École Pratique des Hautes Études

Master 2 « Biologie Santé Ecologie »

Spécialité Environnement et Gestion de la Biodiversité

Axe Ecosystèmes Coralliens

Centre de Recherche Insulaire et Observatoire de l'Environnement – USR 3278 CNRS-EPHE
BP 1013, Papetoai, Moorea, Polynésie Française

Caractérisation de l'impact anthropique sur le littoral de Moorea

Mémoire de stage réalisé par

Catherine NINANE

Année 2014-2015

Tuteur scientifique : **Tamatoa Bambridge**

Table des matières

RESUME **1**

ABSTRACT **1**

I. INTRODUCTION **2**

A. CONTEXTE DE L'ETUDE **2**

1) LE PROJET INTEGRE 2

2) LIEU DE L'ETUDE : MOOREA 2

B. LES RECIFS CORALLIENS **2**

1) GENERALITES 2

2) UN EQUILIBRE FRAGILE : CAUSES DE DEGRADATION 3

C. OBJECTIFS DE L'ETUDE **3**

1) CARACTERISATION DE L'IMPACT DU A L'URBANISATION DES COTES 4

2) CARACTERISATION DE L'IMPACT DU AU TOURISME 5

3) CARACTERISATION DE L'IMPACT DU A L'AGRICULTURE ET A L'ELEVAGE 5

II. MATERIEL ET METHODES **6**

A. ELABORATION DE LA BASE DE DONNEES **6**

B. CARTOGRAPHIE ET DEFINITION DES ZONES POUR LES DONNEES DISPONIBLES A L'ECHELLE DU DISTRICT : DENSITE DE POPULATION ET REJET DES EAUX USEES **6**

1) DEFINITION DES ZONES 6

2) DEFINITION DE LA REPARTITION DE LA POPULATION 7

3) DEFINITION DES ZONES IMPACTEES PAR LE REJET DES EAUX USEES 7

C. DEFINITION DES ZONES IMPACTEES PAR LA NATURE DU TRAIT DE COTE **8**

D. GEOLOCALISATION ET CARTOGRAPHIE DES HOTELS ET PENSIONS DE FAMILLE **8**

E. CARTOGRAPHIE ET DEFINITION DES ZONES IMPACTEES PAR LES ACTIVITES AGRICOLES **8**

1) DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS 8

2) DEFINITION DES ZONES IMPACTEES PAR LES CULTURES 9

3) DEFINITION DES ZONES IMPACTEES PAR LES ELEVAGES 9

F. MISE EN COMMUN DES DONNEES ET REALISATION DE LA CARTE GLOBALE **9**

III. RESULTATS **9**

A. CARTE DE DENSITE DE POPULATION **9**

B. CARTE DE L'IMPACT DU AUX REJETS DES EAUX USEES **10**

C. CARTE DE L'IMPACT LIE A LA NATURE DU TRAIT DE COTE **11**

D. CARTE DES ETABLISSEMENTS TOURISTIQUES **13**

E. CARTE DE L'IMPACT LIE AUX CULTURES AGRICOLES **14**

F. CARTE DE L'IMPACT LIE AUX ELEVAGES **15**

G. CARTE GLOBALE DES ZONES IMPACTEES PAR L'ANTHROPISATION DE L'ILE 16

IV. DISCUSSION 17

A. ACTIVITES RECREATIVES DANS LE LAGON 17

B. ACTIVITES TERRESTRES 18

C. IMPACT GLOBAL 19

D. COMPARAISON AVEC 1988 19

V. CONCLUSION 20

VI. BIBLIOGRAPHIE 22

VII. ANNEXES 24

ANNEXE 1 : LISTE DES ACRONYMES 24

ANNEXE 2 : TRAIT DE COTE DE MOOREA (BENET, 2010) 24

ANNEXE 3 : LISTE DES ETABLISSEMENTS TOURISTIQUES SELON LE SERVICE DU TOURISME DE L'ISPF (LISTE 2015) 25

ANNEXE 4 : CARTE DE MOOREA AVEC LES COUCHES DE COURBES DE NIVEAU ET DE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU SAU 26

ANNEXE 5 : CARTE DE LA LOCALISATION DES SECTEURS DU RECIF SOUS EFFETS ANTHROPIQUES EN 1988 (GALZIN, 1990) 27

Résumé

Les écosystèmes coralliens sont des environnements complexes et fragiles qui subissent de nombreuses pressions naturelles et anthropiques. Avec un tourisme très présent et une population croissante sur les côtes, le lagon de Moorea n'est pas épargné. Cette étude a pour objectif d'identifier les principaux facteurs (menant à des dégradations physiques ou des apports de polluants et de sédiments) pouvant impacter le lagon de Moorea et de caractériser l'importance de leur impact tout autour de l'île. Il en ressort d'une part que le tourisme est fortement développé le long des côtes nord et ouest et presque absent sur la côte est, exposant le lagon à des dégradations physiques des coraux. D'autre part, l'anthropisation des côtes et l'utilisation des terres pour l'agriculture fait ressortir les grandes zones d'habitation (réparties tout autour de l'île) à proximité desquelles le recrutement et le développement larvaire (poissons et coraux) ainsi que la couverture corallienne et l'abondance de poissons récifaux sont menacés.

Mots-clés : Anthropisation, Moorea, impact, récifs coralliens

Abstract

Reef ecosystems are complex and fragile environments that have to deal with anthropogenic and natural threats. On the island of Moorea, tourism is well developed and population along the coast is increasing, causing an impact on the lagoon as well. The purpose of this internship is to study the main threats (physical degradations as well as pollutant and sediment inputs) to the lagoon and to characterize which regions are the most impacted. Tourism and aquatic activities impact the northern and the western coasts but are absent from the eastern coast. Anthropogenic development and the use of land for agriculture and farming threaten the zones around urban areas with pesticides and terrigenous sediment inputs. These inputs are known to be responsible for a decrease in larval recruitment and development as well as causing coral cover loss, with a decrease in fish abundance as a consequence.

Key-words : anthropogenic development, Moorea, impact, coral reef

I. Introduction

A. Contexte de l'étude

1) Le projet INTEGRE

Le projet INTEGRE ou « Initiative des Territoires pour la Gestion Régionale de l'Environnement » est un projet financé par l'Union Européenne. Il a pour objectif la gestion durable de l'environnement et sa valorisation grâce à une gestion intégrée des zones côtières (GIZC) impliquant les populations locales directement concernées par cet environnement. Le projet se réparti sur 9 sites pilotes des PTOM: 2 à Wallis et Futuna, 3 en Polynésie française, 3 en Nouvelle Calédonie et 1 sur l'ensemble des îles Pitcairn (CPS, 2014).

Ce stage s'inscrit dans le cadre du projet INTEGRE mis en place sur l'un des trois sites de Polynésie française : le site d'Opunohu à Moorea. A cet endroit, les objectifs du projet sont l'amélioration de la qualité environnementale et paysagère du site, le développement d'activités écotouristiques et la participation à la mise en place d'une gouvernance propice au développement d'un tourisme durable.

2) Lieu de l'étude : Moorea

L'île de Moorea est l'une des 118 îles de Polynésie française situées dans l'océan Pacifique. Elle fait partie des îles du vent au sein de l'archipel de la société et se situe à 25km au nord-ouest de Tahiti. C'est une île haute de 134km^2 de superficie pour 70km de linéaire de côte. Le lagon a une largeur de 500 à 1500m et est interrompu par 12 passes. Le nord de l'île est découpé par deux grandes baies : Opunohu et Cook (Aubanel, 1993).

D'un point de vue administratif, Moorea fait partie de la commune de Moorea-Maiao et est découpée en 5 communes associées (comas), 7 quartiers et en 85 districts (SAU).

