'habitat « non-dégradé » sous l'effet des courants. La même interprétation est donnée pour les décapodes anomoures. Lorsqu'à l'inverse, aucune différence n'est observée entre les habitats, on peut alors supposer que la répartition des larves entre les deux passes est homogène. Il y a alors autant de larves à gauche de tiputa qu'à gauche d'avatoru, soit autant dans l'habitat «dégradé » que dans le « non dégradé ».

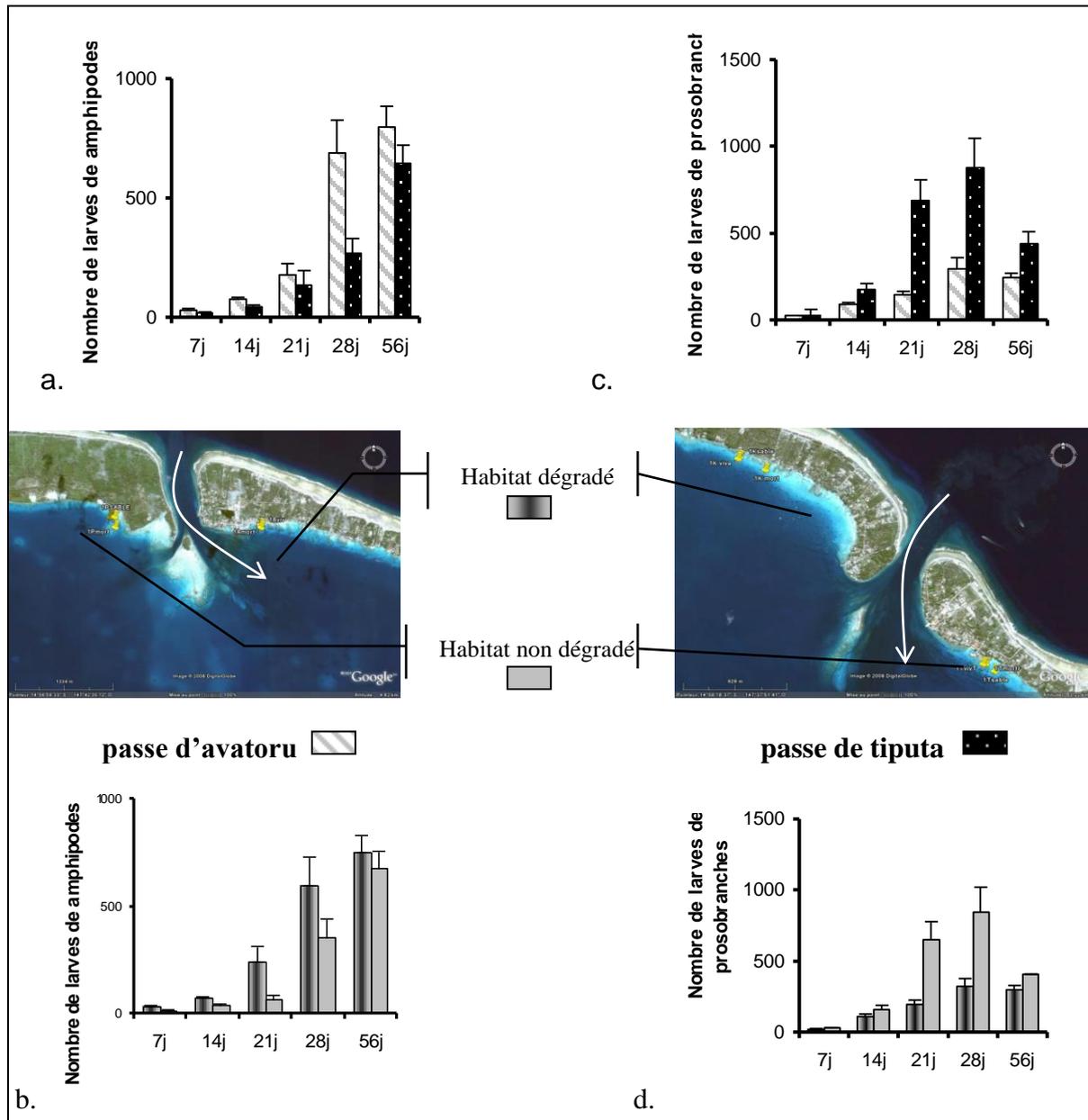


Figure n°7: b. et d. comparaison du recrutement au cours du temps entre habitat dégradé et non dégradé chez les amphipodes et les prosobranches. **c) et d)** comparaison au cours du temps entre la passe d'avatoru et la passe de tiputa chez les amphipodes et les prosobranches. Au centre, les photos des passes. Les flèches blanches représentent les zones de courants les forts.

