

LE SUIVI DE L'ÉTAT DES RÉCIFS CORALLIENS DE POLYNÉSIE FRANÇAISE ET LEUR RÉCENTE ÉVOLUTION

Bernard SALVAT¹, Annie AUBANEL², Mehdi ADJEROUD³, Patrick BOUISSET⁴, Dominique CALMET⁵, Yannick CHANCERELLE⁶, Nathalie COCHENNEC⁷, Neil DAVIES⁸, Angélique FOUGEROUSSE⁹, René GALZIN¹⁰, Élodie LAGOUY¹¹, Cedrik LO¹², Christian MONIER¹³, Cedric PONSONNET¹⁴, Georges REMOISSENET¹⁵, Denis SCHNEIDER¹⁶, Arsène STEIN¹⁷, Miri TATARATA¹⁸ & Laurent VILLIERS¹⁹

SUMMARY. — *Monitoring of French Polynesia coral reefs and their recent development.* — French Polynesia, consisting of 118 islands in the centre of the Pacific Ocean, has more than 15 000 km² of reefs and lagoons managed by the local government. Tourism and pearl culture are the two main economic resources of the country. Polynesian coral reefs are extremely diverse and are among those for which we have thorough

¹ UMR 5244 CNRS-EPHE-UPVD, UMS 2978 CNRS-EPHE, Université de Perpignan. F-66860 Perpignan. - <http://www.univ-perp.fr/ephe/>. E-mail : bsalvat@univ-perp.fr (rédaction et généralités)

² Service de l'Urbanisme, IFRECOR, BP 866 Papeete, Tahiti. - E-mail : annie.aubanel@urbanisme.gov.pf (rédaction et généralités)

³ UMR 5244 CNRS-EPHE-UPVD, UMS 2978 CNRS-EPHE, Université de Perpignan. F-66860 Perpignan. - <http://www.univ-perp.fr/ephe/>. E-mail : adjeroud@univ-perp.fr (recrutement des coraux)

⁴ IRSN/LESE, Laboratoire d'étude et de surveillance de l'environnement, BP 519 Papeete, Tahiti. E-mail : patrick.bouisset@mail.pf (radioactivité en Polynésie française)

⁵ CEA/DAM/IDF/DME - Île-de-France. F-91680 Bruyères le Châtel. E-mail : dominique.calmet@cea.fr (radioactivité sites d'expérimentations nucléaires)

⁶ UMS 2978 CNRS-EPHE, CRIOBE BP 12, Papetoai, Moorea. E-mail : criobe@mail.pf (températures, peuplements de Tiahura et de Moorea, réseau pente externe des îles)

⁷ IFREMER, Laboratoire de Biotechnologie et Qualité de la Perle, Tahiti. E-mail : Nathalie.Cochennec@ifremer.fr (pathologie des nacres)

⁸ Station GUMP, Université de Berkeley, Paopao, Moorea. E-mail : ndavieshi@yahoo.com (LTER Moorea)

⁹ Service de la Perliculture, BP 9047 MotuUta, 98715, Papeete, Tahiti. E-mail : angelique.fougerouse@perli.gov.pf (pathologie des nacres)

¹⁰ UMR 5244 CNRS-EPHE-UPVD, UMS 2978 CNRS-EPHE. - <http://www.univ-perp.fr/ephe/>. E-mail : galzin@univ-perp.fr (peuplements radiale Tiahura)

¹¹ Reef Check Polynésie, BP 1385 Papetoai, Moorea. E-mail : elodie_lagouy@hotmail.com (Reef Check)

¹² Service de la Perliculture, Papeete, Tahiti. E-mail : cedrik.lo@perli.gov.pf (perliculture)

¹³ Service de la Pêche, BP 20, Papeete, Tahiti. E-mail : christian.monier@peche.gov.pf (pêche)

¹⁴ Service de la Pêche, BP 20, Papeete, Tahiti. E-mail : cedric.ponsonnet@peche.gov.pf (SEASPOL)

¹⁵ Service de la Pêche, BP 20, Papeete, Tahiti. E-mail : georges.remoissenet@peche.gov.pf (aquaculture, pêche)

¹⁶ Nature Éveil Bora Bora, BP 1376, Bora Bora. E-mail : naturebb@mail.pf (Reef Check)

¹⁷ Service de la Pêche, BP 20, Papeete, Tahiti. - www.peche.pf (valable pour tout le SPE). E-mail : arsene.stein@peche.gov.pf (pêche)

¹⁸ Direction de l'Environnement, B.P 4562, Papeete, Tahiti. E-mail : miri.tatarata@environnement.gov.pf (aires protégées)

¹⁹ DGA/DSCEN Département de suivi des centres d'expérimentations nucléaires. E-mail : laurent.villiers@dga.defense.gouv.fr (radioactivité sites expérimentation nucléaires)

knowledge. The exploitation of local resources has been recorded for multiple decades and includes : coral materials, fishing, harvest and export of mother-of-pearl molluscs, pearl production, and ornamental fish. All over the country, many monitoring programmes have been launched to measure the health of reefs and the natural and anthropogenic perturbations that they suffer : hurricanes and seismic events, water quality, health of benthic and fish communities, pearl oyster pathology and radiobiology. These data, collected over the last few decades, allowed to define the relative importance of natural and anthropogenic degradation on reefs and lagoons, and to explain the present status of reefs at different spatial scales. Devastating hurricanes are rare (1903-1906, 1982-1983 and occasionally at other times), but they may annihilate outer slope coral communities on some islands. Bleaching events with considerable coral mortality at different geographical scales occurred mainly in 1991, 1994 and 2003. Outbreaks of *Acanthaster* destroyed numerous reefs (lagoons and outer slopes) from 1978-1982 and a new demographic wave began in 2006 at many Society islands. Eutrophication events only occurred occasionally and only in some lagoons. Whereas natural catastrophic events degrade the coral reef ecosystem across many islands, at the archipelago or even regional scale, anthropogenic degradation is limited to a few Society Islands, occurring rarely on atolls and not at all on those (one third) which are uninhabited. The main causes of reef degradation in some areas of Tahiti and Moorea include the embankment of fringing zones, coral mining, overfishing, absence of urban sewage treatment and the development of leisure and tourism activities. Because of its large geographical extent, one may conclude that major reef degradation in French Polynesia is caused by catastrophic natural events. On the other hand, anthropogenic degradation is more localized. Unfortunately, the synergistic effects of these causes of degradation prevent reefs from recovering. Optimum coral cover on French Polynesian outer reef slopes is between 50-60 %. After a major destructive impact (hurricane, bleaching, *Acanthaster*) a reef is reduced to less than 10 % coral cover, however if no more major disturbance events occur a reef will recover in about 12 years. Most of the 15 000 km² of reefs and lagoons in French Polynesia are in good health, and along with their neighbouring reefs in East and Central Pacific they are considered as the least degraded reefs worldwide and at a low risk of becoming degraded in the few next decades. However, we are more and more anxious about the future of reefs in the world particularly because present simulations predict that major impacts of climate change would include : elevation of sea surface temperatures, increase in the strength of hurricanes and acidification of seawater which will affect the formation of coral structures.

RÉSUMÉ. — La Polynésie française, 118 îles au cœur du Pacifique, possède une surface de plus de 15 000 km² de récifs et lagons gérés par le gouvernement polynésien. Le tourisme et la perliculture représentent les deux ressources économiques majeures du Pays. Les formations récifales très diversifiées sont parmi les mieux connues. Plusieurs suivis d'exploitation des ressources sont opérationnels depuis des décennies : granulats coralliens, pêche pour l'alimentation, collecte et exportation de mollusques nacrés, production de perles, poissons d'ornement. À l'échelle du Pays de très nombreux programmes de surveillance de l'état des récifs et des perturbations qu'ils subissent, naturelles et anthropiques, ont été mis en place : perturbations cycloniques et sismiques, qualité des eaux, état de santé des peuplements benthiques et ichtyologiques, pathologie des nacrés, radiobiologie. Toutes ces données recueillies au fil des décennies ont permis d'établir l'importance relative des dégradations naturelles et anthropiques sur les récifs et lagons polynésiens et d'expliquer leur état de santé actuel en considérant différentes échelles spatiales. Les périodes cycloniques dévastatrices pour les récifs sont rares (1903-1906, 1982-1983 et épisodiquement) mais les cyclones ont parfois anéanti les communautés coralliennes de pentes externes dans certaines îles. Les blanchissements suivis de mortalités importantes à des échelles spatiales diverses, ont été surtout ceux de 1991, 1994 et 2003. Les explosions démographiques d'*Acanthaster* ont détruit de nombreux récifs (lagons et pentes externes) en 1978-1982 et une nouvelle pullulation s'amplifie depuis 2006 dans plusieurs îles de la Société. Les crises dystrophiques n'ont perturbé qu'épisodiquement certains lagons. Si les événements naturels précédents dégradent les récifs à l'échelle de plusieurs îles, d'archipel ou du Pays, les dégradations anthropiques sont limitées à quelques îles peuplées de la Société, plus exceptionnellement dans les atolls et encore moins dans un tiers d'entre eux qui sont inhabités. Les remblais en zone frangeante, les extractions de matériaux coralliens, la surpêche, l'absence de réseaux d'assainissement des eaux usées urbaines et le développement d'activités de loisir et du tourisme sont les causes essentielles de la dégradation des communautés coralliennes du lagon dans certains secteurs de Tahiti et de Moorea. Ainsi apparaît-il clairement que les dégradations majeures des récifs en Polynésie sont occasionnées par des phénomènes naturels compte tenu de leur étendue géographique. En revanche les dégradations anthropiques sont géographiquement plus localisées. Malheureusement la synergie des deux causes de dégradation ne facilite pas la récupération des récifs. Il est établi qu'une pente externe avec un recouvrement corallien de 50-60 % est à son optimum. Une dégradation majeure (cyclone, blanchissement, *Acanthaster*) réduit ce recouvrement à moins de 10 %. La communauté met une douzaine d'années pour revenir au recouvrement optimum si aucune autre perturbation importante ne survient. La très large majorité des 15 000 km² de récifs et lagons de Polynésie française sont en bonne santé. Avec leurs voisins du Pacifique Est et Central, ces formations coralliennes sont considérées comme les moins dégradées au monde et à faible risque de dégradation dans les prochaines décennies. Toutefois les inquiétudes sont grandissantes sur l'avenir des récifs dans le monde entier si l'on se réfère aux prédictions de changement climatique où les impacts majeurs tiendraient à l'augmentation des températures océaniques, à un renforcement des cyclones et à l'acidification des eaux perturbant le métabolisme de calcification des coraux.

PRÉSENTATION GÉOGRAPHIQUE, HUMAINE ET ÉCONOMIQUE DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE

GÉOGRAPHIE

Située dans le Pacifique Sud, la Polynésie française (PF) s'étend sur environ 2 500 000 km² d'océan (134° – 154° Ouest et 7° – 27° Sud), une superficie égale à celle de l'Europe de l'Ouest, avec une zone économique exclusive (ZEE) de 5 500 000 km². La surface totale des terres émergées est de 3726 km² et de 15 047 km² pour l'écosystème corallien : 2140 de récifs et 12 907 de lagons (Andréfouët *et al.*, 2005).

La PF comprend 118 îles (84 atolls et 34 îles hautes volcaniques) réparties dans 5 archipels (Fig. 1). L'archipel des Tuamotu compte à lui seul 76 atolls. Tahiti, dans les îles de la Société, est la plus grande île : 1051 km² de terres émergées qui culminent à 2241 m avec 228 km² de récifs et lagons et 203 km de périmètre récifal.

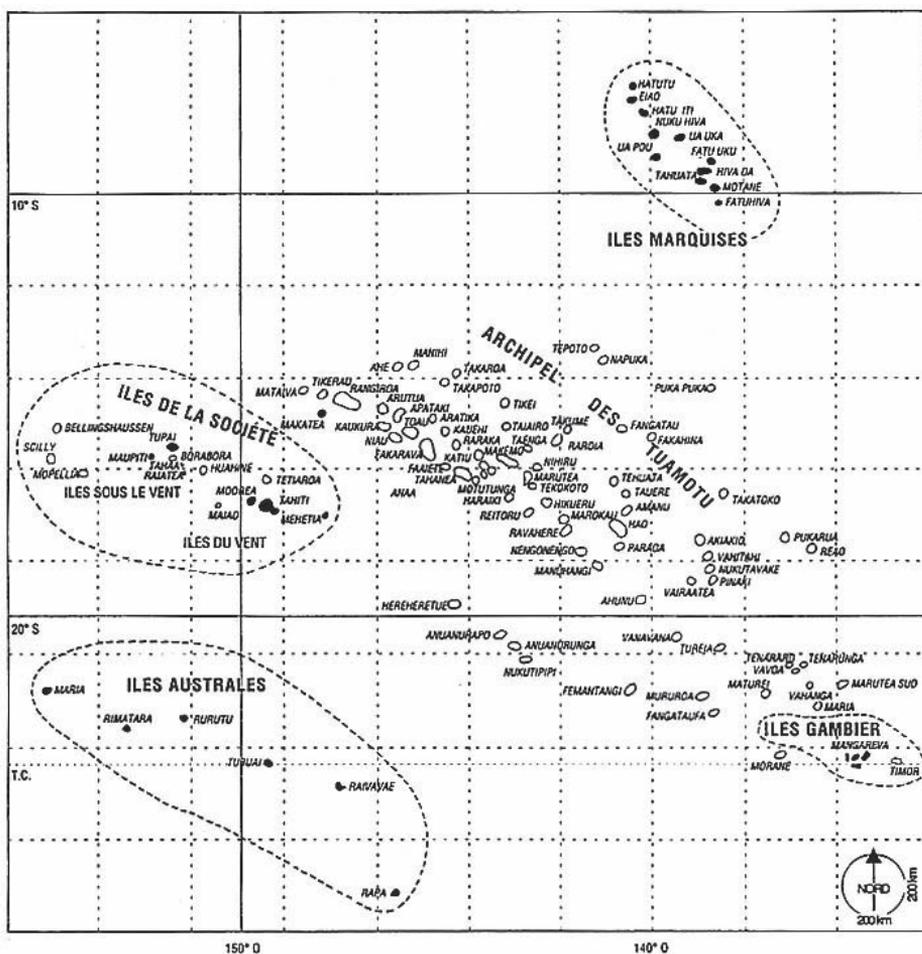


Figure 1. – Carte de la Polynésie française (PF). *Map of French Polynesia (FP).*

Les îles polynésiennes résultent de l'activité volcanique intraplaque au niveau de points chauds qui créent de façon discontinue des édifices géologiques dérivant avec le plancher océanique vers le nord-nord-ouest à la vitesse d'une dizaine de centimètres par an. Par subsidence et érosion, les massifs volcaniques disparaissent laissant la place aux couronnes coralliennes

des atolls. Les îles en chapelet de la Société, des Australes et des Marquises, âgées d'à peine quelques millions d'années (Tahiti, Rapa, Fatuiva) à plusieurs millions d'années (7 à 12) pour les plus anciennes (Bellinghausen, Rimatara, Hatutu) s'étalent ainsi du sud-est pour les plus récentes, au nord-ouest pour les plus anciennes. Les atolls de l'archipel des Tuamotu sont les témoins d'un archipel créé au niveau de la ride Est Pacifique entre 60 et 40 millions d'années et affecté par la subsidence. Un alignement au sud des Tuamotu, de l'atoll de Temoe à celui d'He-reheretue, passant par les Gambier et Moruroa, a pour origine un point chaud situé à proximité de Pitcairn, sous juridiction du Royaume Uni.