B. Les récifs coralliens

1) Généralités

Alors qu'ils ne représentent que 0,2% de la surface des océans, les récifs coralliens équivalent à environs 25% de la biodiversité marine et constituent l'habitat d'un tiers des poissons. De plus, environs 500 millions de personnes dépendent des récifs coralliens en tant que lieu de vie et source de nourriture tandis que d'un point de vue économique, ces environnements rapportent en moyenne 13 200$/ha.an.

Ces nombreux chiffres illustrent l'importance des récifs coralliens qui sont néanmoins des environnements très complexes. Les scléractiniaires sont les constituants majoritaires de la

structure carbonatée des récifs, aidés de certaines algues, échinodermes ou encore crustacés et un subtil équilibre entre les phénomènes de construction d'une part et de dissolution/destruction des carbonates d'autre part (notamment par les poissons perroquets) permet le maintient et le développement de ces environnements (Chabanet *et al*., 2005).

2) Un équilibre fragile : causes de dégradation

Cet écosystème régi par un équilibre fragile subit de nombreuses pressions négatives qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique (Lecchini *et al*., 2009). Ces pressions peuvent dès lors aussi bien avoir un impact sur les coraux avec des répercutions sur les organismes qui en dépendent que sur les organismes associés aux récifs directement.

i. Naturelles

De nombreuses causes de dégradation des récifs coralliens sont tout d'abord d'origine naturelle. La prolifération d'*Acanthaster planci*, les cyclones, la montée des eaux, l'acidification des océans ou encore l'augmentation de la température sont autant de facteurs provoquant la dégradation des colonies coralliennes (Mumby et Steneck, 2008). La plupart de ces facteurs sont directement liés ou bien accentués par le réchauffement climatique.

ii. Anthropiques

Les principales pressions anthropiques que subissent les récifs coralliens sont quant à elles dues au développement des côtes (incluant l'augmentation des populations et leurs besoins), aux activités touristiques, à la pêche et la collecte d'organismes et aux essais nucléaires (Chabanet *et al*., 2005). L'extraction de corail et les méthodes de pêche destructives font également partie des pratiques ayant un impact négatif sur les récifs (Brown, 1988 ; Pet-Soede et Erdmann, 1998).

C. Objectifs de l'étude

Au vu du grand nombre de facteurs pouvant impacter un environnement lagonaire, le choix a été fait de se consacrer aux facteurs anthropiques correspondant au développement des populations sur l'île et l'utilisation des terres ainsi qu'au tourisme. Ces facteurs incluent donc la modification du trait de côte, l'anthropisation des côtes avec le rejet des eaux usées, le tourisme ainsi que l'agriculture et l'élevage. Le but de cette étude est donc de caractériser l'impact des activités anthropiques sur le lagon de Moorea tout comme cela avait déjà été fait il y a 27 ans (Gabrie *et al*., 1988) (Annexe 1). Dans un premier temps, chacun de ces facteurs vont donc être étudiés séparément afin d'établir des indices illustrant les zones du récifs qui sont affectées par ceux-ci et une carte globale va être établie dans un deuxième temps afin de résumer ces impacts.

1) Caractérisation de l'impact dû à l'urbanisation des côtes

i. Modification du trait de côte

Il a été démontré que la modification du trait de côte par des murets, digues, remblais, etc. avait un impact négatif sur le pourcentage de couverture corallienne (Lecchini *et al*., 2009 ; Aubanel *et al*., 1999). Une autre étude a quant à elle démontré que cette modification impliquait tout de même la création de nouveaux habitats avec un effet positif sur le recrutement de poissons coralliens, et ce à petite échelle directement au niveau des murets (Lecchini *et al*., 2009). Néanmoins, à plus grande échelle lorsque l'on s'éloigne de ces murets, la réduction de la couverture corallienne pourrait avoir un impact négatif sur l'abondance des poissons qui sont directement liés aux récifs coralliens (Feary *et al*., 2007).

Au vu de ces informations, la modification du trait de côte semble être un facteur important à étudier afin de voir si le taux de modification et son possible impact sur l'environnement corallien est homogène sur tout le pourtour de l'île ou si des régions sont plus touchées que d'autres.

Benet (2010) ayant déjà caractérisé la ligne de rivage de Moorea (Annexe 2), ses données vont permettre d'étudier ce facteur. Elle a mis en évidence la modification de plus de 50% du rivage de Moorea par l'homme soit une augmentation non négligeable par rapport à 1999, période à laquelle le rivage était modifié à 33% (Aubanel *et al*., 1999).

ii. Densité de population et rejets des eaux usées

Même si le taux d'accroissement de la population se fait de plus en plus faible en Polynésie (avec une population de 269 000 habitants à la date du 1er janvier 2013), il existait toujours une augmentation de 0,6% entre les années 2012 et 2013 (ISPF - Bilan démographique 2012). La présence de populations sur les côtes de l'île implique un impact négatif sur le lagon de part les activités domestiques comprenant notamment le rejet des eaux usées.

Il existe deux grands types d'assainissement des eaux usées: l'assainissement autonome (individuel ou collectif) et l'assainissement collectif public (développé à partir de 1993 en Polynésie française). Le choix pour l'un ou l'autre type se fait en fonction de différents facteurs dépendant du lieu de l'habitation. A l'heure actuelle, tout nouveau permis de construire nécessite un système d'assainissement autonome (www.environnement.pf). Néanmoins, il existe encore certaines maisons qui ne possèdent pas de système d'assainissement. Les eaux usées de ces maisons sont alors rejetées à même le sol sans aucune forme de traitement, causant un impact sur l'environnement lagonaire avec eutrophisation et

rejet de produits chimiques. C'est pourquoi la répartition de ces rejets au sol a également été prise en compte dans cette étude.

2) Caractérisation de l'impact dû au tourisme

Alors que de 2010 à 2012 la fréquentation touristique avait augmenté d'année en année, l'année 2013 a fait face à une légère diminution de 2,7% avec une fréquentation de 164 393 touristes. Cette diminution touche principalement le tourisme terrestre alors que les croisières sont en hausse de 6,9% (ISPF - Bilan du tourisme 2013). A Moorea, les activités nautiques liées au lagon sont nombreuses telles que la pirogue, le paddle, le kitesurf, le ski nautique, le jet ski, le surf, la plongée sous marine ou encore le snorkeling (www.tahiti.tourisme.fr). Or à petite échelle, il a déjà été démontré que le snorkeling, la plongée ou encore l'ancrage des bateaux ont des effets destructeurs sur les colonies de coraux (Chadwick-Furman, 1996 ; Chabanet *et al*., 2005). Identifier les zones où le tourisme est le plus développé semble donc important pour caractériser l'impact de ces activités sur le lagon de Moorea.

3) Caractérisation de l'impact dû à l'agriculture et à l'élevage

A Moorea, l'utilisation de pesticides est très importante et leur bioaccumulation chez des organismes clés pour l'environnement et pour la consommation chez les populations locales a été démontrée tout comme ailleurs en Polynésie française. En effet, comme dans les autres régions tropicales où la saison des pluies est importante, les eaux des hauteurs ruissellent et aboutissent dans le lagon chargées en apports terrigènes et pesticides accumulés& en chemin. Ces pesticides sont néfastes pour les coraux adultes, pour la survie des juvéniles de poissons coralliens et pour le recrutement des larves de poissons (Lecchini, 2014 ; Roche *et al*., 2011).

L'utilisation des pesticides n'est pas l'unique problématique liée à l'agriculture. La culture d'ananas par exemple qui est très présente à Moorea est connue pour provoquer un important apport terrigène par érosion en cas de fortes pluies lorsque le schéma des plantations et des pistes d'accès n'est pas adapté (Gonnot et Binet, 2004). Dès lors, ces apports terrigènes peuvent impacter le lagon au travers de différents processus comme l'augmentation de la turbidité qui empêche les zooxanthelles de réaliser la photosynthèse, la diminution du taux de survie et de recrutement des larves de coraux ou encore la diminution du taux de calcification au profit du développement de macro-algues (Fabricius, 2005).