Néanmoins il ne faut pas négliger l'entrée des larves par les chenaux de communication situés entre les deux passes. Ces hoas font entrer les larves sur l'habitat dégradé, ainsi si elles ne migrent pas au delà des passes alors elles sont soumises aux conditions locales.

Enfin, la répartition homogène des larves d'opisthobranches, caridea, amphipodes et cirripèdes dans les deux habitats peut provenir d'un flux larvaire homogène dans la colonne d'eau sur toute la zone d'étude. Les collecteurs offrant un substrat adéquate pour ces larves quelque soit l'habitat, l'homogénéité est alors conservée dans les patrons de recrutement.

A plus petite échelle, nous n'observons pas une différence entre biotope « corail vivant », « corail mort » et « sable » quelque soit les taxons, le temps et la passe. Ainsi, l'effet du biotope chez les brachyours et les opisthobranches est dépendant du temps. Nous manquons d'informations sur les processus de mortalité ou de mobilité qui ont pu avoir eu lieu entre les biotopes au cours du temps. Néanmoins, les patrons spatiaux et temporels du recrutement dépendent de ce type d'interaction. Dissocier la colonisation larvaire des processus de mortalité ou de mobilité pourrait s'avérer utile afin d'interpréter un tel résultat.

L'interaction triple chez les bivalves entre la passe, le temps et le biotope complique l'analyse. Au cours du temps l'intensité des courants autour des passes varie. Les bivalves fixés sur le sable, ou sur un substrat dur n'ont alors pas la même résistance face aux courants. La prédation peut avoir également modifié au cours du temps la répartition des larves entre les biotopes.

Les larves d'anomoures sont présentes en majorité dans le corail vivant. Néanmoins ce résultat n'est valable que pour les sites au bord de la passe de tiputa. Un apport de larves plus important du côté de tiputa où une mortalité plus grande du côté d'avatoru ou les deux sont à l'origine de cette différence entre passes. Les anomoures semblent plus attirées par le corail vivant.

Les résultats concernant la différence entre biotopes sont inattendus. Des hypothèses doivent être testées. 1) Le biotope « corail mort » n'émet pas les stimuli inducteurs de l'installation qu'émet le biotope « corail vivant ». Pour confirmer cette hypothèse il est nécessaire d'obtenir des données précises sur la composition exacte des différents biotopes. 2) la survie sur les biotopes « corail vivant » et « corail mort » est différente. Les expériences de survie à Rangiroa portant sur le bivalve *Pinctada margaritifera* sont en cours. Elles permettront de tester, au moins pour les bivalves cette deuxième hypothèse.

Il n'y a pas d'influence systématique de la dégradation à grande échelle de l'habitat sur l'effet de la dégradation à plus petite échelle. Chez les brachyours, l'hypothèse selon laquelle un biotope « corail vivant » dans l'habitat non dégradé a un succès de recrutement supérieur à

un biotope « corail vivant » dans l'habitat dégradé, est confirmée. Les anomoures, amphipodes et caridés montrent une interaction significative entre le biotope, la passe et l'habitat. Si l'on suit le même raisonnement pour l'effet de la passe. Ces larves seraient déposées passivement dans l'habitat non dégradé sous l'effet des courants entrants dans les passes où elles sont retrouvées majoritairement. Une fois dans l'habitat, elles s'orientent vers le biotope le plus attractif qui leur est apparemment favorable.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'effet des dégradations des récifs coralliens, caractérisées par le passage d'un écosystème dominé par le corail vivant à un écosystème dominé par les algues n'est pas ressenti chez tous les groupes taxonomiques étudiés. Certains taxons préfèrent s'installer et survivent dans des biotopes de sable, d'autres dans des biotopes morts, d'autres dans les biotopes vivants, et d'autres ne voient pas d'inconvénient à s'installer dans l'un des trois. De plus, l'effet de la dégradation n'est pas le même à différentes échelles temporelles et spatiales. Cette étude a permis de détecter l'influence des passes et montre que l'effet des dégradations à petite échelle n'est pas généralisable à l'ensemble d'un atoll. La théorie écologique prédit qu'un taxon généraliste est moins soumis à l'extinction en réponse à une perturbation de l'habitat que des taxons spécialistes Feary (2007). Testée chez les poissons, cette hypothèse serait intéressante à tester pour les invertébrés. Il serait intéressant à travers une bibliographie plus poussée de savoir quel est le statut « généraliste » ou « spécialiste » des taxons étudiés. Nous devons également comprendre par quoi est déterminé le potentiel attracteur d'un biotope dégradé et d'un biotope non dégradé. Ce sujet constitue le deuxième axe de recherche du projet dans lequel s'inscrit cette étude. Les gastropodes, chez qui nous avons observé de nombreux morphes, possèdent des régimes alimentaires variés: lithophages, corallivores, herbivores. Une amélioration des connaissances sur la détermination des larves permettant d'analyser le recrutement jusqu'à l'espèce pourrait être un plus pour détecter une différence biotope coralliens vivants et biotope mort avec recouvrement algal.