La PF bénéficie d'un climat tropical océanique avec des températures moyennes estivales de 20° (Australes) à 27-28°C (Société et Tuamotu). Les précipitations littorales annuelles sont comprises entre 1 m (Marquises) et 2,5 m (Australes et Gambier). L'insolation annuelle est toujours supérieure à 2100 heures et jusqu'à 2900 h aux Marquises et aux Tuamotu. Le marnage n'est que de 40 cm dans les îles de la Société mais atteint 120 cm à Moruroa.

POPULATION

La population de la PF a quintuplé depuis la fin de la seconde guerre mondiale avec un taux d'accroissement annuel de 2,5 à 3 %. En 2007, elle compte 260 000 habitants et un taux annuel qui n'est plus que de 1,3 % (Fig. 2). Les moins de 15 ans représentent 30 % de la population. La population est très inégalement répartie entre les îles où 32 des 84 atolls sont inhabités. La majorité de la population se concentre dans les îles de la Société, particulièrement à Tahiti et Moorea (75 %). L'urbanisation est de 52 % à l'échelle du Pays.

Les polynésiens représentent près de 80 % de la population. Originaires de l'Asie du Sud-Est, au cours d'une épopée maritime sans précédent dans l'histoire de l'humanité, les populations migrantes sont arrivées aux Marquises peu après l'an 0 (Jésus-Christ). Elles vont progressivement s'établir sur les îles de la Société, Gambier, Australes et Tuamotu avant de coloniser Hawaii, l'île de Pâques et la Nouvelle-Zélande.

Les premiers contacts avec les européens remontent au XVI^e siècle mais il faut attendre l'expédition de Bougainville et les voyages de Cook en 1768-1777 pour que s'établissent des relations suivies. Au protectorat français en 1843 succède l'annexion en 1880, puis l'époque coloniale qui s'achève avec la décolonisation en 1946. Depuis 1977 la PF bénéficie d'un statut d'autonomie, statut réformé plusieurs fois depuis, le territoire étant maintenant un Pays d'outre-mer. La culture maohi est très vivante.

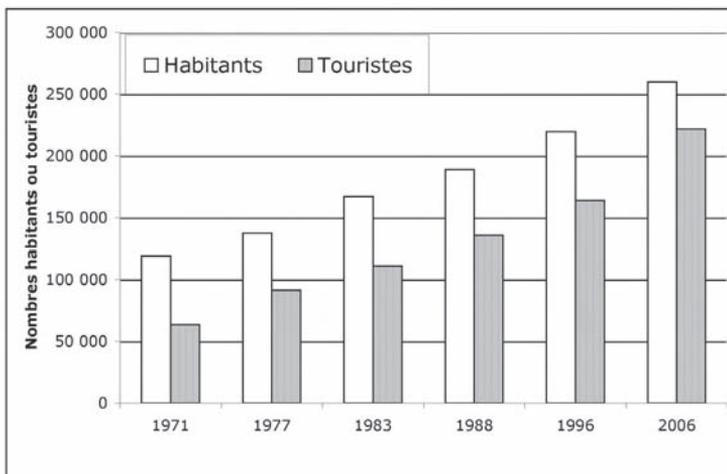


Figure 2. – Nombre d'habitants et de touristes en PF de 1971 à 2006. *Number of inhabitants and tourists in FP from 1971 to 2006.*

GOUVERNEMENT ET ÉCONOMIE

Le gouvernement de la PF comprend, selon les gouvernements, des ministères de la pêche, de la perliculture, de la recherche, de l'urbanisme, de l'environnement, du tourisme et de la culture qui sont ceux dont les décisions interfèrent le plus avec la gestion de l'espace corallien et lagunaire et l'exploitation de ses ressources. L'État, représenté par un Haut Commissaire, et le Pays ont compétence en matière de recherche. L'environnement relève exclusivement de la compétence du Pays. Le ministre en charge de l'environnement dispose d'une direction de l'environnement qui assure la pérennité des actions. Les Services de la pêche et de la perliculture sont rassemblés ou séparés en fonction des intitulés des ministères des gouvernements successifs.

L'économie est dominée par le secteur tertiaire avec plus de 70 % des emplois. L'exportation la plus importante est actuellement celle des perles noires et de la culture de la nacre ou huître perlière, *Pinctada margaritifera*. Le record d'exportation de 11,5 tonnes de perles a été atteint en 2000. Il était de 6,4 tonnes en 2006 pour une valeur de 78 millions d'euros (9 289 millions CFP), première exportation en valeur du Pays. L'activité perlière fait vivre plus de 5 000 personnes dans plus de 50 îles. Les importations concernent pour 24 % les matières premières, 18 % les produits agricoles et 18 % des consommables divers. Le tourisme reste la première industrie du Pays (500 millions d'euros, 52 hôtels pour 3436 unités hôtelières et 1297 pensions chez l'habitant en 2006). Toutefois le nombre des touristes (220 000) n'émarge que pour 6,5 % des touristes dans le Pacifique Sud et ne représente que 0,5 % du tourisme mondial (Salvat & Pailhe, 2002). Plus de 18 % des touristes en PF pratiquent la plongée alors que 66 % se consacrent à l'observation des fonds coralliens en masque et tuba (Salvat & Pailhe, 2002). La construction des infrastructures hôtelières a entraîné de nombreuses perturbations en milieu littoral : extraction de matériaux coralliens, remblaiement de zones frangeantes, modification des lignes de rivages, pollutions diverses. La capacité hôtelière a triplé entre 1971 et 2006, passant de 1210 à 3436 unités, sans compter le développement considérable de la petite hôtellerie d'accueil chez l'habitant aussi bien dans les îles hautes que dans les atolls des Tuamotu. Le PNB par habitant est très important, près de 20 000 US \$ en 2005, comparativement aux pays insulaires de la région où il est inférieur à 7000 US \$.

RÉCIFS ET LAGONS CORALLIENS POLYNÉSIENS

CARACTÉRISTIQUES DES RÉCIFS

La plupart des 34 îles volcaniques de PF comportent un récif frangeant accolé à la terre, un lagon plus ou moins grand et un récif barrière. Les Marquises, Mehetia île jeune de la Société et Rapa, Rimatara et Rurutu dans les Australes sont des exceptions car sans lagon. Tous les stades intermédiaires existent entre les îles volcaniques jeunes et sans récif et les atolls, stade ultime de l'évolution géologique. Toutes les configurations se rencontrent entre des atolls aux lagons largement ouverts sur l'océan, jusqu'à trois passes assurant une communication permanente avec le lagon (Tahanea), et des atolls complètement fermés (Taiaro), saumâtres (Niau), comblés (Nukutavake) et même soulevés (Makatea). Par ailleurs, la faible largeur du système récifo-lagunaire entourant les îles hautes, souvent moins d'un kilomètre, entre la terre et la pente externe côté océan, est une caractéristique originale qui fournit des opportunités intéressantes pour la recherche (Adjeroud, 1997). L'archipel des Tuamotu est le plus riche au monde en nombre d'atolls (76) et ceux-ci se caractérisent par l'importance de l'isolement de leurs lagons comparativement aux 340 autres atolls de Micronésie, de Mélanésie ou d'ailleurs dans le monde. En effet les couronnes coralliennes submergées y sont plus rares et les seules communications entre l'océan et le lagon se font par les passes et les hoa (chenaux de communication au fonctionnement occasionnel). La variabilité du confinement des lagons d'atolls induit des compositions floristiques et faunistiques originales et très variées (Salvat, 1967 ; Adjeroud *et al.*, 2000). Ce confinement dans les atolls fermés (sans passe) est responsable de l'extraordinaire dominance de certaines espèces dont quelques unes ont été exploitées comme la nacre et sont à la base de la perliculture. Tous ces écosystèmes lagunaires sont autant de laboratoires vivants qui ont évolué différemment.

CONNAISSANCE DES RÉCIFS

Les recherches commencèrent par l'étude des peuplements dans les années 60, puis du fonctionnement de l'écosystème avant d'aborder des thématiques plus récentes (surveillance, changements climatiques, résilience, génétique des populations, connectivité, etc.). Elles sont le fait d'organismes de recherches implantés localement : (a) le CRIOBE-EPHE depuis 1971 sur Moorea a concentré ses recherches sur le secteur de Tiahura à Moorea – un des secteurs coralliens les mieux documentés au monde – et sur l'atoll de Takapoto dans le cadre d'un programme « Man and Biosphère » dans les années 70 (Salvat, 1988) ; (b) l'ORSTOM devenu IRD avec les programmes « atolls » (lancés en 1982, essentiellement sur Tikehau ; Intes & Caillart, 1994) et plus récemment « typatolls » (Dufour & Harmelin-Vivien, 1997) ; (c) l'Institut Louis Malardé avec ses recherches sur la ciguatera ; et (d) la Station GUMP de l'Université de Berkeley implantée à Moorea en 1985 avec plus de 160 travaux publiés (marins et terrestres). Signalons enfin les travaux mis en oeuvre sur les sites de Moruroa et de Fangataufa par les chercheurs du Commissariat à l'Énergie Atomique en association avec ceux d'autres organismes (Muséum, EPHE, Universités) dans le cadre de conventions avec la Direction des Centres d'Expérimentations Nucléaires et leurs apports considérables de connaissances notamment sur la géologie de ces atolls mais aussi sur l'écologie récifale de ces atolls et des atolls voisins (Salvat, 1967 ; Guille *et al.*, 1993 ; Bouchez & Lecomte, 1995 ; Bablet *et al.*, 1997 ; Lanctot *et al.* 1997 ; Ministère de la Défense, 2006 ; Planes *et al.*, 2007).

Plus de 1000 publications scientifiques et plus de 80 thèses et diplômes sur la PF constituent le résultat de 40 années de recherches au CRIOBE de Moorea, devenu Unité Mixte de Service du CNRS en 2007. Au-delà de ces études scientifiques, il faut mentionner les travaux de littérature grise (plus de 150 par le CRIOBE) et toutes les études de recherche appliquée auxquelles travaillent non seulement les organismes de recherche et de développement mais aussi les services du Pays (pêche, perliculture, environnement) et de nombreux bureaux d'études. La création en 1987 de l'Université Française du Pacifique (Nouvelle-Calédonie et PF) avec l'émergence de l'Université de PF en 1999 a donné lieu à plusieurs travaux dans les années 90. La création récente de l'IFRECOR en 1999 (Initiative Française pour les Récifs Coralliens) avec sa structure locale a développé de nouveaux liens entre les activités de recherche et leur implication en faveur de la gestion des récifs et lagons dans le cadre d'un développement durable (sensibilisation, surveillance de l'environnement, participation à la création d'aires marines protégées, etc.). Notons l'édition de l'Atlas de PF par l'IRD en 1993, celle de l'Encyclopédie de la PF (Gleizal, 1985 et 1986 pour les trois premiers volumes) et plus récemment l'Atlas des récifs coralliens de PF à partir d'imagerie satellitaire par l'IRD (Andréfouët *et al.*, 2005).

BIOGÉOGRAPHIE

Les récifs et lagons de PF, situés presque à l'extrémité orientale de la province indo-pacifique, abritent beaucoup moins d'espèces que ceux des zones de l'ouest du Pacifique (Ryukyus, Philippines, Australie, Nouvelle-Calédonie) considérée comme la métropole de cette province. Les espèces de coraux, de mollusques, d'échinodermes ou de poissons sont de deux à quatre fois moins nombreuses dans les eaux polynésiennes que dans celles de la Grande barrière de corail. Au sein même de la PF la diversité en espèces est variable : les Marquises sont dépourvues de véritables récifs et les scléactiniaires sont représentés par moins de 20 espèces ; aux Australes la faune est plus pauvre que dans les îles de la Société ou les Tuamotu. L'inventaire des espèces réalisé en 1985 (Richard, 1985) fait état de 168 coraux, 1159 mollusques, 271 crustacés, 800 poissons, 346 algues. La richesse actuelle en espèces décrites par les spécialistes est la suivante : 176 coraux scléactiniaires (Pichon *com.pers.*), 1500 mollusques (Trondle *com.pers.*), 978 crustacés décapodes et stomatopodes (dont un grand nombre d'espèces de profondeur) (Poupin, internet ; Poupin & Lemaitre, 2003), 1024 poissons (Kulbicki, 2007). Des groupes taxinomiques sont absents des récifs polynésiens comme les gorgones ou pauvrement représentés comme les alcyonnaires, les hydraires ou les éponges. Les mangroves sont absentes de PF et les palétuviers introduits à Moorea il y a plus de 50 ans n'ont pas connu d'extensions spectaculaires (Fauchille, 2003a) – il y en a aussi à Tahiti et Raiatea. De même, les herbiers de phanérogames marines

sont peu développés. Cette répartition biogéographique des peuplements récifaux en PF est expliquée d'une part par l'éloignement de la métropole considérée comme centre de diversité et de dispersion des espèces, grande distance qui n'est favorable qu'aux organismes à long stade larvaire (Salvat, 1967), et d'autre part par la surface réduite des milieux insulaires polynésiens peu favorable à une très grande diversité de biotopes. Notons que les études de génétique et de connectivité entre les formations coralliennes apportent des éclairages nouveaux sur ces répartitions biogéographiques (Planes & Galzin, 1998 ; Almany *et al.*, 2007).