Au sein des pesticides on retrouve également les insecticides qui sont utilisés dans les élevages pour traiter les animaux et qui peuvent donc être néfastes pour le récif. Au niveau des élevages il faut également relever la pollution importante que représentent les eaux usées des porcheries pour le récif (Gabrie, 1988).

La répartition des terres agricoles et des élevages sur Moorea est donc le dernier facteur pris en compte dans cette étude.

II. Matériel et méthodes

A. Elaboration de la base de données

Le traitement des données dans le cadre de cette étude allant s'effectuer entièrement par des méthodes SIG grâce au programme QGIS, il a tout d'abord été nécessaire de récolter des couches vecteur et raster servant de base à ce traitement. Dès lors, une vue satellite de Moorea datant de 2014 (couche raster) de l'IGN nous a été procurée par le SAU ainsi que les shapefiles reprenant les découpages administratifs des communes associées et districts.

Des prises de contact avec différents services administratifs de Tahiti et Moorea ainsi que des recherches bibliographiques ont permis de récupérer les données nécessaires à l'étude et d'établir la marche à suivre pour mettre en place les indicateurs. Le Tableau ci-dessous résume cette étape (Tab. 1).

Tableau 1: Tableau récapitulatif des données récoltées

Données	Provenance	Disponibilité
Bassins versants	SAU	A tracer et géoréférencer sur base des courbes de niveau et des axes des cours d'eau
Population	ISPF	Données brutes disponibles par district (recensement de la population de 2012)
Rejet des eaux usées	ISPF	Données brutes disponibles par district (recensement de la population de 2012)
Hôtels et pensions	ISPF	A géoréférencer sur base de la liste officielle de 2015 du service du tourisme de l'ISPF
Nature du trait de côte	Benet, 2010	A géoréférencer sur base de la version pdf de la carte
Parcelles agricoles	SDR	Couche SIG disponible (RGA 2012)
Elevages	SDR	Couche SIG disponible (RGA 2012)

Pour l'ensemble des données, le choix a été fait d'effectuer la discrétisation des classes pour chaque indicateur par la méthode des ruptures naturelles (Jenks) qui permet d'avoir des classes les plus homogènes possibles tout en maximisant l'écart des valeurs entre les classes.

B. Cartographie et définition des zones pour les données disponibles à l'échelle du district : densité de population et rejet des eaux usées

1) Définition des zones

Au vu de la disposition des districts autour des baies et de la superposition de certains d'entre eux dans le sens de la pente (montagne-lagon) sur le pourtour de l'île, des zones rassemblant

de 1 à 10 districts ont du être établies (35 en tout) préalablement. Chacune des zones comprend dès lors des groupes d'habitations dont l'exploitation impacte une certaine portion définie du lagon (Fig. 1).

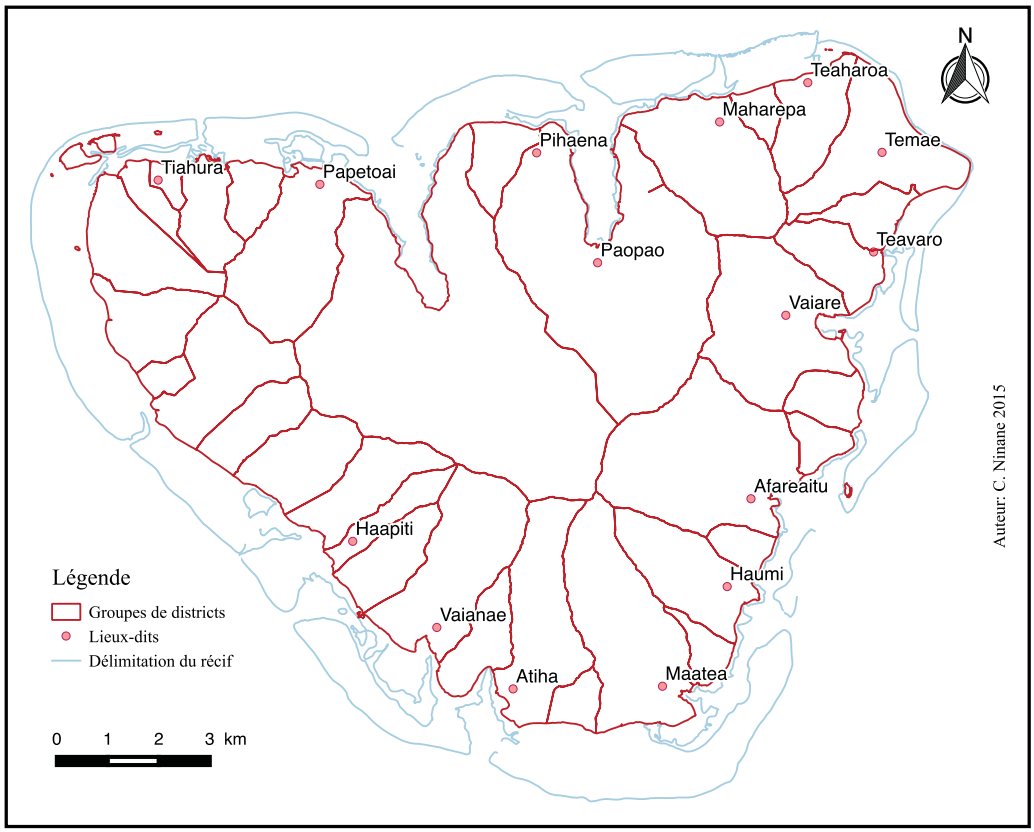


Figure 1: Carte des groupes de districts utilisés pour traiter les données du recensement de la population de l'ISPF de 2012

Une nouvelle couche vecteur correspondant à ces portions a donc été réalisée pour permettre la mise en place des indicateurs relatifs à ces données sur tout le pourtour du lagon. Il est important de noter que la grande majorité des habitations se trouvent proches de la côte et que l'on considère dès lors que chacune impacte le lagon de la même manière.

2) Définition de la répartition de la population

Sur base du zonage établi précédemment et des données du recensement de la population de 2012 fournies par l'ISPF concernant le nombre d'habitants par district, une carte illustrant la densité de population a pu être établie. Pour ce faire, le nombre d'habitants pour une zone a été reporté sur le nombre de km de côte concernés par la zone tout comme Gabrie *et al*. dans leur étude de 1988. Ceci permet d'avoir une estimation de l'impact dû aux activités domestiques sur le lagon illustré par un indicateur faible, moyen ou élevé.

3) Définition des zones impactées par le rejet des eaux usées

En complément à la carte précédente, les données de l'ISPF concernant le traitement des eaux usées dans les habitations ont également été exploitées. Pour chaque district, le recensement indique le nombre d'habitations reliées au réseau collectif, possédant une fosse individuelle ou dont les eaux usées sont rejetées à même le sol. Ces mêmes données sont également disponibles en tenant compte du nombre d'habitants dans chaque habitation et permettant donc de caractériser l'impact de chaque individu. Considérant que les eaux rejetées à même le sol sont plus néfastes pour le lagon car non traitées en aval, un indicateur basé sur le pourcentage d'habitants dans cette situation par rapport au nombre total d'habitants pour une zone donnée a été mis en place révélant un impact faible, moyen ou fort.