Cette étude fait partie de celles qui permettront de modéliser le recrutement des invertébrés à phase larvaire pélagique. Intégrer les phases pélagiques et benthiques ou les processus hydrodynamiques dans les modèles, est tout aussi important qu'intégrer l'effet des perturbations naturelles et anthropiques pour expliquer la dynamique de telles populations. Le recrutement étant une phase complexe du cycle biologique des invertébrés, son étude comporte de nombreux biais qu'il convient d'étudier pour les études à venir. Des expériences

comparatives entre deux ou trois modèles biologiques dont on connaît les traits d'histoire de vie permettraient une analyse plus fine du recrutement en fonction de l'habitat. Les barnacles, les amphipodes, les crabes ou encore certains gastropodes se prêteraient à de telles expériences.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDERSON M.J. & UNDERWOOD A.J., 1994 - Effects of substratum on the recruitment and development of an intertidal estuarine fouling assemblage, *Journ. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 184: 217-236.

AUGUSTIN D., RICHARD G., SALVAT B., 1999 - Long-term variation in mollusc assemblages on a coral reef, Moorea, French Polynesia, *Coral Reefs*, 18 : 293-296.

BATTISTINI R, BOURROUILH F.,CHEVALIER J., COUDRAY J., DENIZOT M., FAURE G, FISHER J, GUILCHER A, HARMELIN-VIVIEN M, JAUBERT J, LABOREL J, MASSE J, MAUGÉ L, MONTAGGIONI L., PEYROT-CLAUSADE M., PICHON M., PLANTE R, PLAZIAT J., PLESSIS Y., RICHARD G., SALVAT B., THOMASSIN BA, VASSEUR P & WAYDERT P., 1975 – Eléments de terminologie récifale indopacifique. *Téthys*, 7: 1-111.

BELLWOOD D.R., HUGHES T.P., FOLKE C. & NYSTRÖM M., 2004 - Confronting the coral reef crisis *Nature*, 24: 429.

BROWN B.E., 1997 - Coral bleaching: causes and consequences, *Coral Reefs*, 16, Suppl.: 129-138.

BYERS J.E., 2002 - Impact of non-indigenous species on natives enhanced by anthropogenic alteration of selection regimes, *Oik.*, 98: 449-458.

CAIRNS J., JR., CROSSMAN J.S., 1974 – A comparative study between two different artificial substrat samplers and regular sampling techniques. *Hydrob.*, 44: 517-522.

CALEY M.J., CARR M.H., HIXON M.A., HUGUES T.P., JONES G.P. & MENGE B.A., 1996. - Recruitment and the local dynamics of open marine populations, *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 27: 477-500.

CATTERALL C.P., IAN R., POINER C., O'BRIEN J.†, CONNELL J.H., HUGHES T.P. & WALLACE C.C., Long-term population dynamics of a coral reef gastropod and responses to disturbance, 1997 - A 30-year study of coral abundance, recruitment, and disturbance at several scales in space and time, *Ecol. Monogr.*, 67: 461-488.

CHESSON P., 1998 - Recruitment limitation: A theoretical perspective. *Austr. Journ. of ecol.*, 3: 234-240.

CRISP D.J., 1955 – The behaviour of barnacle cyprids in relation to water movement over a surface. *Journ. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 32: 569-590.