SISMICITÉ ET TSUNAMIS

Le Laboratoire de Géophysique de Tahiti (LDG), installé à Pamatai, surveille l'activité sismique de la PF et du Pacifique à partir d'une dizaine de stations sismologiques (Tahiti, Rangiroa, Tubuai, Rikitea, etc.). La sismicité régionale de points chauds et ses crises (Teahitia-Mehetia pour la Société en 1981-1985, Est des Marquises en 1988-1990) n'ont pas eu d'incidence sur les récifs coralliens.

Les tsunamis peuvent être la cause de destructions et de dégradations des récifs. Le LDG est responsable du Centre Polynésien de Prévention des Tsunamis en charge de l'alerte Tsunami auprès de la Direction de la Protection Civile. Les tsunamis ont pour origine les zones de subductions du pourtour Pacifique. À une vitesse atteignant 800 km/h, les vagues peuvent provoquer des dégâts par leur amplitude qui augmente à l'approche des côtes comme dans le cas des Marquises en raison de la faible pente du relief sous-marin, de l'absence de récifs coralliens protégeant les rivages et de l'existence de baies. La disparition de motu sur Scilly (Salvat, 1983) et l'installation de gigantesques mégablocs sur les platiers extérieurs comme à Rangiroa (Bourrouilh-Le Jan & Talandier, 1985) pourraient leur être imputés.

CYCLONES

La PF dispose d'un réseau de stations météorologiques couvrant l'ensemble du Pays. En dehors de l'enregistrement des paramètres météorologiques habituels, elles permettent de suivre les cyclones qui peuvent provoquer de graves dégâts aux récifs. Les cyclones les plus importants ont été observés en 1878, 1903, 1905 et 1906 et occasionnèrent près de 800 victimes. Ils sont liés au phénomène El Niño. Entre 1971 et 2000 la PF a subi 11 cyclones (vents supérieurs à 117 km/h en moyenne sur 10 minutes) et 5 dépressions tropicales (vents entre 62 et 117 km/h), particulièrement en 1982-83 (respectivement 4 et 1). Aucun programme de suivi des récifs n'était en place au début de cette période mais des observations pertinentes ont été réalisées sur les dégâts considérables causés aux récifs des atolls de Tikehau et de Takapoto (Harmelin-Vivien & Laboute, 1983 ; Laboute, 1985) : 80 % des communautés récifales des pentes externes touchées à Tikehau et 40 % détruites à Takapoto, soit une destruction totale sur 16 millions de m². En avril 1983, les dégâts du cyclone Veena sur l'atoll de Nukutepipi ont pu être observés avec la projection sur le platier de mégablocs de 20 à 30 m³ (Salvat & Salvat, 1992) et un affouillement de plus de 4 m d'épaisseur sur des sols de cocoteraie.

CRISES DYSTROPHIQUES

Elles se produisent souvent en période de temps calme lors d'un certain confinement des eaux du lagon. Une trop forte surcharge en nutriments favorise des efflorescences phyto-planc-toniques qui provoquent une anoxie des eaux et la mortalité de certains peuplements benthiques et ichtyologiques. Il en fut ainsi à Hikueru en 1994 (Fichez & Harris, 1995), à Manihi la même année (Delesalle, 1994) et dans plusieurs îles de la Société dont Bora Bora en 2002.

AUTRES CAUSES DE DÉGRADATION NATURELLES DES RÉCIFS

Les phénomènes de blanchissement et les explosions démographiques de l'étoile de mer épineuse, *Acanthaster planci*, prédatrice du corail, seront abordés au cours de l'examen des réseaux de surveillance.

AIRES MARINES PROTÉGÉES (AMP) ET ZONES DE PÊCHE RÉGLEMENTÉE (ZPR)

La PF a compétence pour gérer le milieu marin placé sous sa juridiction. Les aires marines protégées au sens large relèvent soit du code de l'environnement soit du code de l'aménagement soit enfin de la réglementation en matière de pêche. Les premières sont celles des atolls de Scilly et de Bellinghausen (archipel de la Société) créées au cours de la période 1971-1992. Elles couvrent 11 360 hectares de lagon surtout pour la protection des tortues et des stocks de nacre. Les secondes sont celles qui sont inscrites dans le cadre des Plans de Gestion de l'Espace Maritime (PGEM) à Moorea et à Fakarava. Elles couvrent près de 1000 hectares soit 20 % de la surface totale du lagon. La réserve de biosphère (UNESCO) de la commune Fakarava dans les Tuamotu (atolls de Fakarava, Aratika, Niau, Raraka, Toau, Taiaro et Kahuehi) créée en 1972-2007 couvre près de 260 000 hectares de lagons et récifs. Elle relève du code de l'environnement pour l'atoll de Taiaro en tant que réserve intégrale et du code de l'aménagement pour les aires protégées du PGEM de la commune. Quelques îles des Marquises (Eiao, Hatutu, Motu One et Motane) sont classées depuis 1971 « aires de gestion des habitats et des espèces » (code de l'environnement) avec leur littoral. En outre les îles de Rapa (Australes) et de Maïao (Société) sont gérées par des comités traditionnels locaux. Les outils réglementaires pour protéger les récifs sont donc disponibles et variés, mais une stratégie de conservation à l'échelle du Pays reste à établir.

Au-delà des PGEM et des AMP, des zones de pêche réglementée (ZPR) ont été développées et sont mises en place pour gérer uniquement les activités de pêche (Huahine 1970, Taaone 2003, Muriavai-Mahina 1997, Tatakoto 2004, Faa 2006, Arue 2007). Elles représentent au total près de 900 hectares.

LE SUIVI DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES DU MILIEU CORALLIEN, PRODUCTION ET ACTEURS

Le suivi de l'exploitation d'une ressource des récifs coralliens par l'activité humaine, comme la pêche, s'établit généralement par des données annuelles (statistiques) d'exploitation qui peuvent être relevées sur des décennies : pêche, matériaux coralliens, perles et poissons d'ornement. Ces données d'exploitation seront associées à des professions (ex. pêche et pêcheurs)

LA PÊCHE POUR L'ALIMENTATION

La pêche est l'activité humaine la plus importante dans les récifs et lagons coralliens après l'utilisation des plans d'eaux calmes pour les déplacements. Elle concerne plusieurs produits destinés à l'autoconsommation familiale, au petit commerce local (troc ou vente), à l'exportation au-delà de l'île, enfin parfois à l'exportation vers d'autres pays. Notons d'abord que certains groupes animaux et végétaux ne sont que très exceptionnellement consommés en PF (algues, méduses, holothuries) alors qu'ils le sont plus communément dans d'autres archipels voisins du Pacifique Sud. Les poissons de récifs et de lagons (à l'exclusion des pélagiques du large, thons et bonites et des petits pélagiques du type *Selar* ou *Decapterus*) représentent un tonnage de prises annuelles qu'il a toujours été difficile d'évaluer compte tenu de l'autoconsommation qui est importante. Les seules données statistiques sur la pêche portant sur plusieurs années sont les tonnages commercialisés sur les marchés municipaux ; la figure 3 indique cette évolution au marché de Papeete et permet de constater une diminution de 80 % en 20 ans : plus de 1400 tonnes annuelles de 1972 à 1982 contre 200 en 2006. Mais ces chiffres n'incluent pas les ventes en bord de route et dans les magasins. Les statistiques des transports maritimes et aériens font état de 1100 tonnes de produits lagonaires acheminés sur Tahiti, essentiellement des atolls de Kaukura, Arutua et Tikehau (Pacific Consulting, 2002). Le service de la pêche considère que les prises totales sur l'ensemble de la PF, intégrant l'autoconsommation, sont de l'ordre de 3400 tonnes par an (Stein, 2007).

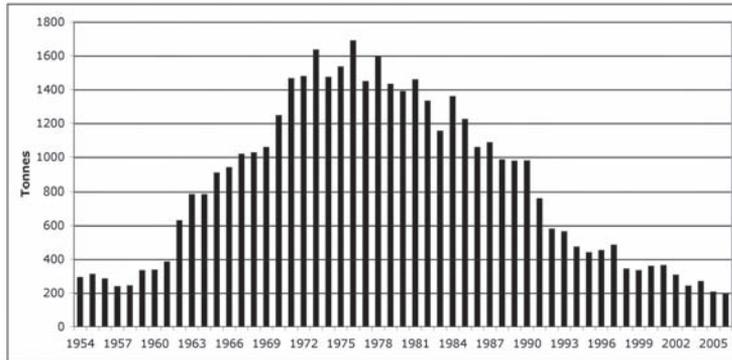


Figure 3. – Tonnage des poissons commercialisés sur le marché de Papeete depuis 1954. *Tons of fish on Papeete market since 1954.*

Pour les crustacés (langoustes, crabes) on note une commercialisation au marché de Papeete de plus de 13 tonnes par an entre 1954 et 1956, un tonnage inférieur à 10 tonnes entre 1965 et 1970 et un effondrement progressif pour tomber à 136 kg en 2006, signe d’une raréfaction certaine de cette ressource et de l’existence de circuits parallèles de commercialisation. Depuis peu, le marché de la chair de bénéitier s’est développé par des exportations vers Tahiti, essentiellement à partir de Tubuai, Raivavae et Tatakoto, pour dépasser les 70 tonnes par an depuis 2003.

La pêche lagonaire a un intérêt socio-économique évident. Elle a été bien étudiée à Moorea (Aubanel, 1993 ; Vieux, 2002 ; Yonger, 2002). Les estimations de consommation de poissons (pélagiques et récifaux) par habitant sont très variables selon les îles : de 50 à 139 kg/habitant/an (Lagadec, 2003) avec une proportion de poissons de récifs plus importante sur l’atoll de Tikehau (90 % de 139 kg) qu’à Moorea (74 % de 110 kg). Elle fixe la population dans les atolls où l’autoconsommation de poissons est quotidienne et importante. Elle est le témoignage d’un capital culturel et social caractéristique des populations polynésiennes.

LES MOLLUSQUES NACRIERS (NACRE, TROCA, BURG AU)

Les Nacres à lèvres noires (*Pinctada margaritifera*) atteignent des densités considérables dans les lagons d’atolls ayant peu de communication avec l’océan ce qui est une des caractéristiques géomorphologiques des Tuamotu (Salvat, 1967) et des Cook, comparativement aux autres archipels d’îles basses de l’Indo-Pacifique. L’utilisation des nacres pour la fabrication des boutons en nacre remonte au début du XIX^e siècle et c’est certainement à partir de 1850 que l’exploitation la plus importante des lagons nacriers polynésiens a eu lieu par les bateaux au départ de Sydney via les Tuamotu à destination de Valparaiso et de l’Europe. On notait déjà en 1833 une exportation de 643 tonnes. Les atolls d’Hikueru (409 tonnes en 1959 et un total de 3370 tonnes entre 1946 et 1965 ; Doumenge, 1966), de Marutea Sud, de Takapoto, de Takaraoa, de Takume et les Gambier ont été depuis deux siècles les principaux producteurs. Les maximums d’exportation ont été atteints entre 1919 et 1928 avec des tonnages supérieurs à 1000 tonnes, entrecoupés d’années de moindre production en fonction de l’ouverture ou non de la plongée à la nacre. La figure 4 retrace l’évolution du tonnage des exportations depuis le début du XIX siècle. Peu après la fin de la seconde guerre mondiale, les matières plastiques ont détrôné la confection des boutons en nacre. Les exportations ont chuté à quelques tonnes en 1975, pour ne reprendre qu’avec la perliculture qui laisse sur le marché un tonnage considérable des coquilles des bivalves sacrifiés lors de la récupération des perles de culture. Leur exportation contribue à la marqueterie et au marché des curios et autres objets en nacre. La figure 4 indique ce regain d’exportation de nacres de culture (près de 3000 tonnes en 2005) mais pour une très faible fraction de la valeur qu’elle représentait au début du siècle dernier où la nacre était la seconde ressource économique en valeur du territoire après le coprah.

Deux gastropodes nacriers sont récoltés et exportés du Pays. Le Troca (*Trochus niloticus*) fut introduit en PF en 1957 à partir d'une quarantaine d'individus ramenés des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu) et en 1958 à partir de 40 individus originaires de Nouvelle-Calédonie. Il a rapidement colonisé les récifs de Tahiti puis un très grand nombre d'autres îles, par transplantation et dispersion naturelle (faible toutefois car la durée de vie larvaire n'est que de 3 à 5 jours). Sa pêche est réglementée (localité, saison, taille) et son exportation a débuté en 1972 avec 126 tonnes. La figure 5 donne les quantités annuelles exportées qui sont variables en fonction des décisions d'ouverture de pêche et de leurs contraintes. On doit ajouter à ce tonnage d'exportation, les prélèvements locaux qui représentent plusieurs dizaines de tonnes par an pour les curios et surtout pour l'alimentation humaine, en remplacement du *Turbo setosus* « maoa » dont les stocks ont beaucoup diminué dans les îles à forte population humaine. Au total près de 2400 tonnes de coquilles de troca ont été récoltées sur les récifs polynésiens dans le cadre de pêches officielles avec une exportation maximale de 371 tonnes en 1990. Le Burgau (*Turbo marmoratus*) fut introduit en PF en 1967 avec 42 individus provenant du Vanuatu. Il a également colonisé de nombreuses îles hautes mais moins rapidement et avec des densités moindres que le Troca. Sa pêche est réglementée. Au total les exportations ont été de 136 tonnes avec un maximum de 53 tonnes en 1993 (Figure 5).