C. Définition des zones impactées par la nature du trait de côte

En 2010, Benet A. avait identifié la nature du trait de côte sur tout le pourtour de Moorea selon 11 catégories de substrat. Ne possédant que la version PDF de sa carte, un traitement par Photoshop suivi d'un géoréférencement sur QGIS ont été effectués afin de créer une nouvelle couche raster. Cette couche a ensuite servi de base pour créer le shapefile avec les données simplifiées distinguant les zones de la ligne de rivage anthropisées (tels que les remblais, murets, etc.) de celles qui sont naturelles (telles que les plages, les mangroves, les zones de végétation). Pour chaque zone définie au point B.1., le pourcentage d'anthropisation (modification) du littoral a pu ensuite être calculé.

D. Géolocalisation et cartographie des hôtels et pensions de famille

La liste officielle de 2015 des hôtels et pensions de famille a été fournie par le service du tourisme de l'ISPF (Annexe 3). 10 hôtels et résidences de tourisme international ainsi que 43 établissements relevant de la petite hôtellerie familiale et du logement chez l'habitant y sont référencés ainsi que le nombre d'unités et leur capacité. Une prospection sur le terrain a permis de géoréférencer précisément la localisation des 10 hôtels et de 32 pensions et d'établir un shapefile tandis que les 11 pensions restantes ont été positionnées de façon moins précise sur base des descriptions trouvées sur internet.

E. Cartographie et définition des zones impactées par les activités agricoles

1) Délimitation des bassins versants

La délimitation des bassins versants (ou vallées) du sommet des montagnes jusqu'à la ligne de rivage a été établie et tracée sur QGIS sur base des shapefiles des courbes de niveau et des

axes des cours d'eau fournies par le SAU (Annexe 4). Une seconde délimitation de zones (38) dans le lagon a ensuite été établie sur cette base afin de pouvoir traiter les données agricoles.

2) Définition des zones impactées par les cultures

Un shapefile reprenant les parcelles agricoles de Moorea a été fournie par le SDR. Pour chaque parcelle la superficie, la culture (espèce) et le type de culture (vivrière, maraîchère, fruitière etc.) sont connues. Cependant, au vu du manque d'informations sur le sujet et la difficulté à différencier l'impact de chaque type de culture sur l'environnement, seule la superficie totale des cultures pour chaque zone a été prise en compte pour mettre en place l'indicateur. Celui-ci a donc été établi en calculant pour chaque zone le rapport de la superficie totale des parcelles dans le bassin versant sur le nombre de km de côte de la zone.

3) Définition des zones impactées par les élevages

Tout comme pour les cultures, un shapefile reprenant la localisation des élevages de Moorea a été fournie par le SDR. Pour chaque élevage seul le type d'animaux était disponible sans aucune information concernant l'effectif de l'élevage. Le nombre d'élevages par bassin versant reporté sur le nombre de kilomètres de côte définit donc un impact faible, moyen ou élevé des élevages pour chacune des zones.

F. Mise en commun des données et réalisation de la carte globale

Afin de mettre en place un indicateur global reprenant les précédents (densité de population, rejets des eaux usées à même le sol, cultures et élevages et modification de la ligne de rivage), une dernière couche vecteur recoupant les zones du lagon établies sur bases des districts et des bassins versants et comprenant 71 zones a été réalisée. Pour chaque indicateur et pour chaque zone, la valeur 1 a ensuite été attribuée aux indices faibles, 2 aux indices moyens et 3 aux indices forts. La moyenne de tous ces indices pour chaque zone a dès lors donné de nouvelles valeurs qui, après discrétisation de classe par la méthode des ruptures naturelles de Jenks, ont abouti à l'indicateur global. Les établissements touristiques n'ayant pas pu être intégrés à cet indicateur, la carte finale superpose ces derniers à l'indice global.

III. Résultats

A. Carte de densité de population

La carte ci-dessous (Fig. 2) illustre la pression anthropique potentielle causée par la densité de population au km et donc par les activités domestiques. La moitié est de l'île apparaît comme la zone la plus densément peuplée avec une pression moyenne à forte (avec les zones d'habitations de Vaiare, Afareaitu et la zone s'étendant de Pihaena à Maharepa) tandis que la

moitié ouest comprend plusieurs zones de pression anthropique moyenne à faible (dont la pointe nord ouest de l'île correspondant à la plus vaste zone avec une pression faible) avec trois zones de pression forte correspondant aux zones d'habitations de Papetoai, Haapiti et la zone au nord de Haapiti.

Figure 2: Indicateur illustrant la pression anthropique sur le lagon de Moorea selon le nombre d'habitants par km de côte

B. Carte de l'impact dû aux rejets des eaux usées

Lorsque l'on s'intéresse aux rejets des eaux usées (Fig. 3), trois des zones apparaissant précédemment comme étant sous forte pression anthropique possèdent un indice d'impact de rejet des eaux usées au sol fort: une sur la côte ouest et deux sur la côte est correspondant aux villages de Vaiare et d'Afareaitu (avec un maximum de 11,66% des habitants rejetant leurs eaux usées à même le sol). Le reste de l'île est quant à lui sous pression faible à moyenne.

Figure 3: Indicateur mettant en évidence l'impact des eaux usées rejetées à même le sol prenant en compte le nombre de rejets par km de côte

C. Carte de l'impact lié à la nature du trait de côte

La carte ci-dessous (Fig. 4) correspond à la numérisation et simplification des données de Benet (2010) concernant la nature du trait de côte de Moorea : naturel (jaune) ou anthropisé (rose). On peut observer que la plus large zone encore naturelle se situe au niveau de la pointe nord est de l'île (Temae).

Figure 4: Carte mettant en évidence l'origine naturelle ou anthropique de la ligne de rivage de Moorea

Une fois la proportion de côte anthropisée calculée pour chaque zone, la carte suivante est obtenue (Fig. 5). Il en ressort dès lors que seules deux zones sont faiblement anthropisées avec moins de 25% du trait de côte modifiés (la zone s'étendant de part et d'autre de Temae et la zone de Haapiti). Le reste de la ligne de rivage est modifiée à au moins 25% dont de nombreux endroits modifiés à plus de 50%, et ce tout autour de l'île.

Figure 5: Indicateur d'anthropisation de la ligne de rivage de Moorea

D. Carte des établissements touristiques

Sur la carte ci-dessous (Fig. 6) sont répertoriés les différents hôtels et pensions de familles de Moorea. La taille du symbole dépend de la capacité des infrastructures avec un minimum de 3 et un maximum de 381. Il en ressort immédiatement que les gros complexes hôteliers sont présents sur toute la côte nord de l'île ainsi que certaines pensions de famille. La côte ouest est dominée par de nombreuses pensions de famille de faible capacité tandis que seules trois pensions sont présentes sur la côte est ainsi qu'un hôtel dans la partie nord.

Figure 6: Carte de Moorea répertoriant les différents établissements touristiques. ([A-J] : Hôtels et résidences de tourisme international, [1-43] : établissements relevant de la petite hôtellerie familiale et du logement chez l'habitant, symboles bleus : établissements géoréférencés précisément avec un GPS, symboles jaunes : établissements situés grâce à des informations récoltées sur internet, taille des symboles : capacité de l'établissement)

E. Carte de l'impact lié aux cultures agricoles

L'indice d'impact lié aux cultures (Fig. 7) nous indique que la zone potentiellement la plus fortement impactée concerne le récif à proximité de la baie de Cook, l'agriculture étant très développée dans la vallée de Paopao. C'est également le cas dans la vallée d'Opunohu de manière un peu moins prononcée (impact moyen) tout comme pour une grande partie de la côte ouest de l'île. Excepté pour la zone de Paopao, la majorité de la moitié est de l'île est faiblement impactée par les cultures : seules deux zones avec un impact moyen y sont à noter au niveau de Vaiare et dans le sud à Maatea. Lorsque l'on s'intéresse plus particulièrement aux cultures d'ananas, on observe qu'elles représentent 39% des surfaces agricoles de Moorea. Quant à leur répartition, il apparaît que la presque totalité de ces cultures se répartissent dans les vallées de Paopao et d'Opunohu tandis qu'une plus petite partie est également présente au niveau de Vaiare.