DE PAUW N., LAMBERT V., VAN KENHOVE A. & BIJ DE VAATE A., 2004 - Performance of two artificial substrate samplers for macroinvertebrates in biological monitoring of large and deep rivers and canals in Belgium and the Netherland, *Env. Monit. Ass.*, 30: 25-47.

FEARY D.A., 2007 - The influence of resource specialization on the response of reef fishes to coral disturbance, *Mar. Biol.*, 153: 153-161.

GAPASIN R.S.J. & POLOHAN B.B., 2004 - Induction of larval settlement and metamorphosis in the donkey-ear abalone *Haliotis asinina* by chemical cues, *Hydrobio.*, 51(3): 99- 17.

HARLEY D.G., RANDALL A., HUGHES T.P., KRISTIN M. HULTGREN, BENJAMIN G. MINER, CASCADE J. B. SORTE, CAROL S. THORNBERRY, LAURA F. RODRIGUEZ, LARS TOMANEK & SUSAN L. WILLIAMS, 2006 - The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecol. Let.*, 9: 228-241.

HUGGETT M.J., DE NYS R., WILLIAMSON J.E., HEASMAN M., STEINBERG P.D., - 2004. Settlement of larval backlip abalone, *Haliotis rubra*, in response to green and red macroalgae. *Mar. Biol.*, 147: 1155-1163.

HUGHES T.P., BAIRD A.H., BELLWOOD D.R., CARD M., CONNOLLY S.R., FOLKE C., GROSBERG R., HOEGH-GULDBERG O., JACKSON J.B.C., KLEYPAS J., LOUGH J.M., MARSHALL P., NYSTROM M., PALUMBI S.R., PANDOLFI J.M., ROSEN B., ROUGHGARDEN J., 2003 - Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs, *Sci.*, 301: 929-933.

JEFFERY C.J., 2002 – New settlers and recruits do not enhance settlement of a gregarious intertidal barnacle in New South Wales. *Journ. Exp. Mar. Biol. Eco.* 275: 131-146.

LECCHINI D., GALZIN R., 2006 - synthèse sur l'influence des processus pélagiques et benthiques, biotiques et abiotiques, stochastiques et déterministes, sur la dynamique de l'auto-recrutement des poissons coralliens.

LO-YAT A., 2002 - Variabilité temporelle de la colonisation par les larves de poissons de l'atoll de Rangiroa (Tuamotu, Polynésie Française) et utilisation de l'outil « otholite » de ces larves.

LOYA, 1978, - Plotless and transect methods. In: D.R. Stoddart and R.E. Johannes, Editors, *Cor. Re.: Res. Meth.*, UNESCO, Paris (1978), pp. 197-217.

MENGE B.A., 2000 - Recruitment vs post-recruitment processes as determinants of barnacle population abundance, *Ecol. Monogr.*, 70: 265-288.

MICHEL A., COLIN C., DESROSIERES R. & OUDOT C., 1971 - Observation sur l'hydrologie et le plancton des abords et de la zone des passes de l'atoll de Rangiroa (archipel des Tuamotu, océan pacifique central), *Ser. Océanogr.*, Vol IX, n°3: 375-402.

MUMBY P.J., CHISHOLM J.R.M., EDWARDS A.J., CLARK C.D., ROARK E.B., ANDREFOUET S., JAUBERT J., 2001 - Unprecedented bleaching-induced mortality in *Porites* spp. At Rangiroa Atoll, French Polynesia, *Mar. Biol.*, 139: 183-189.

NYSTRÖM M., FOLKE C. & MOBERG F., 2000 - Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment, *Trends Ecol. Evol.*, 15: 413-17.

NYSTRÖM M., FOLKE C., 2001 - Spatial Resilience of Coral Reefs, *Ecosys.*, 4: 406-417.

PAULA J., SILVA I. C., FRANCISCO S.M., & FLORES A.A.V., 2006 – The use of artificial benthic collectors for assessment of spatial patterns of settlement of megalopae of *carcinus maenas* (L.) (Brachyura: Portunidae) in the lower Mira Estuary, Portugal. *Dev. Hydro.*, 184 : 69-77.

RODRIGUEZ S.R., OJEDA F.P., INESTROSA N.C., 1993. Settlement of benthic marine invertebrates, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 97: 193-207.