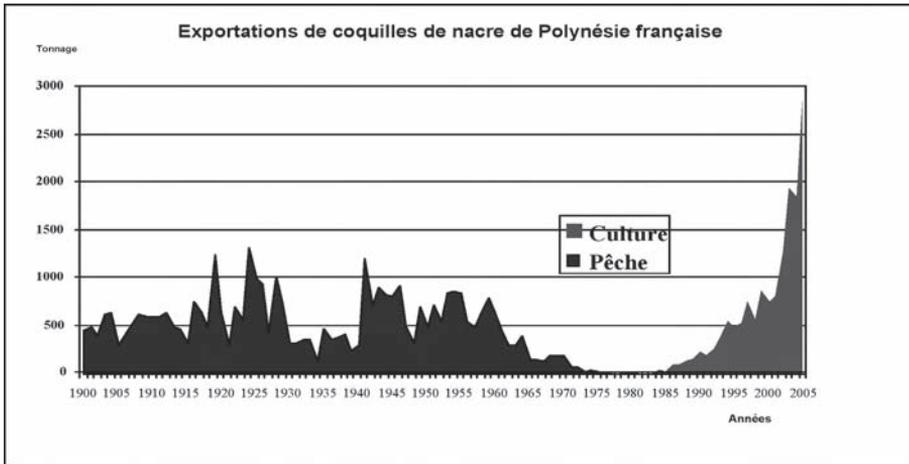


Figure 4. – Exportations en tonnes des coquilles de nacres (*Pinctada margaritifera*) par collecte sur le stock naturel jusqu'en 1990 et ensuite sur le stock élevé pour la perliculture. Tons of mother of pearl oysters (*Pinctada margaritifera*) exported, collected on natural stock until 1990 and on pearl culture activities after that date.

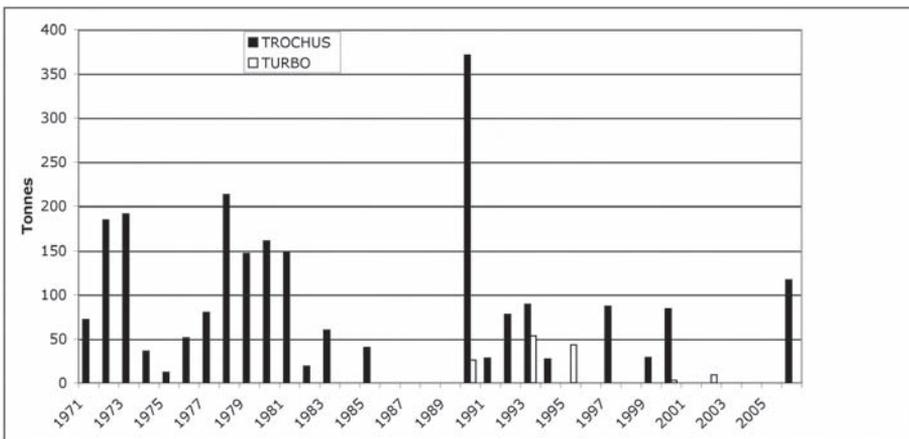


Figure 5. – Exportations de Troca (*Trochus niloticus*) et Burgau (*Turbo marmoratus*) depuis 1971. Tons of Trochus (*Trochus niloticus*) and Green Snail (*Turbo marmoratus*) exported from FP since 1971.

LES PERLES DE CULTURE DE TAHITI

Les premiers essais de greffe de nacre (*Pinctada margaritifera*) pour la production de perles noires débutent en 1961 à Bora Bora et Hikueru. En 1995 cette production occupait 5000 personnes réparties dans 600 fermes organisées en 100 coopératives dans 50 îles et atolls. On compte 26 atolls et 4 îles hautes avec une activité perlicole en 2006 parmi les 118 îles de PF. La surface totale des concessions maritimes pour la perliculture est d'environ 6 à 10 000 hectares avec une densité maximale de nacres élevées fixée à 12 000 individus par hectare. Il y a aujourd'hui environ 800 exploitations perlicoles occupant quelque 5 à 7000 emplois. Les petites exploitations (1-15 ha) représentent environ 80 % des perliculteurs, les moyennes (15-100 ha) environ 17 % et les plus importantes (>100 ha) approximativement 3 %. Les activités de collectage naturel des larves de nacres sont répertoriées dans 15 atolls que certains professionnels cumulent avec la production de perles de culture. La reproduction des nacres en éclosérie et l'élevage des larves jusqu'à la fixation font l'objet de recherches constantes car la maîtrise de la reproduction est nécessaire pour mener certains programmes de recherche, par exemple pour des études génétiques visant à sélectionner des géniteurs donneurs de greffons et des receveurs porteurs de perles afin de déterminer les caractéristiques de la perle qui va être produite. Les nacres donneuses sont celles dont on prélève un fragment du bord du manteau (le greffon) pour être introduit avec le nucléus dans le pied (poche perlière) du mollusque receveur.

Les exportations de perles brutes ont débuté en 1972. Elles restent inférieures à la tonne jusqu'en 1992, puis augmentent pour atteindre un maximum de 11 tonnes en 2000 (Fig. 6).

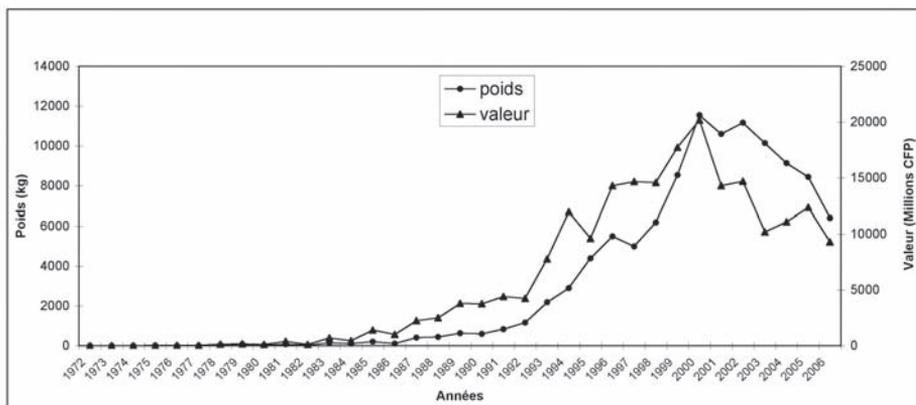


Figure 6. – Exportations en poids et en valeurs des perles de culture de Tahiti depuis 1972. *Weights and values of Tahitian cultured pearl exportations from FP since 1972.*

LES POISSONS D'ORNEMENT (AQUARIOPHILIE)

L'exportation des poissons de récifs pour l'aquariophilie est surtout le fait du Sud-Est asiatique pour un marché essentiellement orienté vers les Etats-Unis et l'Europe. L'entrée massive des larves de poissons par dessus le récif barrière a été une découverte écologique importante en PF au début des années 90 : après un séjour planctonique océanique plus ou moins long, ces larves sont recrutées dans les populations adultes après un séjour planctonique océanique plus ou moins long et selon des cycles relativement précis (Dufour & Galzin, 1993 ; Dufour, 1994). Des filets de crête permettent de récolter des milliers de larves, autrement promises à une quasi totale prédation, et de les élever quelques semaines pour ensuite tenter de les valoriser. Des entreprises se sont constituées pour cette activité. Par ailleurs, des actions de repeuplement de lagons ont été expérimentalement effectuées depuis 2004 à Bora Bora, Moorea et Rangiroa par relâchers de juvéniles issus de larves collectées (Planes & Lecchini, 2004 ; Planes *et al.*, 2004). Un guide d'identification des larves de 140 espèces de poissons, élaboré par le Service de la pêche, a été édité (Maamaatuaiahutapu *et al.*, 2006) par le CRISP pour faciliter l'émergence

d'une filière liée à cette activité. Deux entreprises polynésiennes travaillaient dans cette filière en 2006 et ciblaient différents marchés : aménagements éco-touristiques et exportation essentiellement vers les Etats-Unis. Les juvéniles d'élevages issus de collectes de larves et exportés pour l'aquariophilie appartiennent surtout aux *Pomacentridae*, *Acanthuridae* et *Chaetodontidae*. En 2006, seulement 2900 poissons d'aquarium d'élevages issus de collectes de larves ont été exportés, représentant 9 % des exportations polynésiennes de poissons ornementaux (Statistiques SPE, 2007). Cette proportion en forte baisse est liée aux marchés, aux niveaux de collecte et aux coûts de production.

LES EXTRACTIONS DE MATÉRIAUX ET GRANULATS CORALLIENS

Les zones frangeantes des lagons offrent naturellement et économiquement (domaine public) les matériaux nécessaires à tout pays pour son développement. La PF n'a pas échappé à l'extraction de « soupes de corail » à partir des années 70 en multipliant les sites d'extraction sans considération pour la protection de l'environnement ou l'esthétique du lagon et des rivages (Salvat *et al.*, 1979). Les îles sous le vent et Moorea comptent 138 anciens sites d'extraction soit une destruction frangeante d'un linéaire de 20 km (Porcher, 1993). Les plus importants eurent lieu dans les années 70. Des inventaires de granulats coralliens ont été réalisés (Porcher *et al.*, 1985) et des techniques d'extraction plus respectueuses de l'environnement proposées pour en limiter les dégâts (Porcher, 1993). Sur Tahiti on comptait 36 anciens sites d'extraction en 1985 pour un total de matériaux extraits de 3 millions de m³ (Porcher *et al.*, 1985). Sur Moorea les 17 anciennes zones d'extraction sur son pourtour de 72 km ont produit 730 000 m³ de matériaux pour une surface frangeante prospectée de 240 000 m². Les anciens sites ont été inventoriés (Fauchille, 2003b) avec des projets de réaménagements (Fauchille & Salvat, 2005). En 1984 le gouvernement décidait d'interdire les extractions sauvages, qui ont concerné une production de l'ordre de 1 à 2 millions de m³, les rendant exceptionnelles et soumises à dérogation.

LE SUIVI DE L'ÉTAT DE SANTÉ DES RÉCIFS ET LAGONS CORALLIENS ET DE LEURS PEUPELEMENTS

Selon ses objectifs, la surveillance du milieu peut concerner une station de quelques dizaines de mètres carrés de récifs ou l'ensemble de la PF et s'intéresser à des secteurs subissant des dégradations anthropiques ou des perturbations naturelles, ou les deux.

L'objectif général de la surveillance et des suivis environnementaux est de réaliser un bilan et une analyse explicative de l'évolution de l'état de l'écosystème corallien du Pays dans son ensemble afin de mieux appréhender les facteurs qui nécessitent des décisions politiques pour assurer la pérennité des récifs et de leurs ressources.

LA LIGNE DE RIVAGE

La modification de la ligne de rivage, généralement après remblayage d'une partie de la zone frangeante du lagon, est un excellent révélateur de la pression humaine et du développement d'une île (Aubanel *et al.*, 1991 ; Aubanel, 1993). Parapets de protection des propriétés en bord de plage (cause dominante), remblais de routes, quais et marinas font qu'à la fin des années 90 près de 50 % des rivages de six îles de la Société sont anthropisés (Aubanel *et al.*, 1999). Le linéaire côtier est dénaturé au détriment des zones lagunaires frangeantes qui sont des lieux d'alevinage et de grossissement des stades juvéniles de poissons de tout le système corallien. Sur l'île de Moorea l'anthropisation de la ligne de rivage augmente d'année en année : de 33 % en 1993 à 48 % en 2001 (Politi, 2001 ; Sindjoun, 2001). Le rivage de Tahiti est moins anthropisé (30 %) compte tenu de la partie est de la presqu'île qui est constituée de falaises (Raynal, 2004 ; Leille, 2005). Notons que l'aérodrome de Faaa a été construit en 1959 sur 148 hectares de zones frangeantes sableuses et coralliennes qui ont été remblayées.

L'introduction en 1933 à Moorea de quelques centaines de pieds de palétuviers *Rhizophora stylosa* en provenance de Nouvelle-Calédonie a été suivie pour établir l'éventuelle expansion d'une mangrove, nouvel habitat en zone frangeante. Deux études menées en 1987 et 2003 (Cavaloc, 1987 ; Salvat & Cavaloc, 1989, Fauchille, 2003a) indiquent à 16 ans d'intervalle que le nombre de palétuviers a quintuplé (16 000 en 2003) mais que le rivage de 49 km n'est occupé qu'à 5,2 % par une mangrove peu diversifiée sur une surface totale de 4,2 hectares (0,09 % du lagon).

LA QUALITÉ DES EAUX (TEMPÉRATURE, BACTÉRIOLOGIE)

Le suivi des températures océaniques, côtières, récifales et lagunaires

L'enregistrement des températures, avec des pas de temps de l'ordre de l'heure, a été effectué depuis 1991 dans de multiples stations des récifs et lagons de PF par le CRIOBE puis par le Service de la pêche à partir de 1998.

Sur la radiale de Tiahura-Moorea, plus d'une dizaine de stations sont équipées de 11 enregistreurs sur les zones frangeante, barrière et sur la pente externe corallienne et sableuse, soit entre le rivage et la profondeur de 55 mètres. Ces relevés portent sur 16 années et permettent de corréler les températures estivales des eaux supérieures à 29°C et les phénomènes de blanchissement des coraux. La figure 7 indique les températures entre 1998 et 2005 à une station frangeante de la radiale et à une station barrière recevant les eaux océaniques. En 1998, 2002, 2003 et 2005 les eaux frangeantes dépassent les 30°C ce qui n'est pas le cas des eaux océaniques.