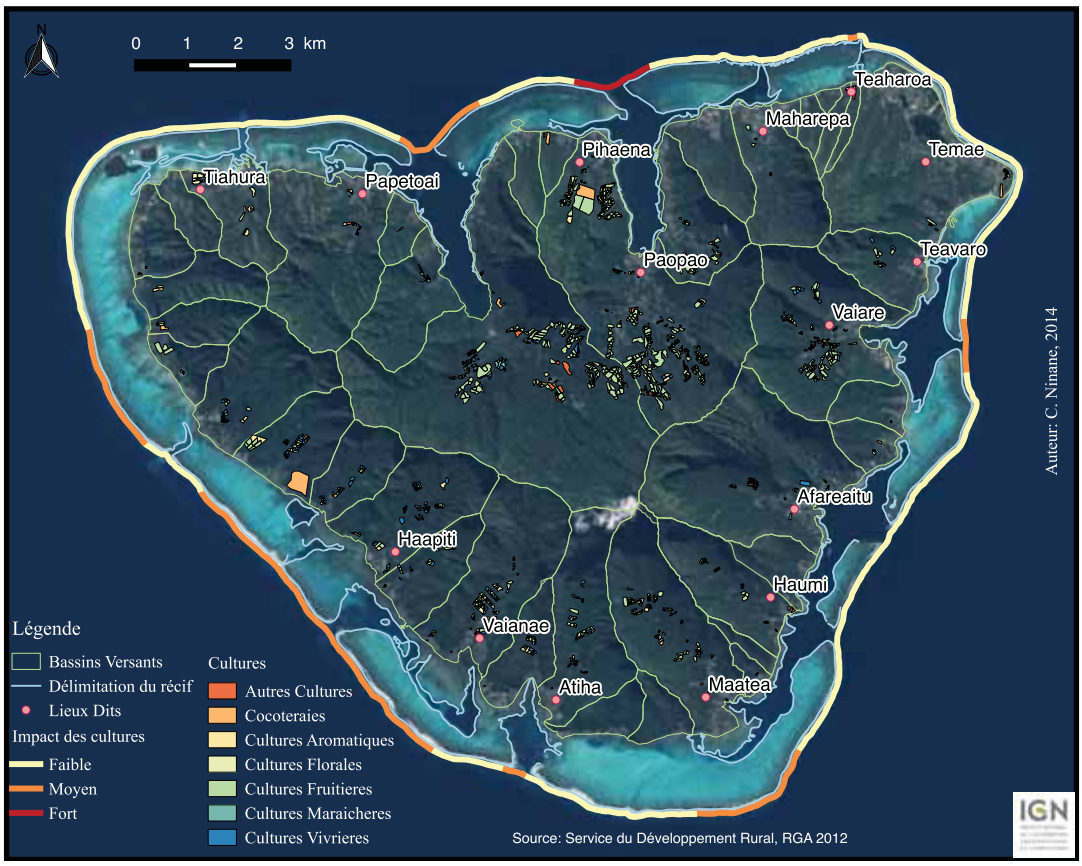


Figure 7: Carte de Moorea répertoriant les parcelles agricoles et l'indicateur de l'impact de ces parcelles sur le lagon

F. Carte de l'impact lié aux élevages

La carte d'impact du à la présence d'élevages (Fig. 8) ressemble sensiblement à celle des cultures. La zone fortement impactée correspond à la baie de Cook tandis que la baie d'Opunohu et certaines zones de la côte ouest (avec une étendue moindre que pour les cultures) sont sous influence moyenne. Pour le reste de l'île, on trouve de nombreux bassins versants où la présence d'élevages y est très réduite voire inexistante.

Figure 8: Carte de Moorea répertoriant les élevages et l'indicateur de leur impact sur le lagon

G. Carte globale des zones impactées par l'anthropisation de l'île

La figure suivante (Fig. 9) correspond à la carte de Moorea obtenue en faisant la synthèse des indices d'impact des différents facteurs cités précédemment (densité de population, rejets des eaux usées à même le sol, parcelles de cultures, élevages et modification de la ligne de rivage) et en indiquant la présence et la capacité des différents établissements touristiques. Concernant l'impact global, il apparaît nettement que celui-ci est le plus fort au niveau des principales zones d'habitation de l'île : Papetoai, la baie de Cook avec Paopao, Maharepa, Vaiare, Afareaitu, Haapiti et un lotissement au nord de Haapiti. La zone de Tiahura au nord ouest de l'île et la zone s'étendant de part et d'autre de Temae au nord est de l'île sont quant à elle les moins impactées avec un indice global faible. Le reste de l'île alterne entre zones faiblement et moyennement impactées. A cela il faut ajouter la présence importante d'hôtels de grande capacité sur toute la côte nord de l'île tandis que la côte ouest est dominée par de petits établissements de type pensions de famille.

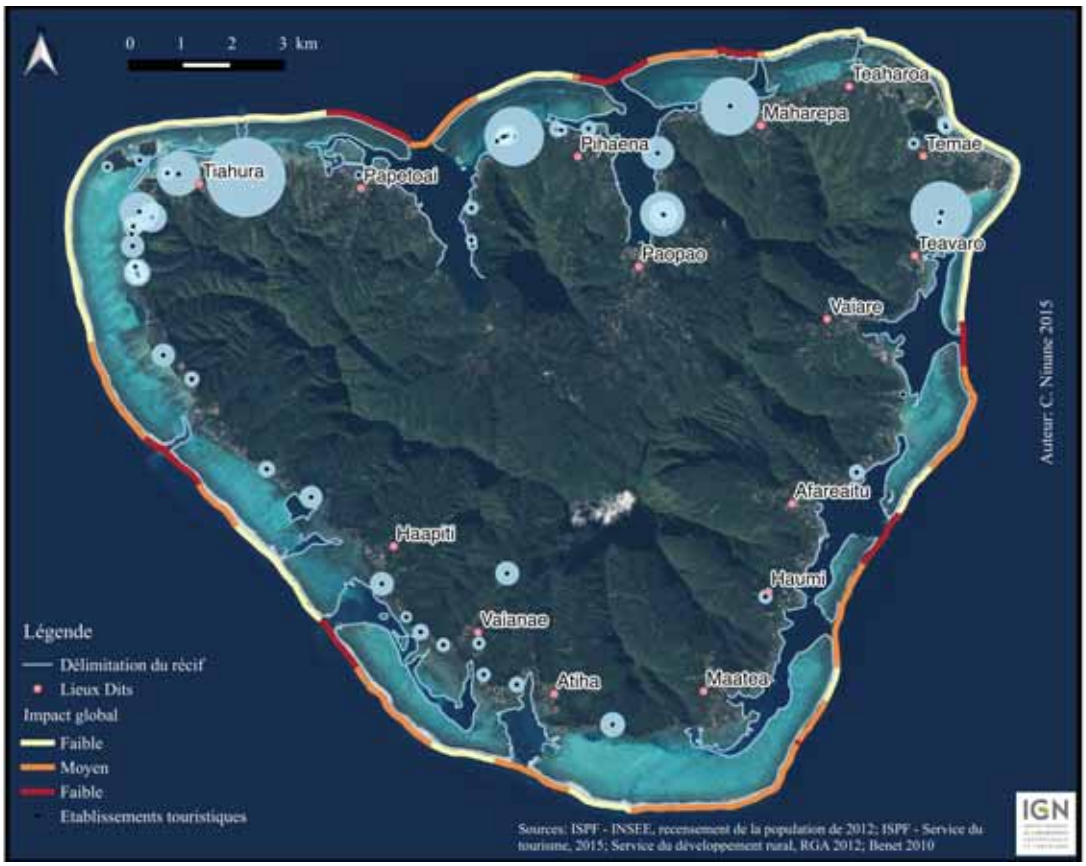


Figure 9: Carte de Moorea répertoriant les différents établissements touristiques (taille des symboles: capacité de l'établissement) ainsi que l'indice d'impact global

IV. Discussion

Parmi les facteurs étudiés au cours de ce stage, deux catégories ressortent : d'une part les facteurs provoquant une destruction locale des colonies coralliennes et qui sont liés à toutes les activités récréatives dans le lagon, et d'autre part les facteurs influençant le développement et le recrutement des coraux et des organismes associés au récif et qui eux sont liés aux activités terrestres. Selon la région de l'île, le lagon semble être touché principalement par l'une ou l'autre ou les deux catégories de facteurs.