THOMPSON L. A, 2008 - R (and S-PLUS) Manual to Accompany Agresti's *Categorical Data Analysis*, 2nd edition.

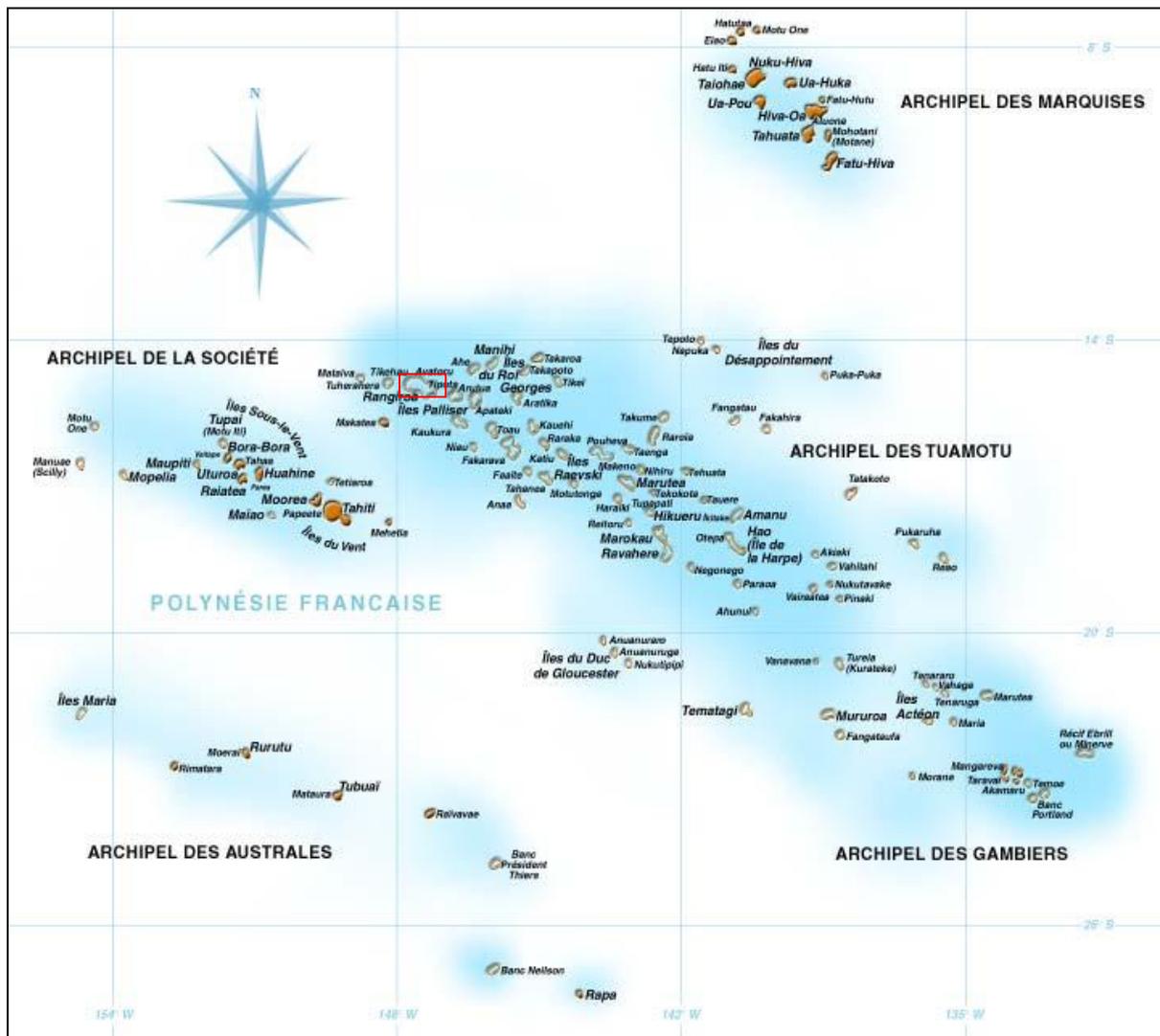
TODD C.D., 1998 - Larval supply and recruitment of benthic invertebrates : do larvae always disperse as much as we believe. *Hydrob.*, 375/376: 1-21.