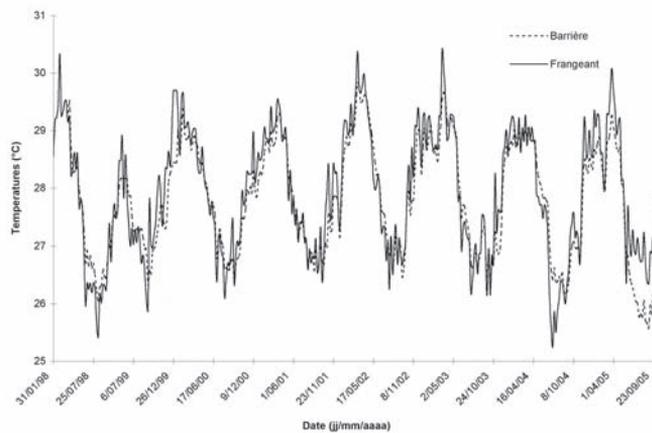


Figure 7. – Variations de la température des eaux sur la radiale de Tiahura, Moorea, sur le récif frangeant et sur le récif barrière entre 1998 et 2005. *Variation of sea surface temperatures on the Tiahura transect, Moorea, on the fringing and barrier reef from 1998 to 2005.*

En baie de Cook (Moorea) et aux abords lagunaires et extérieurs de celle-ci, l'Université de Californie a mis en place des stations de surveillance des caractéristiques physico-chimiques des eaux et de leur dynamique avec les marées et la houle (Project Detecting Long Term Changes in Coral Reef Ecosystems : LTER). Les nutriments sont régulièrement dosés. Pour certains paramètres, ce réseau de stations est complété par 4 autres stations réparties autour de Moorea.

Dans plusieurs îles du réseau de surveillance des pentes externes des 5 archipels de PF, le CRIOBE a mis en place des enregistreurs de température qui sont relevés lors de chaque surveillance, souvent après deux années ou plus de fonctionnement. Ces relevés se poursuivent actuellement sur les îles suivantes : Tikehau, Mataiva, Tetiaroa, Nengo Nengo, Marutea, Tubuai, Bora Bora et Takapoto.

En 1998 le Service de la pêche lançait un programme d'enregistrement des températures des eaux lagunaires d'une trentaine d'îles de la Société, des Tuamotu-Gambier et des Australes. Des thermographes à enregistrement horaire ont été immergés à 6 m de profondeur sur des filières d'huîtres perlières en élevage afin d'estimer les performances de leur croissance. Les enregistrements, plus largement en rapport avec la gestion de l'ensemble des ressources récifolagunaires, continuent sur Moorea, Aratika, Fangatau, Tubuai, Tetiaroa, Tatakoto, Takume, Raroia et Anaa. La figure 8 donne le faisceau des températures relevées dans 24 lagons entre 1998 et 2003.

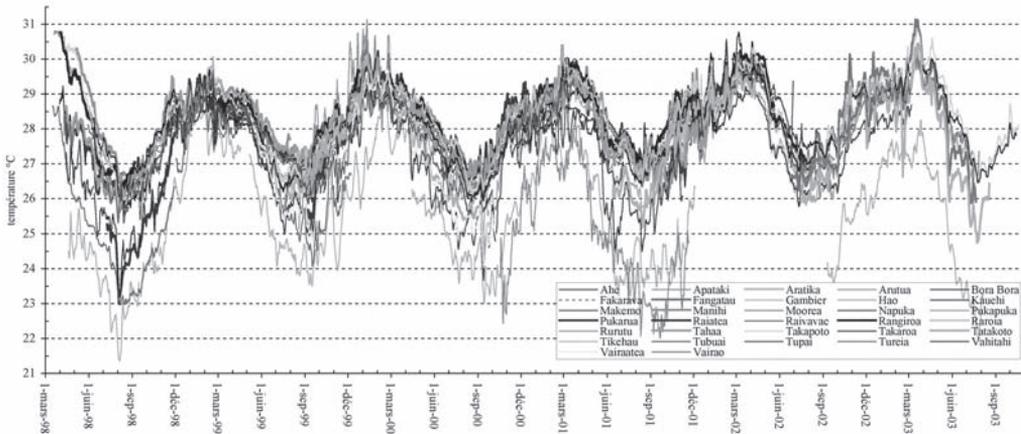


Figure 8. – Faisceau des variations de température des eaux de lagons d'atolls des Tuamotu. *Beam of lagoons waters temperatures variation in Tuamotu atolls.*

Le Service de la pêche, en collaboration avec l'IRD, a mis en place fin 2005 le projet SEASPOL grâce à une antenne de réception de données de satellites océanographiques. Les données de température de surface et de chlorophylle (couleur de l'eau) avec une précision spatiale de 1,1 km² sur une zone englobant largement toute la ZEE polynésienne, sont reçues en temps réel. Ces données sont quotidiennement mises à disposition des professionnels de la pêche hauturière via un site d'aide à la pêche. Conjointement un ingénieur halieute installé sur le port de pêche aide les professionnels à interpréter les cartes et à identifier les zones de pêche potentielles. À terme ces données pourraient être utilisées pour des analyses plus fondamentales comme la validation de modèles océaniques régionaux et les corrélations avec les rendements de pêche.

Le suivi de la qualité bactériologique des eaux

Le Service puis Centre d'Hygiène et de Salubrité Publique (CHSP), ministère de la santé, surveille la qualité des eaux de baignade dans 5 îles peuplées et touristiques avec 120 points de prélèvements en 2005 : Tahiti (75), Moorea (14), Bora Bora (12), Raiatea (11) et Huahine (8). Les points de Tahiti et de Moorea sont l'objet de prélèvements à 10 reprises chaque année et 4 dans les autres îles. Les protocoles, les analyses et leurs interprétations sont conformes à la directive européenne n° 76-160/CEE du 8 décembre 1975. Les analyses portent sur la numération des coliformes totaux, des *Escherichia coli* et des streptocoques fécaux et donnent lieu à une catégorisation des eaux autorisées pour la baignade ou momentanément polluées ou durablement polluées. Pour les îles susmentionnées et dans l'ordre, les pourcentages d'eaux de bonne qualité propices à la baignade sont de 72, 71, 100, 91 et 100 %. À Tahiti on compte 53 points de bonne qualité, 21 momentanément pollués et 1 pollué. Les résultats sont publiés chaque année dans un rapport détaillé, plage par plage, et font l'objet d'une carte largement diffusée. Au cours de la dernière dizaine d'années, on constate une tendance à l'amélioration

de la qualité des eaux de baignade à Tahiti et à Moorea, au-delà d'une variation interannuelle parfois importante qui tient aux conditions parfois particulières aux dates des prélèvements. Ceux-ci sont peu fréquents mais leur fréquence correspond aux minima requis par la directive européenne (Fig. 9).

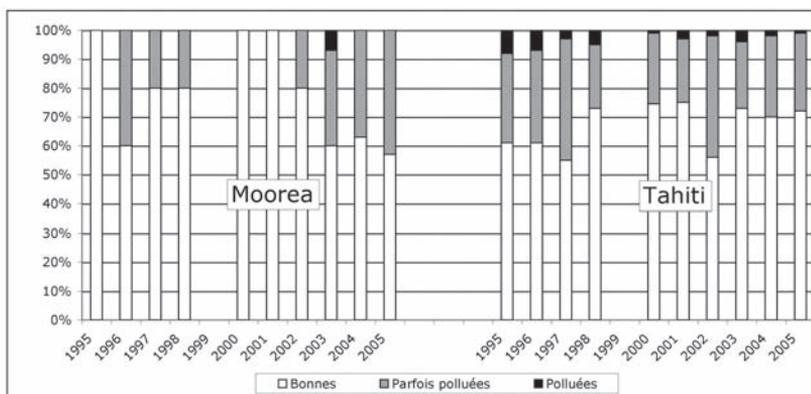


Figure 9. – Pourcentage d’eaux bonnes pour la baignade tout au long de l’année, d’eaux parfois polluées et d’eaux polluées de 1995 à 2005 (pas de prélèvements en 1999) pour Moorea (9 stations) et Tahiti (64 stations). *Percentages of good quality waters for swimming, of waters sometimes polluted and of polluted waters all the year round from 1995 to 2005 (no sampling in 1999) for Moorea (9 stations) and Tahiti (64 stations).*

La commune de Bora Bora a mis en place un programme autonome de surveillance bimensuel de la qualité des eaux de baignade et s’appuie sur les observations du réseau « Reef Check » pour bénéficier du pavillon bleu européen qu’elle obtient depuis 2000. Dans d’autres îles ou localités, les municipalités ou les hôteliers pratiquent des surveillances analogues.

LES PEUPELEMENTS

La surveillance du lagon et du récif du secteur de Tiahura à Moorea (CRIOBE)

Le secteur de Tiahura au nord-ouest de Moorea, sur lequel plus d’une centaine de chercheurs ont focalisé leurs recherches à partir de 1971, s’étire du rivage à l’océan sur 1200 m et sur 3 unités géomorphologiques que constituent la radiale de Tiahura : récif frangeant, récif barrière et pente externe. La richesse des travaux sur ce secteur de Moorea pendant plus de 4 décennies (plus de 50 thèses et 400 publications) en font un secteur de référence mondial de la connaissance des récifs, de son fonctionnement et de ses variations dans le temps soumis aux perturbations naturelles et anthropiques. Deux surveillances de détail sont assurées annuellement sur cette radiale depuis deux décennies par les chercheurs du CRIOBE afin d’établir et d’expliquer la variabilité des peuplements et leur résilience face aux perturbations.

Le plus ancien programme de suivi établi dès 1987 sur cette radiale prend en compte 22 stations pour le benthos et 3 stations pour les poissons. Le même opérateur (R. Galzin) relève, deux fois par an, la nature du benthos (coraux, macroalgues, algues calcaires, gazons algaux, sédiment, détritique grossier et autres) par la technique du transect à points équidistants (50 m, 50 points de relevés) ainsi que les peuplements de poissons en notant les abondances par espèce (50 x 2 m x hauteur de la colonne d’eau). C’est la plus longue série temporelle d’observation du secteur de Tiahura couvrant 20 années (Brenier, 2003 ; Gosselin, 2003). La figure 10 donne l’évolution temporelle du taux de recouvrement des coraux entre 1987 et 2006 à trois stations de la radiale et sur sa totalité. Elle met en évidence une diminution de ce taux en 1991 à la suite de l’importante mortalité corallienne due au blanchissement, bien documenté à l’époque (Salvat, 1992 ; Gleason, 1993), suivi d’une recolonisation progressive. La figure 11 donne pour la seule pente externe l’évolution de la densité et de la richesse spécifique en poissons. Les résultats ne sont pas identi-

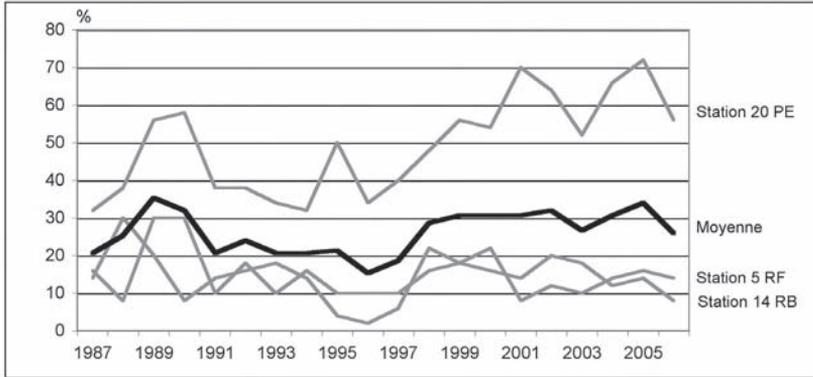


Figure 10. – Couverture en corail vivant sur 3 stations de la radiale de Tiahura Moorea (RF : récif frangeant, RB : récif barrière, PE : pente externe) et moyenne de 1987 à 2006. *Coral cover at 3 stations of the Tiahura transect Moorea (RF : fringing reef, RB : barrier reef, PE : outer slope) and mean from 1987 to 2006.*

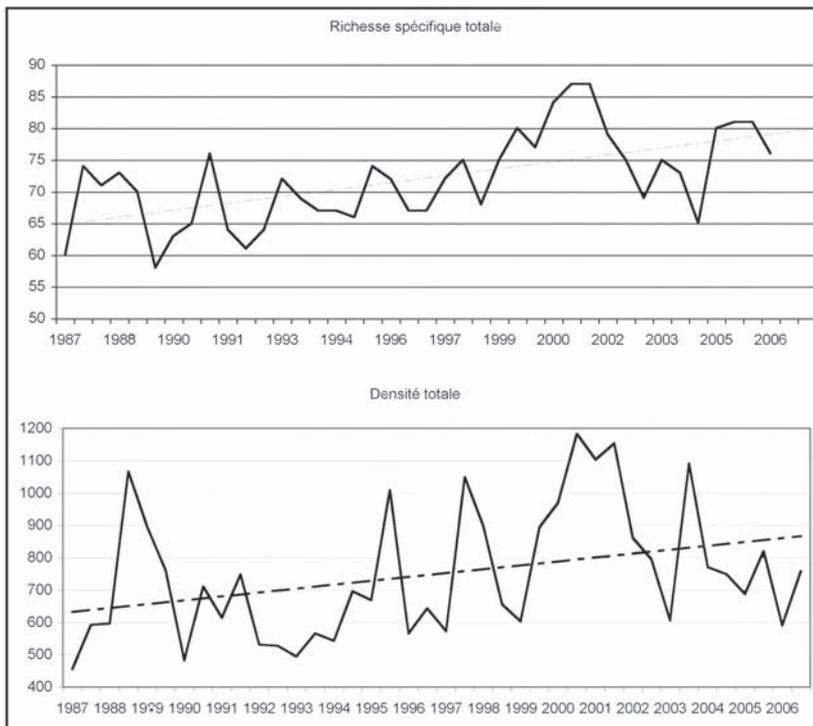


Figure 11. – Variation du nombre d'espèces et de l'abondance des poissons entre 1987 et 2006 sur la pente externe du récif de Tiahura, Moorea. *Variation of the number of species and abundance of fishes on the outer slope of the Tiahura reef, Moorea.*

ques pour les trois récifs étudiés mais on note une tendance à l'augmentation des deux indicateurs suite aux événements destructeurs majeurs de l'hiver 1982. Les données recueillies en 20 ans ont permis d'établir les différences de durée de résilience selon les unités géomorphologiques considérées de la radiale et de montrer, par une analyse plus fine, que les poissons d'intérêt commercial étaient en densité décroissante de 1987 à 2002 sur la zone (Brenier, 2003).