A. Activités récréatives dans le lagon

Comme nous l'indique la carte des établissements touristiques, les Hôtels et résidences de tourisme international sont concentrés sur la côte nord de l'île tandis que les établissements relevant de la petite hôtellerie familiale et du logement chez l'habitant sont fortement présents sur la côte ouest de l'île. Ceci pourrait laisser penser que les activités nautiques sont majoritaires dans ces régions. Des observations personnelles sur le terrain vont en effet dans ce sens. La côte ouest est réputée notamment pour son spot de surf à Haapiti où certaines pensions sont spécialement aménagées pour l'accueil de surfeurs. La côte nord quant à elle présente trois plages publiques : la grande plage de Temae, la plage publique située en sortie

de baie d'Opunohu sur la rive droite et la plage de l'hôtel des Tipaniers également réputée pour son spot de kitesurf. Ces plages attirent aussi bien les touristes que les locaux et mène à la pratique du snorkeling et d'autres activités comme le kayak ou le paddle. Les clubs de plongée de l'île sont également répartis sur la côte nord. La côte est présente elle très peu d'établissements d'accueil pour les touristes et aucune plage ne s'y trouve. Cette région semble donc peu touchée par le tourisme et les activités nautiques.

La dégradation physique altérant les colonies coralliennes semble donc accentuée dans le nord et l'ouest de l'île de par la fréquentation touristique et les activités nautiques qui en découlent.

B. Activités terrestres

L'eutrophisation du lagon par le rejet des eaux usées est probablement la conséquence première du développement des populations le long des côtes. A Moorea, il existe encore des maisons qui ne possèdent aucun moyen d'assainissement des eaux et pour lesquelles les eaux usées sont rejetées à même le sol. Même si le phénomène est réduit, certaines zones d'habitations ressortent avec un impact moyen à fort (Fig. 3). L'eutrophisation des eaux a un impact indirect sur les coraux en favorisant la prolifération de phytoplancton et de zooplancton augmentant dès lors la turbidité de l'eau et entravant la photosynthèse des coraux. Elle favorise également la prolifération des macro-algues qui entrent directement en compétition avec les coraux alors qu'en temps normal leur quantité est régulée par les herbivores. Le rejet d'eaux usées va donc avoir un impact négatif sur la couverture corallienne.

Alors que la majorité des maisons sont soit reliées au réseau collectif, soit possèdent un système de traitement des eaux individuel, le récif à proximité n'est pas réellement épargné de leurs eaux usées. En effet, comme le souligne d'ASTEE en 2013, plus de 50% des stations d'épuration recensées présentent des dysfonctionnements concernant les étapes d'assainissement, ne garantissant plus le traitement adéquat avant le rejet. Afin de mieux se rendre compte de l'impact du développement des populations sur les côtes, il est dès lors important de prendre en compte l'entièreté de la population qui met avant des risques plus élevés au niveau des différentes agglomérations d'habitations.

Lorsque l'on regarde la modification du trait de côte, on observe une certaine correspondance avec la densité de population. Globalement, les régions modifiées à plus de 50% correspondent aux grandes zones d'habitations, excepté pour Haapiti où la ligne de rivage est faiblement modifiée. La seconde différence majeure apparaît à Tiahura où malgré la faible densité de population la ligne de rivage est fortement modifiée. Dans ces zones du lagon, la

couverture corallienne semble donc plus menacée qu'ailleurs avec pour conséquence possible la diminution de la quantité de poissons associés à ces coraux.

Alors que l'impact des murets et remblais sur les coraux se fait plus ressentir en s'éloignant de la ligne de rivage, c'est très certainement l'effet inverse qu'il se passe avec le rejet des eaux usées. Avec une largeur de 1 à 1,5km il est fort probable qu'en s'éloignant des embouchures des rivières et autres déversoirs, les composés présents dans les eaux soient de plus en plus dilués et que leurs effets sur le lagon soient donc atténués. Un gradient de l'impact est donc à supposer sur la largeur du lagon.

La présence de parcelles agricoles va impacter majoritairement le récif dans et à proximité de la baie de Paopao où elles sont les plus concentrées tout comme pour les élevages qui sont les plus nombreux à cet endroit. Ce sont donc des eaux contaminées en pesticides qui se déversent dans la baie. Dans des proportions moindres, l'agriculture et l'élevage touchent également la côte ouest de l'île en de nombreux endroits ainsi que dans la baie d'Opunohu. A ces endroits, le recrutement corallien est donc menacé près du rivage tout comme la survie des jeunes poissons. A ces risques liés aux pesticides, s'ajoutent les effets de l'érosion due à la présence de cultures d'ananas qui sont nombreuses au niveau des deux grandes baies au nord ainsi qu'au niveau de la baie de Vaiare. L'érosion provoque des apports terrigènes importants en cas de fortes pluies, apports qui vont sédimenter une fois arrivés dans le lagon et qui vont menacer les coraux.

C. Impact global

En additionnant tous ces facteurs, les zones du lagon de Moorea les plus sujets à des phénomènes de pollution et de sédimentation ressortent à proximité des groupes d'habitations les plus importants à savoir : Papetoai, la zone au nord de Haapiti, Haapiti, Afareaitu, Vaiare, Maharepa et Piahena. A ces pollutions s'ajoutent des phénomènes de destructions physiques dans les zones touristiques dans le nord et l'ouest de l'île. La pointe nord ouest de l'île semble quant à elle menacée uniquement par les activités nautiques vu la faible densité de population, d'agriculture et d'élevage dans cette zone.

D. Comparaison avec 1988

La comparaison de ce travail avec la carte réalisée en 1988 (Gabrie *et al.*,1988 ; Galzin, 1990) (Annexe 5) permet de mettre en avant certaines évolutions. Premièrement les zones impactées par les activités agricoles sont sensiblement les mêmes mis à part de nouvelles zones à risque au nord de Haapiti et au niveau de Vaiare. Le nombre de porcheries a, quant à lui, fortement diminué au profit d'autres types d'élevages.

Les extractions de corail qui étaient encore pratiquées à l'époque ont entièrement disparus. A l'opposé, un nouveau facteur qui est l'étude de la ligne de rivage apparaît dans cette étude et aucune évolution ne peut donc être mise en évidence.

La répartition de l'impact du aux eaux usées domestiques est quant à elle fortement modifiée. Cela est peut à mettre en relation avec une forte augmentation de la population dans certaines régions, accentuant les écart et faisant dès lors passer des zones de fortement ou moyennement impactées à faiblement impactées.

Finalement, en ce qui concerne les activités touristiques, la côte nord était déjà celle où les hôtels étaient les plus présents et la région de Haapiti était déjà connue pour le surf. Cependant le tourisme sur la côte ouest était tout de même moins développé qu'à l'heure actuelle.

V. Conclusion

Le but de cette étude était de caractériser les différentes activités humaines pouvant impacter le lagon et de différencier l'importance de cet impact sur tout le pourtour de l'île. Deux catégories de facteurs sont ressorties. Premièrement, les facteurs provoquant une destruction physique des colonies coralliennes et liés aux activités aquatiques. Ces facteurs sont majoritairement actifs le long de la côte nord et de la côte ouest de l'île. Deuxièmement, les facteurs entraînant pollutions et apports terrigènes liés à l'anthropisation des côtes et l'utilisation des terres pour les cultures et les élevages et dont l'impact global est principalement concentré à proximité des régions les plus habitées.