TRUSH S.F., PRIDMORE R.D., BELL R.G., CUMMINGS V.J., DAYTON P.K., FORD R., GRANT J., GREEN M.O., HEWITT J.E., HINES A.H., HUME T.M., LAWRIE S.M., LEGENDRE P., MC ARDLE B.H., MORISSEY D., SCHNEIDER D.C., TURNER S.J., WALTERS R.A., WITHLATCH R.B., WILKINSON M.R. – 1997, The sandflat habitat : scaling from experiments to conclusions., 216: 1-9.

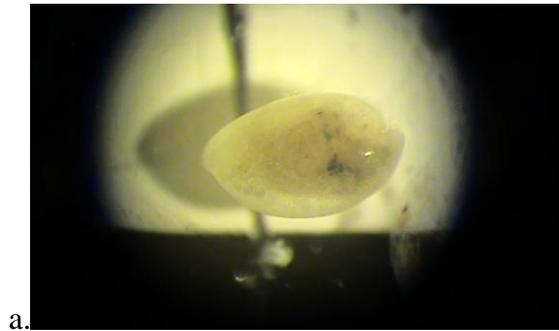
TYRREL C. & BYERS J.E., 2006 - Do artificial substrates favor non indigenous fouling species over native species, *Journ. Exp. Mar. Biol. Eco.*, 342-1: 54-60.

WATSON & AL., 2004 - Temporal and spatial components of variability in benthic recruitment, a 5-year temperate example. *Journ. Exp. Mar. Bio. Eco.*

ANNEXES



Annexe 1: carte de la Polynésie française. La Polynésie Française est constituée de 118 îles (îles hautes et atolls), regroupées en cinq archipels : Marquises, Tuamotu, Gambiers, Société, Australes. Ces îles s'étendent sur une surface de 5,5 millions de km² dans le Pacifique central sud. Les terres émergées ne représentent pourtant que 4.000 km². L'atoll de Rangiroa (encadré en rouge) est situé au nord ouest de l'archipel des Tuamotus (www.hoceane.com).



a.



b.



c.

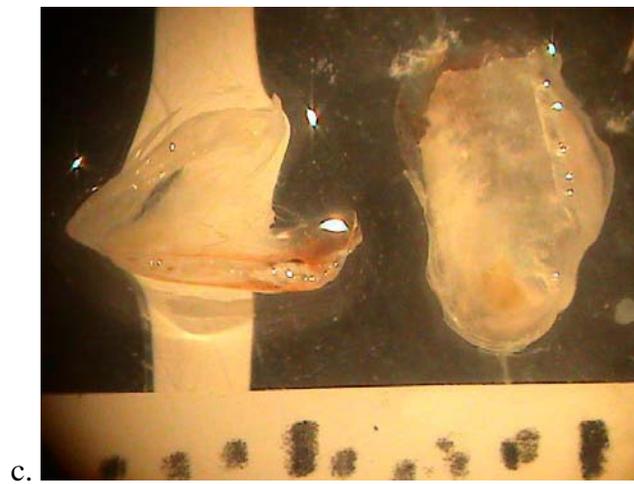
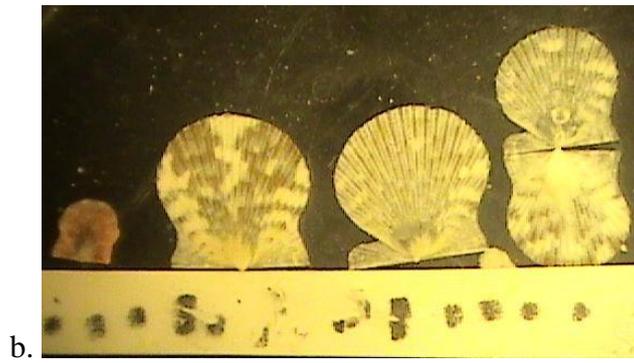
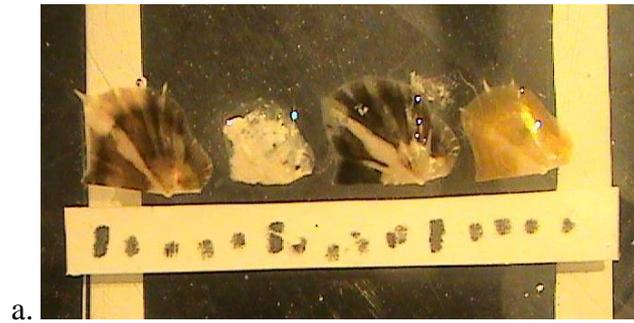


d.