Le second programme de suivi a été établi en 1991 : l'« Agencement temporel des populations et des peuplements » (ATPP) relève quantitativement chaque année (mars - avril) les variations du substrat et des peuplements benthiques et ichthyologiques sur la zone barrière et la pente externe. Les méthodes de relevé reposent sur des unités d'échantillonnage fixes (10 en zone barrière et 8 en pente externe) avec transects linéaires à points équidistants (50 m et 1 m en zone barrière ; 25 m et 0,25 m en pente externe) pour substrat et coraux avec des couloirs de 2 m de large pour les autres peuplements (Salvat, 1992 ; Galzin *et al.*, 1993, Augustin *et al.*, 1997, 1999 ; Adjeroud *et al.*, 2002 ; Salvat & Aubanel, 2002). La figure 12 donne l'évolution du pourcentage de coraux vivants sur la pente externe de Tiahura (400 points de relevé le long

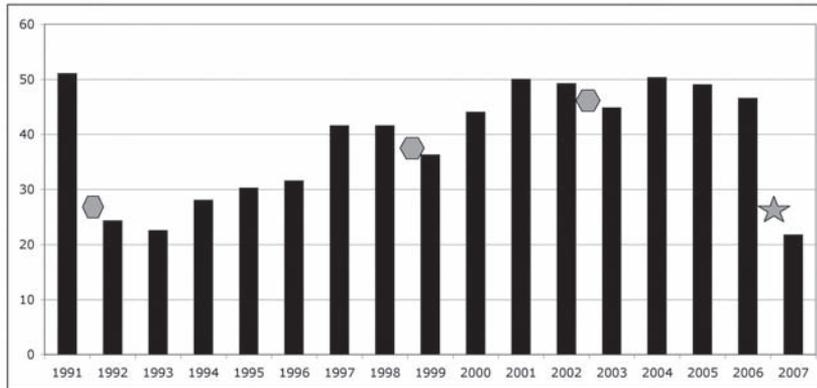


Figure 12. – Variation du recouvrement corallien (pourcentage) sur la pente externe du récif de Tiahura (profondeur 8-12 mètres) entre 1991 et 2006. Les hexagones représentent des périodes de blanchissement et de mortalité. L'étoile représente une pullulation d'*Acanthaster*. Evolution of the coral cover (percentage) on the outer slope of the Tiahura reef system (8-12 m deep) between 1991 and 2006. Hexagones are bleaching and mortality events. Star is a demographic explosion of *Acanthaster*.

d'un total de transects fixes de 200 m). On constate des chutes de recouvrement après les périodes de blanchissement de 1991, 1998 et 2002. Des blanchissements coralliens sont intervenus à plusieurs reprises au cours des dernières décennies mais avec une mortalité moindre qu'en 1991 et plus localisée : 1983, 1984, 1987, 1993, 1994, 2002 et 2003 (Salvat, 1992 ; Fagerstrom & Rougerie, 1994 ; Hoegh-Guldberg & Salvat, 1995 ; Adjeroud *et al.*, 2002 ; Salvat & Aubanel, 2002 ; Chancerelle *et al.*, 2008).

En dehors de ces programmes annuels de surveillance de l'état des communautés, plusieurs travaux présentent des comparaisons entre deux périodes éloignées (Berumen & Pratchett, 2006).

Les suivis à l'échelle de l'île de Moorea

— Le suivi des peuplements benthiques des pentes externes (CRIOBE) :

La surveillance sur le secteur de Tiahura ne permettait pas d'avoir une estimation des variations de l'état de santé des récifs des autres secteurs de l'île. Une méthode originale qualifiée « Photo Tow » a été mise au point pour une prospection rapide des pentes externes récifales à l'échelle insulaire. Elle combine le « Manta Tow » (remorquage d'un plongeur au dessus de la pente externe pour noter les recouvrements du substrat en coraux selon une grille de dominance) et la prospection photographique avec flash et GPS. À la profondeur de 9 m un cliché est pris tous les 200 m puis est traité numériquement pour identifier la nature du substrat sous des points quadrillés. La méthode nécessite deux personnes pour faire quelque 350 clichés en 5 jours tout autour de Moorea (environ 70 km). La méthode « Photo Tow Survey » (Chancerelle & Galzin, 2004 ; Chancerelle *et al.*, 2004a,b, 2008) a permis d'établir l'importance du blanchissement de juillet 2002 atteignant à des degrés divers les différents secteurs de l'île.

Elle a également été utilisée pour localiser les abondances en mosaïque des *Acanthaster planci* sur les pentes externes de Moorea en novembre 2006 (Lison de Loma *et al.*, 2006) alors que l'explosion démographique de cette étoile de mer avait déjà eu lieu dans les années 80 (Faure, 1989).

— Le suivi des peuplements planctoniques et benthiques (LTER) :

Le programme LTER, précédemment mentionné et développé à partir de la station GUMP de Berkeley, assure depuis 2005 une surveillance continue des peuplements phyto et zooplanktoniques, bactériens des sédiments et de la couverture du substrat (algues, coraux, invertébrés) sur plusieurs stations en baie de Cook et à ses abords, avec en complément 4 autres stations réparties autour de Moorea

— Le suivi du recrutement des coraux à Moorea (CRIOBE) :

Un suivi semestriel du recrutement des coraux sur des plaques de terre cuite a été mis en place dès 2000 sur trois sites de pente externe au nord et à l'ouest de Moorea à trois profondeurs (6, 12 et 18 m) par le CRIOBE. Adjeroud *et al.* (2007) donnent les résultats pour les trois premières années de surveillance avec l'analyse du détail des variations spatiales et temporelles en considérant principalement les *Pocilloporidae*, *Poritidae* et *Acroporidae* qui sont les familles dominantes du recouvrement corallien des pentes externes des îles polynésiennes. À Moorea, comme dans d'autres récifs à travers le monde, le recrutement des coraux montre une forte saisonnalité (Gleason, 1996 ; Adjeroud *et al.*, 2007 ; Fig. 13). Les *Pocilloporidae* et les *Poritidae* recrutent préférentiellement durant la période de décembre à mars. C'est également le cas des *Acroporidae* mais des pics de recrutement relativement importants peuvent avoir lieu entre septembre et décembre certaines années comme en 2000. À l'instar de nombreux autres récifs, une variabilité interannuelle significative du taux de recrutement a été mise en évidence, et notamment une diminution entre 2002 et 2003, en rapport avec le phénomène de blanchissement de 2002. Les taux de recrutement à Moorea sont considérablement plus faibles que ceux généralement observés dans la plupart des récifs de l'Ouest Pacifique, comme la Grande Barrière, mais sont en revanche similaires à ceux des récifs sub-tropicaux de haute latitude, comme Taiwan, Hong-Kong ou les Solitary Islands.

— Le suivi des aires marines protégées (AMP) du PGEM de Moorea (CRIOBE et GUMP) :

Le Plan de Gestion de l'Espace Maritime (PGEM) de Moorea a été mis en place en 2004 et comprend 8 aires marines protégées allant du rivage à la pente externe jusqu'à la profondeur de 70 mètres. Un groupement de chercheurs du CRIOBE et d'universités américaines, au sein de la Station GUMP (Berkeley) à Moorea, a établi un programme de surveillance de ces 8 zones comparativement à 5 autres zones témoins, afin de mettre en évidence les aspects positifs des mesures de protection (Fig. 14). La méthodologie se déploie selon la procédure BACIPS (before - after control impact pair series) sur les 8 aires en considérant trois sites sur chacune d'elles (frangeante, barrière et pente externe) et la prospection de trois stations par site, soit au total 117 stations (y compris témoins). Celles-ci sont repérées et retrouvées deux fois par an

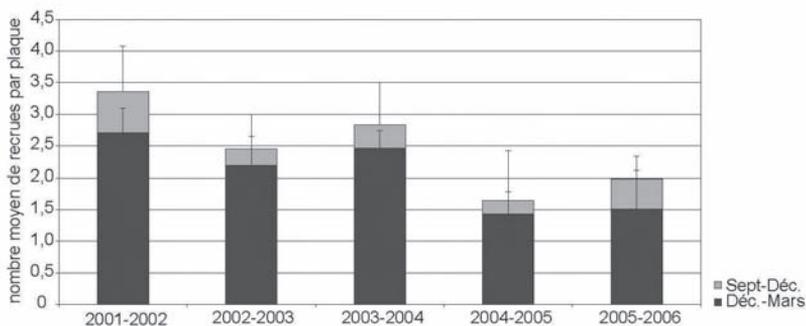


Figure 13. – Variations annuelles et saisonnières du recrutement en coraux à Moorea. *Variation of annual and seasonal recruitment of corals in Moorea (mean number of recruits per tile).*

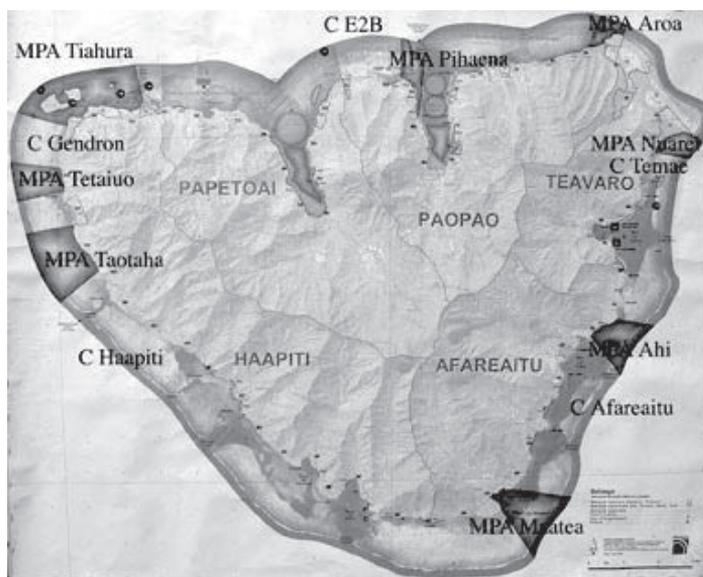


Figure 14. – Aires Marines Protégées (8) et aires de contrôles (5) à Moorea localisées dans le Plan de Gestion de l'Espace Maritime de Moorea. *Marine Protected Areas (8) and control areas (5) in the Maritime Management Plan of Moorea.* (Lison de Loma, 2007).

par GPS et les peuplements benthiques et ichthyologiques sont relevés sur des transects de 25 m et leurs couloirs de 2 mètres de large. Les prospections ont débuté en juillet 2004, avant la mise en place des AMP. La méthodologie et les premiers résultats de ce suivi ont déjà été publiés (Chancerelle *et al.*, 2004, 2005 ; Emmanuelli *et al.*, 2005, 2006 ; Lison de Loma *et al.*, 2007).

Les réseaux de surveillance sur les récifs et lagons de Tahiti (CRIOBE)

Le lagon de la baie de Papeete, actuellement le Port Autonome, a fait l'objet d'un suivi du milieu et des peuplements sur 22 stations de 1986 à 1999, date à laquelle il a été interrompu (Adjeroud *et al.*, 1998, 1999, 2000a). Les caractéristiques physico-chimiques des eaux et des sédiments étaient analysées ainsi que les peuplements benthiques et ichthyologiques. Le dernier rapport faisait état que, pour un port, ce lagon était dans une situation relativement satisfaisante.

Un réseau de surveillance de l'ensemble du lagon de Tahiti a été mis en place en 1989 mais arrêté en 1993. Ce réseau a été réactivé en 2006 avec 124 stations sur lesquelles sont relevés 40 descripteurs concernant les organismes vivants, les eaux et les sédiments.

La baie de Port Phaéton au fond de laquelle se situe le centre d'enfouissement technique (CET) des déchets de Tahiti est l'objet depuis 1998 d'un suivi sur 4 stations de rivières à leur embouchure dans la baie et sur 14 stations du lagon. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux et des sédiments, avec notamment l'analyse de métaux lourds et de pesticides, et des observations sur les peuplements benthiques et ichthyologiques, sont effectuées lors d'un bilan complet tous les deux ans, couplé à un seul bilan hydrologique les années intermédiaires. Aucune pollution majeure directement imputable au CET n'a été détectée depuis 1998 (Adjeroud *et al.*, 2005, 2006a,b).

Le réseau des pentes externes récifales de 14 écosystèmes insulaires (CRIOBE)

La surveillance des pentes externes récifales sur 14 îles hautes et atolls répartis sur toute la PF a été mise en place en 1993. L'objectif est d'évaluer les dégradations dues aux catastrophes naturelles (cyclones, blanchissements, *Acanthaster*) et les éventuelles conséquences des changements climatiques sur cette partie de l'écosystème généralement à l'abri des dégrada-

tions anthropiques (Salvat & Chancerelle, 2000 ; Chancerelle & Galzin, 2002 ; Adjeroud *et al.*, 2005). Sur un transect fixe et repérable, 20 quadrats de 1m² sont photographiés et les clichés traités numériquement pour établir la nature du substrat sur 81 points de chaque cliché. On en déduit la dominance des catégories de substrat dont celles des genres de coraux et le pourcentage de recouvrement corallien total. La surveillance a lieu régulièrement tous les deux ans, ou à la suite d'un événement naturel ou anthropique signalé. La figure 15 donne pour quelques pentes externes, les variations du recouvrement corallien dans le temps en fonction de l'occurrence de dégradations diverses. Les données de ce réseau ont permis d'établir que la résilience d'une pente externe presque complètement détruite était d'une douzaine d'années.