En comparaison à 1988, l'agriculture s'est répandue sur la côte ouest, la nature des élevages a changé avec une diminution du nombre de porcheries et les différences de densité de populations se sont accentuées. Le tourisme a continué de se développer en persistant sur la côte nord et en s'étendant sur la côte ouest.

A la suite de ce travail, il serait intéressant de récolter certaines données permettant d'affiner les indicateurs mis en place. En effet, le manque de données sur les effectifs des différents élevages a rendu impossible la différenciation de ces derniers et ils ont du tous être mis sur le même pied d'égalité ce qui fausse très certainement les résultats. Le manque de transparence concernant l'utilisation de pesticides dans l'agriculture est également un frein à plus de précision dans le traitement des données concernant les parcelles agricoles.

Une version shapefile ou une image haute définition de la ligne de rivage de Benet (2010) n'ayant pas pu être acquise, la plus faible qualité de la version pdf fut également un frein et les données manquent de précision.

Le nombre d'habitants sur l'île continuant à augmenter (même si cette augmentation est de plus en plus faible), un suivi régulier pourrait s'avérer intéressant afin d'identifier les zones plus sensibles qui mériteraient plus d'attention concernant le traitement des eaux usées. Tout comme le suivi de l'évolution du tourisme permettrait de cibler les zones où des actions de sensibilisation au respect de l'environnement seraient intéressantes. Vu sa situation dans une région très touristique de l'île et un impact moyen des polluants et apports terrigènes, le site d'Opunohu choisi pour développer un tourisme durable dans le cadre d'INTEGRE apparaît comme choix judicieux pour sa préservation en comparaison à d'autres sites moins touristiques ou déjà plus impactés.

VI. Bibliographie

ASTEE (2013). Techniques Sciences Méthodes n°5/2013 : *Eaux usées – la lente avancée des réseaux collectifs*. pp. 6-8.

Aubanel, A. (1993). Evaluation socio-économique de la pêche en milieu corallien dans l'île de Moorea. *Journal de la Société des océanistes*, *96*, 49–62.

Aubanel, A., Marquet, N., Colombani, J. M., & Salvat, B. (1999). Modifications of the shore line in the Society islands (French Polynesia). *Ocean & Moastal Management*, *42*, 419–438.

Benet, A. (2010). *Evolution des zones cotières en milieu insulaire et impact du changement global: perspectives 2100*. Thèse de doctorat, Université de la Polynésie française, 245 p.

Brown, B. E., & Dunne, R. P. (1988). The impact of coral mining on coral reefs in the Maldives. *Environmental Conservation*, *15*, 159–165.

Chabanet, P., Adjeroud, M., Andréfouët, S., Bozec, Y., Ferraris, J., & Schrimm, M. (2005). Human-induced physical disturbances and their indicators on coral reef habitats : A multi-scale approach. *Aquatic Living Resources*, *230*, 215–230.

Chadwick-Furman, N. E. (1996). Effects of SCUBA diving on coral reef invertebrates in the U.S. Virgin Island: implications for the management of diving tourism. Proc. *6th International Conference on Coelenterate Biology, Amsterdam*.

CPS - Secrétariat général de la Comunauté du Pacifique (2014). *INTEGRE – Plan d'actions Polynésie française* , 16 p.

Fabricius, K. E. (2005). Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine pollution bulletin*, *50*(2), 125–46.

Feary, D. a, Almany, G. R., McCormick, M. I., & Jones, G. P. (2007). Habitat choice, recruitment and the response of coral reef fishes to coral degradation. *Oecologia*, *153*(3), 727–37.

Gabrie, C., Galzin, R., & Salvat, B. (1988). *Bilan des activités humaines reconnues comme cause de dégradation des récifs coralliens frangeants de Moorea*. 28 p.

Galzin, R. (1990). SRETIE info n°32/1990 : *Récifs coralliens – Dégradations anthropiques des zones frangeantes*. pp. 9-14.

GONNOT, C., BINET, T. (2004). *Etude de l'érosion sur les plantations d'anananas à Moorea*. 51p.

ISPF (2014). Points forts De la Polynésie française n°9/2014 : *Bilan tourisme 2013*. 12p.

ISPF (2014). Points forts De la Polynésie française n°3/2014 : *Bilan démographique 2012*. 6p.

Lecchini, D., Million, J., Nakamura, Y., & Galzin, R. (2009). How does shoreline development impact the recruitment patterns of coral reef fish juveniles (Moorea Island, French Polynesia)? *Ichthyological Research*, *56*(3), 314–318.

Lecchini, D. (2014). *Evaluation des risques environnementaux des pesticides issus de l'agriculture sur les coraux et les poissons de polynésie française*. 49 p.

Mumby, P., & Steneck, R. (2008). Coral reef management and conservation in light of rapidly evolving ecological paradigms. *Trends in Ecology & Evolution*, *23*(10), 555–563.

Roche, H., Salvat, B., & Ramade, F. (2011). Assessment of the pesticides pollution of coral reefs communities from French Polynesia. *Revue d'Ecologie*, *66*, 3–10.

Pet-Soede, L., & Erdmann, M. (1998). An overview and comparison of destructive fishing practices in Indonesia. *SPC Live Reef Fish Information Bulletin*, *4*, 28–36.

Sites internet :

- www.environnement.pf (consulté le 20/05/2015)
- http://www.tahiti-tourisme.fr/ (consulté le 20/05/2015)

VII. Annexes

Annexe 1 : liste des Acronymes

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière (anciennement « Institut Géographique National »)

ISPF : Institut de la Statistique de Polynésie Française

PTOM : Pays et Territoires d'Outre-Mer

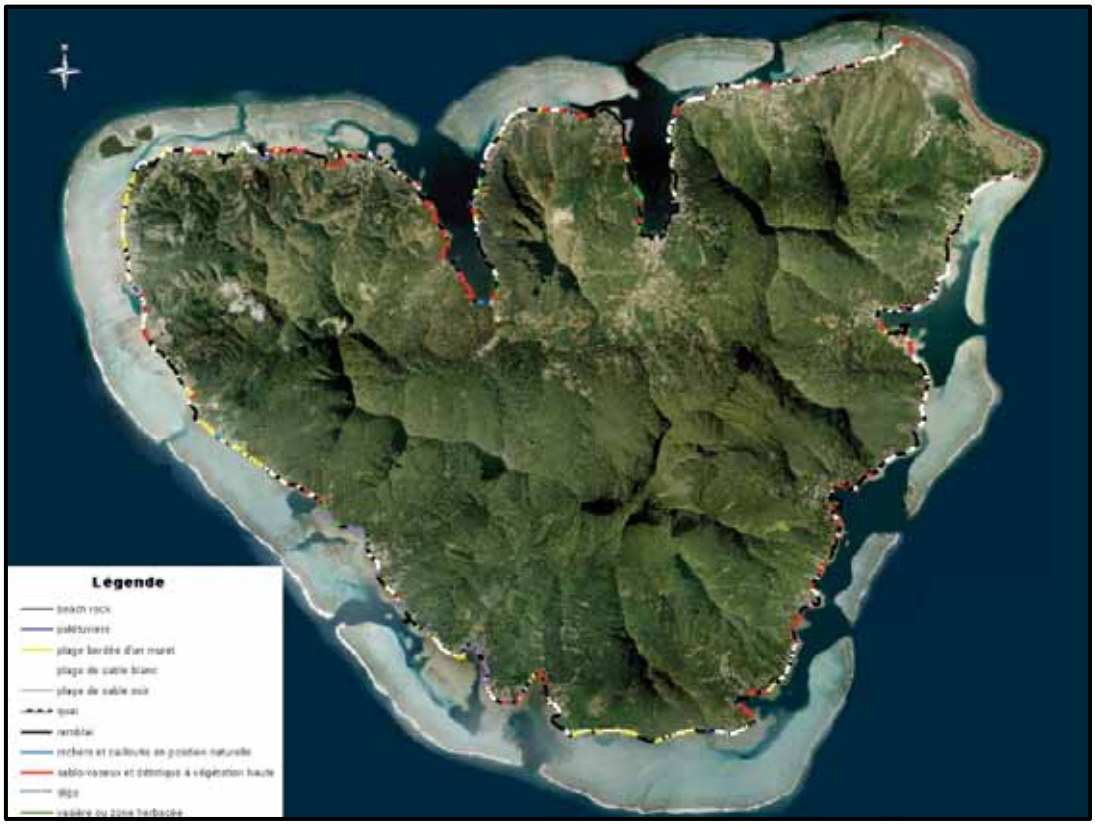
RGA : Recensement Général de l'Agriculture