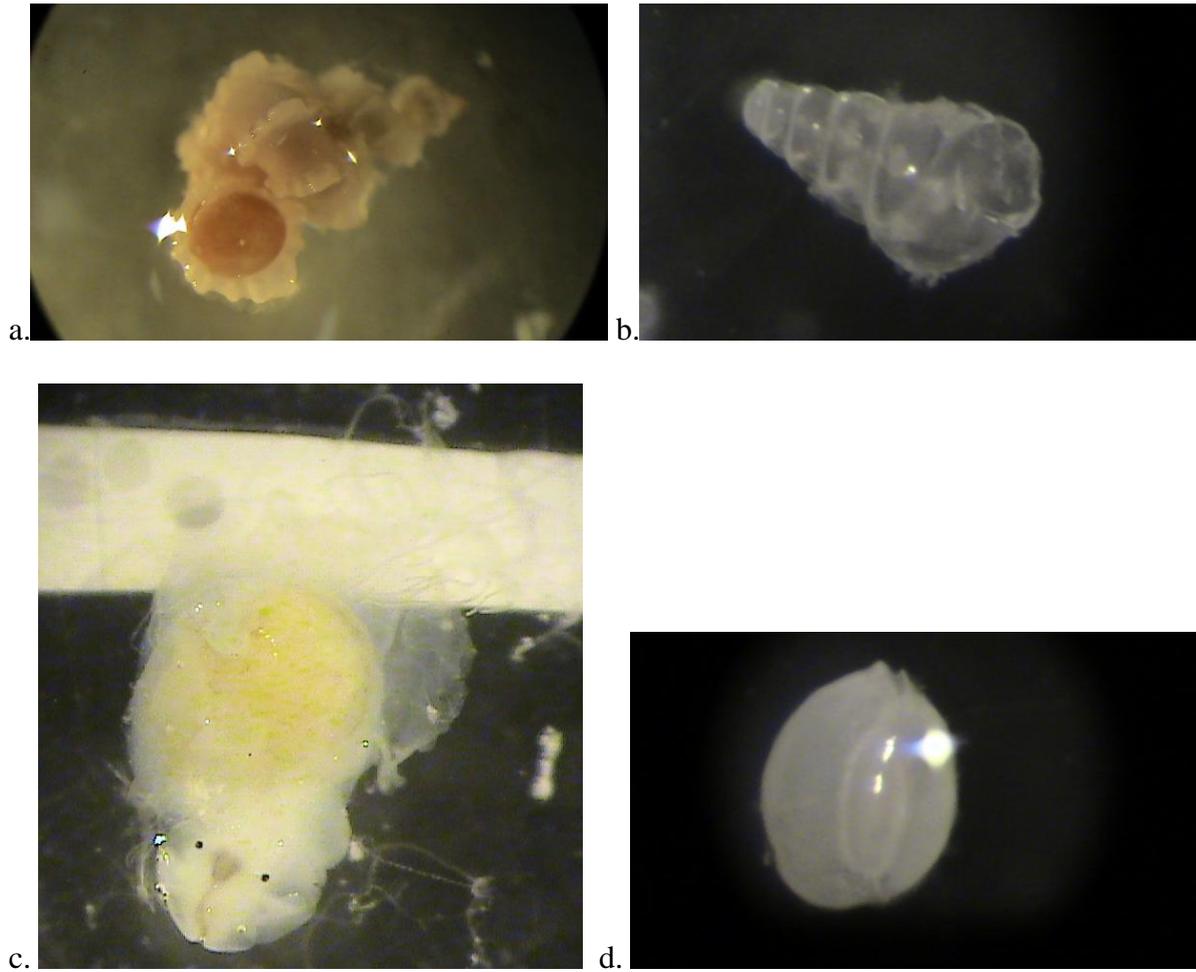


e.

Annexe 2: Photos de larves de crustacea : **a.** Maxillopoda cirripeda **b.** amphipoda **c.** decapoda caridea **d.** decapoda brachyura **e.** decapoda anomoura.



Annexe 3: Photos de larves de bivalvia : **a. ostreidae b. pectinidae c. crassostrea.**



Annexe 4: photos de larves de gastropoda : **a. et b. prosobranchia, c. opistobranchia nudibranchia, d. opistobranchia.**