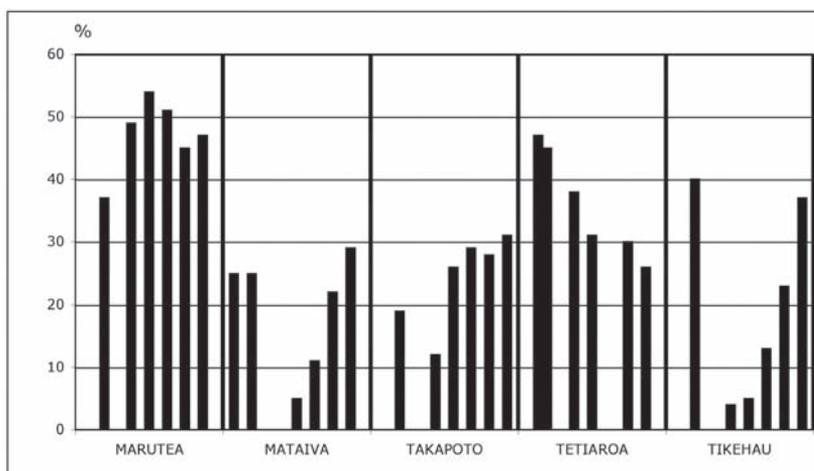


Figure 15. – Variation du recouvrement corallien sur les pentes externes de quelques atolls des Tuamotu (profondeur 8-12 m) en relation avec des phénomènes catastrophiques entre 1992 et 2006. *Coral cover variations on some Tuamotu atolls outer slopes (8-12 m deep) in relation to catastrophic events between 1992 and 2006.*

Le réseau de surveillance « Reef Check Polynésie »

L'objectif de « Reef Check » est de sensibiliser le grand public (riverains, utilisateurs des espaces coralliens, exploiters de leurs ressources, scolaires, touristes) à la fragilité de l'écosystème en l'impliquant activement dans le suivi de son état de « santé ». Des techniques simples de relevé des peuplements sur des surfaces déterminées sont enseignées lors de stages : 4 transects-couloirs (20 m x 5 m) avec le comptage de 11 espèces d'invertébrés et de 13 familles de poissons, ainsi que le repérage de la nature du substrat (10 catégories) sur 160 points. Les équipes locales volontaires renouvellent les relevés à un rythme au moins annuel. Les résultats sont centralisés au sein de « Reef Check Polynésie », lancée en 2000 par IFRECOR Polynésie, et sont intégrés à la base de données internationale « Reef Check Foundation » (des dizaines de milliers de volontaires). « Reef Check » participe ainsi au bilan de l'état de santé des récifs dans le monde établi par le « Global Coral Reef Monitoring Network » de l'ICRI.

Le réseau a débuté en 2000 (Salvat *et al.*, 2003, 2004) mais a pris son plein essor en 2006 (Lagouy, 2006). Les relevés les plus anciens datent de 2000 et 2001 (Bora Bora et Moorea), les plus récents ont démarré entre 2005 et 2007 (Tahiti, Huahine, Manihi, Tikehau, Rangiroa, Ahe, Tubuai, Raiatea, Maupiti, Mangareva). Plus de 70 bénévoles participent à la surveillance de 55 sites en PF (Lagouy, 2007) dont les effets sur le mouvement associatif et les élus sont incontestables, sans compter la complémentarité de ce réseau avec ceux des institutions techniques et scientifiques. La figure 16 donne, à titre d'exemple, les résultats effectués depuis 2001 sur une des 18 stations suivies à Bora Bora. Elle montre la forte mortalité des coraux entre 2001 et 2002 et leur récupération progressive depuis, ainsi que l'augmentation du nombre de bénitiers et d'échinides alors que les densités des poissons sont variables en fonction de la famille considérée.

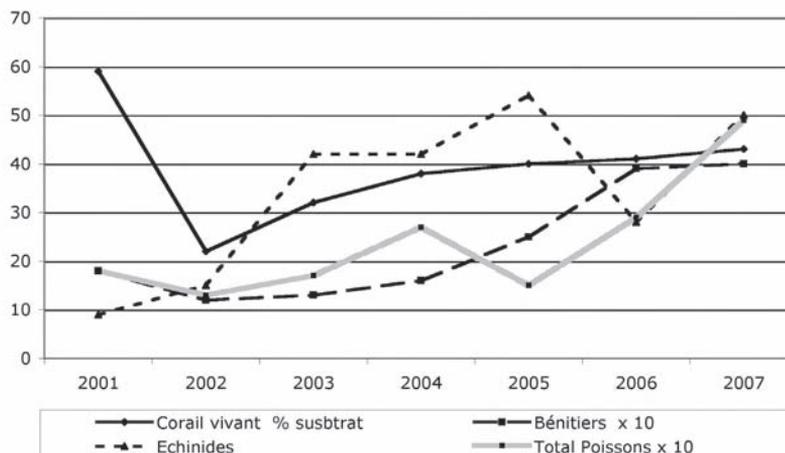


Figure 16. – Variations du recouvrement en corail et des abondances en oursins, en bénitiers et en poissons à la station Aquarium, lagon de Bora Bora, de 2001 à 2007. Variations of coral cover, abundances of sea urchins, giant clams and fishes on Aquarium site, Bora Bora lagoon, from 2001 to 2007.

Les sites d'expérimentation nucléaire de Moruroa et de Fangataufa

Sur les récifs extérieurs de Fangataufa, les peuplements de mollusques ont été suivis à 7 reprises entre 1967 et 1987 pour étudier l'impact de trois explosions nucléaires atmosphériques réalisées en 1968 et 1970 (Salvat *et al.*, 1995 ; Lanctot *et al.*, 1997). L'étude a montré que la densité de quelques espèces de gastropodes a chuté immédiatement après l'essai Canopus de 2,6 mégatonnes du 24 août 1968 (le plus puissant des essais français, mais six fois moins puissant que l'essai Bravo à Bikini par les États-Unis le 1^{er} mars 1954), en particulier pour les espèces de la zone supérieure conglomératique des récifs du site de l'essai. La recolonisation a toutefois été rapide mais les densités de ces espèces étaient encore en 1987 inférieures à ce qu'elles étaient avant les tirs. Des observations plus récentes, en 1997, ont permis de constater un retour complet à la situation d'avant essai (Salvat, com. pers.).

Dans le lagon de Moruroa, les peuplements ichthyologiques de 1990 et de 1996 ont été comparés afin de préciser leur résilience à la suite des mortalités provoquées par les ondes de choc des expérimentations souterraines entre 1976 et 1995 (Planes *et al.*, 2005). L'étude montre que les communautés de poissons se reconstituent très rapidement (1 à 5 ans) selon leurs structures habituelles dans leur habitat par ailleurs non dégradé par ce type d'expérimentations.

LA SURVEILLANCE DE LA PATHOLOGIE DES NACRES

Le développement rapide de la perliculture, avec une augmentation des densités d'huîtres en élevage et des transferts entre îles et atolls, est un facteur favorable à l'émergence ou la ré-émergence d'agents infectieux et à la propagation de maladies. Il devenait nécessaire de connaître la situation épidémiologique de *Pinctada margaritifera*. C'est pourquoi le Service de la perliculture et l'IFREMER-Tahiti ont mis en place un réseau de surveillance sanitaire des huîtres. Le réseau a débuté en 2003 et il a pour objectif d'identifier et de suivre l'évolution spatio-temporelle des organismes présents chez *P. margaritifera*, et de prévenir l'introduction et la dissémination d'agents pathogènes exotiques. Deux fois par an (février et septembre) des prélèvements de tissus d'huîtres sont effectués dans six des 30 lagons perlicoles de PF. L'identification des Sporozoaires de type grégarines, des organismes de type rickettsien et des zones d'enkystement de cestodes *Tylocephalum* spp. se font par analyses histologiques sur lames microscopiques. Signalons qu'aucune maladie identifiable par l'OIE (Office Internatio-

nal des Epizooties) n'est reportée en PF, confirmant le bon état sanitaire de *P. margaritifera*. La figure 17 donne les variations de prévalence de ces parasites entre 2003 et 2006 sur l'ensemble des prélèvements effectués (Cochenec-Laureau *et al.*, 2006).

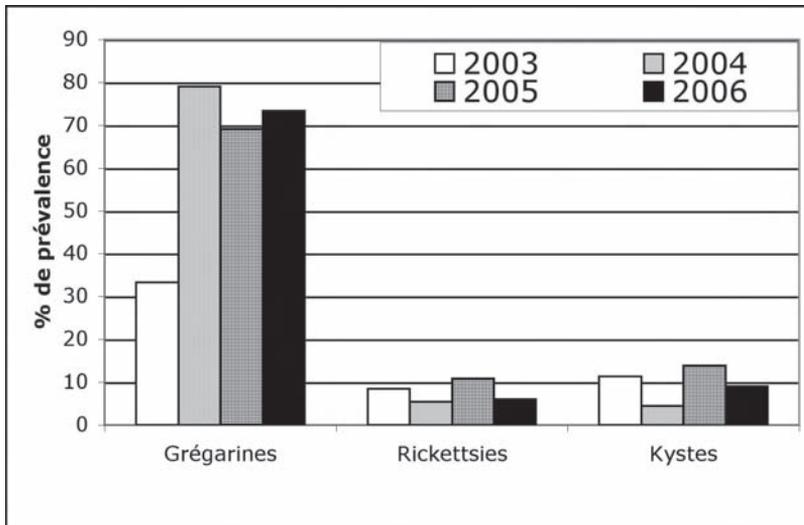


Figure 17. – Variations de la prévalence des parasites chez l’huître perlière (*Pinctada margaritifera*) dans les lagons polynésiens entre 2003 et 2006. *Prevalences variations of parasites in the pearl oyster (Pinctada margaritifera) in FP lagoons from 2003 to 2006.*

LA RADIOÉCOLOGIE

La Direction des centres d’expérimentations nucléaires (DIRCEN), organisme mixte Armées-Commissariat à l’énergie atomique (CEA) a été créée en 1964. Elle assurait la responsabilité des opérations à mener au Centre d’expérimentations du Pacifique (CEP) constitué des atolls de Mururoa et de Fangataufa. Elle veillait à ce que les essais soient réalisés dans le strict respect des règles de sécurité et de protection radiologique pour le personnel et les populations. De 1966 à 1996, la France a procédé à 193 expérimentations nucléaires, 41 dans l’atmosphère (1966 à 1974) et 137 souterraines (1975 à 1996) ainsi qu’à 15 essais de sécurité (sans explosion nucléaire).

Radioactivité en Polynésie française

Dès le début des expérimentations nucléaires, l’environnement et les aliments ont fait l’objet d’une surveillance radiologique sur l’ensemble de la PF. Le Service mixte de contrôle biologique (SMCB) effectuait les prélèvements d’échantillons de la faune, de la flore et des produits de la ration alimentaire locale des populations des cinq archipels. La radioactivité de ces échantillons était mesurée par le Laboratoire de surveillance radiologique (LSR) qui deviendra ensuite le Laboratoire d’étude et de surveillance de l’environnement (LESE à Tahiti) de l’Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Les résultats de ces mesures étaient utilisés pour évaluer l’exposition des populations des différents archipels et faisaient l’objet d’un rapport annuel adressé au Comité scientifique sur les effets des radiations atomiques des Nations Unies (UNSCEAR). Depuis 1996, le LESE réalise l’ensemble des prélèvements d’échantillons (hors sites d’expérimentations nucléaires) et évalue l’exposition aux rayonnements des populations. Ces informations sont toujours transmises annuellement à l’UNSCEAR.

La surveillance du milieu physique (sol, air et eau) est toujours complétée par celle des denrées (noix de coco, légumes, poissons, mollusques, crustacés, etc.) les plus représentatives de la ration alimentaire des populations des cinq archipels polynésiens. Aujourd'hui les résultats exprimés en Bq.kg^{-1} ou Bq.l^{-1} , parfois supérieurs aux limites de détection, concernent les radionucléides à période radioactive les plus longues comme le césium 137, le strontium 90 et les isotopes du plutonium (IRSN 2006). Depuis la fin des essais atmosphériques (1974), l'exposition par ingestion des populations a décliné régulièrement. En 2005, elle était inférieure à $5 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ (5 microsieverts par an), soit bien inférieure à la limite annuelle de dose à l'organisme entier pour l'exposition du public qui est fixée réglementairement en France à $1000 \mu\text{Sv.an}^{-1}$. Il faut noter que $5 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ représentent moins de 1 % de la dose due à l'exposition aux radionucléides présents naturellement en PF.

Radioactivité à Moruroa et à Fangataufa

Durant toute la période d'exploitation du CEP, la surveillance radiologique des sites était assurée par deux services de la DIRCEN : le Service mixte de sécurité radiologique (SMSR) et le Service mixte de contrôle biologique (SMCB). Ils ont fusionné en 1994 pour devenir le Service mixte de sécurité radiologique et biologique de l'Homme et de l'environnement (SMSRB). Depuis 1998, cette surveillance est placée sous la responsabilité du Département de suivi des centres d'expérimentations nucléaires (DSCEN) de la Délégation générale pour l'armement. Le DSCEN réalise une campagne annuelle de prélèvements sur les anciens sites de Moruroa et Fangataufa dont les résultats sont présentés dans un rapport annuel public largement diffusé.

Les radionucléides d'origine artificielle initialement mesurés dans les milieux physiques et biologiques des sites, provenaient essentiellement des quatre essais réalisés sur barge au début des essais atmosphériques (1966-1967). Les autres expérimentations atmosphériques effectuées en altitude, sous ballon captif, jusqu'en 1974 ont très faiblement contribué à la radioactivité résiduelle des deux atolls. À partir de 1975, la réalisation des essais dans le sous-sol profond des atolls, a permis de confiner les radionucléides dans le massif géologique basaltique.

Pendant la période des essais atmosphériques, la radioactivité des eaux du lagon décroissait rapidement après chaque essai. La rapidité des fluctuations de la radioactivité dans l'eau de mer avant et après essai a conduit à prélever des bioindicateurs : algues, plancton, mollusques, crustacés, poissons, etc. Ils ont en effet la capacité de concentrer les radionucléides dans certains organes (hépatopancréas, foie, muscles, etc.) proportionnellement à leur concentration dans les eaux. Pendant ces mêmes années, les radionucléides de période courte (< 1 an), comme ^{57}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{103}Ru , ^{144}Ce et ^{141}Ce ont également été quantifiés dans les bioindicateurs. Dès 1976, ils n'étaient quasiment plus détectés. Les radionucléides de période moyenne (de 5 à 30 ans), tels que ^{60}Co , ^{90}Sr et ^{137}Cs , ont également été détectés sur les mêmes bioindicateurs immédiatement après les essais sur barge. À la fin des années 90, leur radioactivité avait rejoint celle du bruit de fond, caractéristique des retombées radioactives mondiales. Les radionucléides à vie longue (^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$), issus des essais sur barge et de sécurité, ont toujours été mesurés à des niveaux d'activité massique très bas dans les échantillons biologiques, décroissant lentement au cours du temps.