SAU : Service de l'urbanisme

SDR : Service du Développement Rural

SIG : Système d'Information Géographique

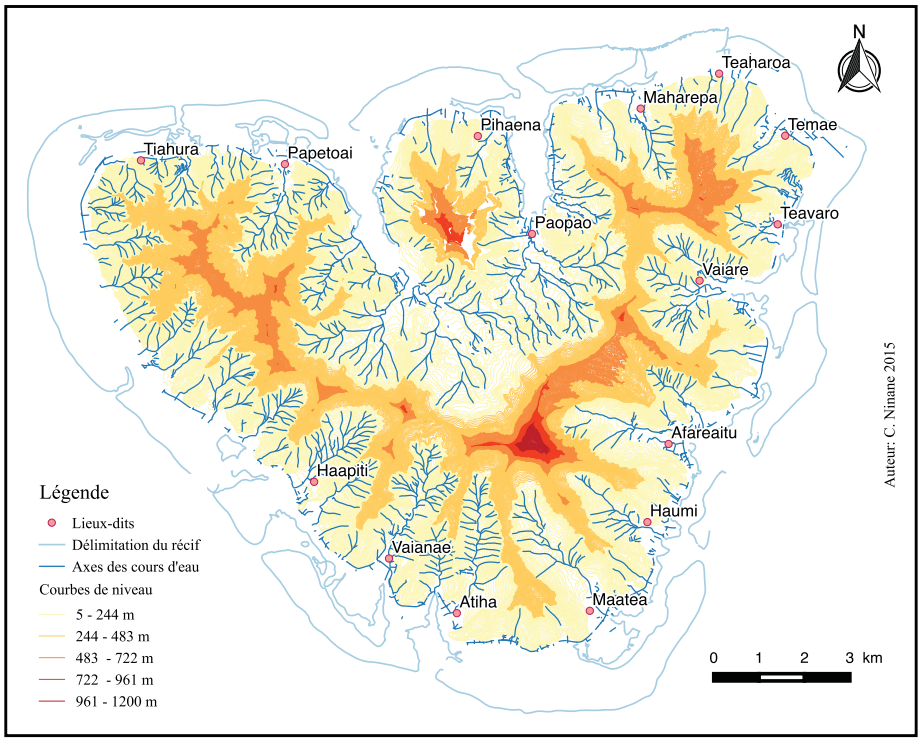
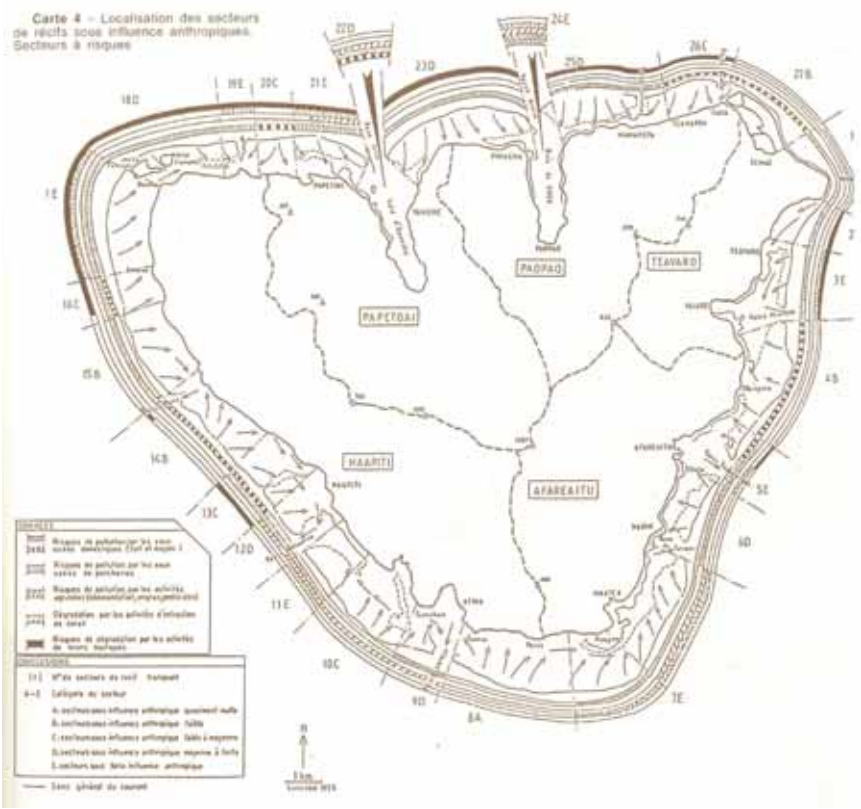
Annexe 2 : Trait de côte de Moorea (Benet, 2010)



Annexe 3 : Liste des établissements touristiques selon le service du tourisme de l'ISPF (liste 2015)

Nom de l'établissement	Référence carte	Nom de l'établissement	Référence carte
Fare Vaimoana	A	Te Fare Mihi	18
Fenua Mata'i'oa	B	Dream Island	19
Hotel Hibiscus	C	Vaihau Village	20
Intercontinental Moorea Resort & Spa	D	Villa Carollina	21
Les Tipaniers	E	Fare Vaihere	22
Hotel Kaveka	F	Motel Albert	23
Moorea Pearl Resort & Spa	G	Chez Dina	24
Club Bai Hai	H	Fare Hamara	25
Hilton Moorea Lagoon Resort & Spa	I	Fare Nani	26
Sofitel Ia Ora Moorea Beach Resort	J	Pension Marie-Lou	27
Atuona Lodge	1	Robinson's Cove Villa	28
Fare Te Ora Hau	2	Village Faimano	29
Chez Billy	3	Pension Aito	30
Fare Edith	4	Fare Junette	31
Fare Arana	5	Chez Francine	32
Fare Aute	6	Maheata	33
Fare Manuia	7	Motu Iti	34
Fare Pole	8	Fare Orama	35
Fare d'hotes Tehuarupe	9	Fare Maeva Moorea	36
Fare Tokoau	10	Green Lodge	37
Fare Rotui	11	Moorea Golf Lodge	38
Haapiti Surf Lodge	12	Taoahere Beach Houses	39
Mark's Place Moorea	13	Fare Vainui	40
Moorea Fare Miti	14	Fare de la nature du Mou'a Roa	41
Residence Linareva	15	Tarariki Village	42
Tapu Lodge	16	Moorea Surf Bed & Breakfast	43
Teataura (Pension)	17		

Annexe 4 : Carte de Moorea avec les couches de courbes de niveau et de réseau hydrographique du SAU



Annexe 5 : Carte de la localisation des secteurs du récif sous effets anthropiques en 1988 (Galzin, 1990)