Pour illustrer ce qui précède, la figure 18 montre la décroissance entre 1969 et 1995 de l'activité massique (Bq.kg^{-1}) en ^{60}Co de la chair et de l'hépatopancréas des bénéitiers (*Tridacna maxima*) prélevés à Moruroa. La figure 19 montre l'évolution entre 1969 et 2005 de l'activité massique (Bq.kg^{-1}) en ^{137}Cs de la chair des poissons chirurgiens (*Ctenochaetus striatus*) pêchés à Moruroa.

L'UTILISATION DES HABITATS CORALLIENS ET L'EXPLOITATION DE LEURS RESSOURCES

Dans une ZEE de 5,5 millions de km^2 , les 118 îles de PF ne totalisent que 2678 km^2 de terres émergées et $15\,047 \text{ km}^2$ de récifs et lagons. La Polynésie est sans conteste la collectivité française d'outre-mer où les récifs coralliens sont les plus importants au plan culturel et écono-

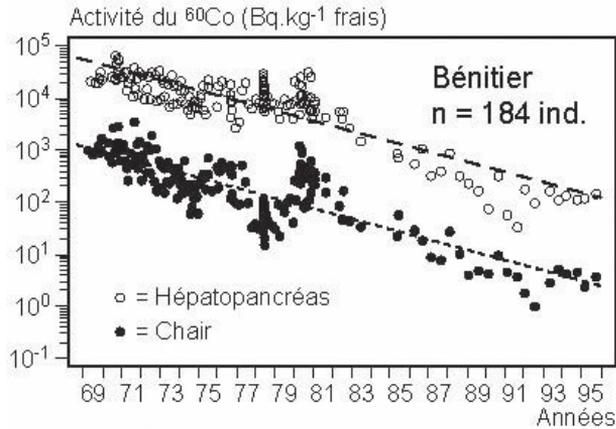


Figure 18. – Décroissance de l'activité massique du Cobalt 60 en Becquerel par kilogramme de la chair et de l'hépatopancreas du Bénitier (*Tridacna maxima*) à Moruroa entre 1969 et 1995. *Decreasing mass activity of Cobalt 60 in Becquerel per kilogram of the mantle-muscle and of the liver-pancreas of the giant clam (Tridacna maxima) from 1969 to 1995.*

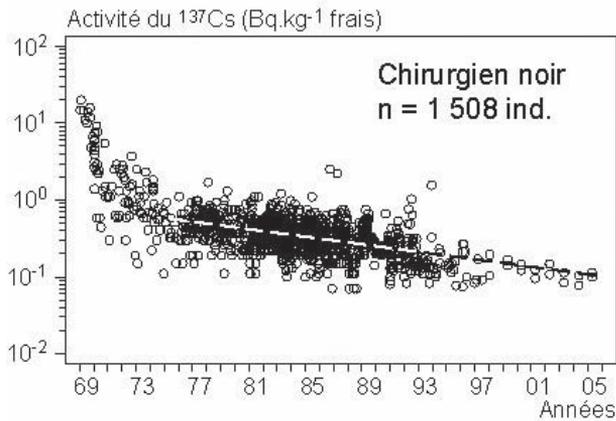


Figure 19. — Décroissance de l'activité massique du Césium 137 en Becquerel par kilogramme de la chair du Chirurgien noir (*Ctenochaetus striatus*) à Moruroa entre 1969 et 1995. *Decreasing mass activity of Cesium 137 in Becquerel per kilogram of the flesh Black surgeon fish (Ctenochaetus striatus) from 1969 to 1995.*

mique. L'histoire des polynésiens à la conquête des îles du Pacifique Est, leurs relations intimes avec les récifs et leurs ressources imprégnant fortement leur culture, comme l'exploitation de ces dernières au cours des deux siècles passés, en sont la démonstration.

Depuis le début de la colonisation, tout au long du XIX^e siècle et jusqu'au milieu du XX^e, outre les holothuries, la seule ressource littorale exportée a été la nacre dont les stocks étaient considérables dans les lagons de plusieurs atolls des Tuamotu. Au cours de cette longue période, et même avant la « découverte occidentale », les populations vivaient en économie de subsistance avec une très large part de leur consommation venant de la mer, conformément à leur culture et aux ressources disponibles. Dans les années 60, après l'exploitation des phosphates de Makatea (1908 – 1966), la croissance démographique, l'ouverture vers l'extérieur avec la construction de l'aéroport de Faaa, le développement économique avec l'urbanisation de Papeete, enfin l'implantation du Centre d'Expérimentation du Pacifique, vont profondément modifier la société polynésienne.

Les plans d'eaux lagunaires ont toujours été utilisés comme moyen de communication par les populations. Conjointement à la pêche traditionnelle, d'autres activités humaines se déroulent dans les lagons et sur les récifs extérieurs depuis quelques décennies. Elles sont liées au tourisme et aux activités de loisir des polynésiens (plongée, shark feeding, surf, etc.). Ces activités et l'utilisation de l'espace lagunaire aboutissant à des conflits d'intérêts, les PGEM ont été mis en place dans des lagons où la nécessité ou le besoin s'en faisait sentir, avec une appropriation certaine des populations dans le cadre d'une gestion participative. Ces plans font école à la demande des mairies, des associations et/ou sur sollicitation de l'administration et aboutissent à la création d'aires marines protégées.

Certains habitats lagunaires et récifaux ont été détruits irrémédiablement depuis une cinquantaine d'années par des remblais, d'une part, et des zones d'extraction, d'autre part, à Tahiti et à Moorea. *Les remblais* de zones frangeantes ont été réalisés pour les constructions portuaires, aéroportuaires et d'une manière générale pour tous les travaux d'aménagement du secteur public mais aussi du secteur privé (remblais privatifs). L'évolution de la ligne de rivage, maintenant à majorité artificielle, est éloquent à ce sujet et traduit un développement qui s'est fait sans grande considération de l'écologie du lagon et sans vision à long terme. Il en est de même des *extractions de matériaux coralliens*. Ils ont été nécessaires au développement mais réalisés n'importe où, plus exactement à proximité des besoins, zones encore inesthétiques, sans aucun projet de restauration, qui continuent à dégrader l'environnement voisin. Plus de 5 millions de mètres cubes extraits dans les zones frangeantes de Moorea et de Tahiti indiquent l'ampleur des dommages écologiques causés aux récifs.

Les ressources de l'écosystème corallien ont été exploitées par l'homme en fonction du développement progressif des îles et de l'évolution du cadre de vie des populations. C'est bien entendu dans les îles hautes très peuplées comme Tahiti et Moorea que les prélèvements ont été les plus importants.

— *La pêche* pour l'alimentation concerne majoritairement les poissons. Si certains stocks de poissons des récifs et lagons de Tahiti sont suspectés d'être surexploités et si ceux de Moorea sont en danger de l'être, on doit constater qu'il n'en est rien dans la plupart des atolls où la ressource est largement suffisante pour l'économie locale de subsistance. On note une exportation croissante de poissons des atolls vers Tahiti, en particulier de Kaukura, de Arutua et de Tikehau, avec une diversification des réseaux de distribution qui ne passent plus majoritairement comme autrefois par le marché de Papeete où les tonnages annuels sont tombés de 80 % en 20 ans. Les crustacés (langoustes et crabes) constituent une ressource en grand danger de disparition si l'on en juge par les quantités traitées au marché de Papeete qui sont tombées de 13 tonnes à 134 kg en 50 ans. En revanche, par suite de l'épuisement des stocks de bénéitiers dans les lagons des îles peuplées, on note l'apparition d'une exportation de la chair de bénéitier, très prisée par les polynésiens, de plusieurs lagons (Tubuai, Raivavae, Tatakoto) vers Tahiti. Cette exportation locale augmentera compte tenu de la demande de Tahiti et de l'abondance de la ressource dans de nombreux lagons fermés des Tuamotu ; une exportation durable si les stocks sont bien gérés.

— *La nacre*, ressource pillée au cours de la période coloniale, n'est plus exportée que parce qu'elle est un sous-produit de la perliculture. Le Troca (*Trochus niloticus*) et le Burgau (*Turbo marmoratus*), tous deux mollusques nacriers introduits en PF, constituent des compléments de revenus importants aux populations lorsque la pêche réglementée est autorisée par une gestion des stocks satisfaisante. La perliculture est devenue la ressource économique essentielle du Pays avec le tourisme. Débutant en 1961, elle concerne 50 îles, plus de 800 exploitations, 5000 personnes ; les exportations culminent avec 11,5 tonnes en 2000 pour se situer actuellement dans les 6-7 tonnes. Les conditions d'élevage des nacres et leur densité n'ont pas encore fait l'objet de recherches quant à leurs conséquences sur l'écologie des lagons et leurs peuplements naturels.

— *Le commerce des poissons d'ornement* pour l'aquariologie n'a jamais été important en PF mais c'est un marché qui s'ouvre actuellement à la suite de la découverte du retour massif des larves de poissons par dessus le récif barrière, par la technologie développée pour les récolter en quantité et les élever quelques semaines. Cet élevage va au-delà du marché de l'aquariologie puisqu'il permet des ré-ensemencements de lagons aux stocks de poissons décimés ainsi que des ouvertures vers l'aquaculture. Notons qu'il s'agit là d'une avancée scientifique et technologique de la PF qui se développe dans les pays océaniques et du sud-est asiatique.

LES CAUSES DE DÉGRADATION ET L'ÉVOLUTION DE L'ÉTAT DES RÉCIFS

Les réseaux de surveillance qui ont été mis en place permettent de corrélérer les dégradations avec les catastrophes naturelles et les activités anthropiques qui les causent. Ils permettent de comprendre le fonctionnement du récif corallien et sa capacité ou non à se rétablir, tel qu'il était avant perturbation ou modifié quant à ses peuplements. L'existence de ces réseaux de surveillance, la participation des populations pour certains d'entre eux et la diffusion de leurs observations participent grandement à la sensibilisation du public et des politiques. Les résultats de ces réseaux donnent aux autorités la possibilité de remédier aux causes humaines de dégradation des habitats et fournissent des éclairages pour réglementer une gestion durable des ressources, pour mettre en place des plans de gestion et pour créer des aires marines protégées.

La qualité bactériologique des eaux côtières est satisfaisante et l'on doit noter qu'au-delà de leur surveillance par les services du Pays, des mairies et des privés assurent eux-mêmes cette surveillance ; initiatives qui se développeront certainement. Depuis les phénomènes de blanchissement de coraux liés à des températures estivales élevées (1991), plusieurs institutions ont mis en place des enregistreurs de température dans de nombreux habitats et sur l'ensemble de la PF. Les peuplements benthiques et ichtyologiques des récifs et lagons sont suivis de façon détaillée, tout particulièrement à Moorea où d'une approche sectorielle à Tiahura (Nord-Ouest) on est passé à l'approche insulaire. La concentration des observations sur Moorea est considérable et elle trouve son point d'orgue dans la mise en place du PGEM avec ses 8 aires marines protégées et leur suivi. Trois réseaux travaillent à l'échelle de la PF. Le premier concerne les pentes externes de 14 îles et s'adresse essentiellement à l'évolution des peuplements sous les effets des événements naturels catastrophiques avec la perspective d'observer les conséquences des changements climatiques dans les décennies à venir. Le deuxième réseau relève de la sensibilisation des populations avec l'incitation à surveiller eux-mêmes, avec des méthodes simples, l'état de leurs récifs et lagons. Cette approche d'appropriation menée par « Reef Check » est très féconde et fournit des données à un réseau international. Le troisième est le réseau de surveillance de l'état de santé des nacres en élevage ; avec la préoccupation d'épidémies qui mettraient à mal le cheptel sur lequel repose la perliculture, seconde ressource économique du Pays. Ce réseau constate pour l'instant l'absence de risque de maladies et l'absence de maladie connue à déclaration obligatoire à l'OIE (Office International des Épi-zooties). Enfin les anciens sites d'expérimentations nucléaires, atmosphériques de 1966 à 1974 et souterraines de 1975 à 1996, à Moruroa et Fangataufa, continuent d'être suivis au plan de la radiobiologie et des peuplements comme au niveau sismique.

Il nous est difficile d'établir les pressions et dégradations anthropiques sur les récifs et leurs ressources, ainsi que les modifications de leur état de santé au cours des cinquante dernières années car les observations et indicateurs à ce sujet ne vont apparaître qu'au cours des toutes dernières décennies. Si les recherches de base (connaissance) sur les récifs de Polynésie française débutent dans les années 60, il faut attendre les années 80 pour commencer à appréhender leur fonctionnement et les années 90 pour que soient mis en place les programmes de surveillance de l'état de santé des récifs et lagons par des scientifiques puis les services du Pays.

LES IMPACTS DES PHÉNOMÈNES CATAclysmiques Naturels

Pour certains événements (tremblements de terre, éruptions volcaniques, tsunamis et cyclones), nous disposons d'informations au-delà des cinquante dernières années. En effet, les dommages qu'ils ont occasionnés aux populations permettent de les situer dans le temps avec, parfois, la connaissance acquise ou supposée de leurs effets sur les récifs coralliens. Au cours des deux derniers millénaires, les *tremblements de terre* locaux n'ont jamais affecté les récifs et les dernières *éruptions volcaniques* (Mehetia sans doute) ont été antérieures à l'implantation des populations polynésiennes. Les *tsunamis* ont peut-être été responsables il y a quelques siècles de profonds changements géomorphologiques des îles avec des conséquences sur les populations riveraines (disparition de motu à Scilly, mise en place de mégablocs sur des platiers) mais cela reste à démontrer. Les *cyclones* ont provoqué des dommages très importants

aux récifs qui ont pu être quantifiés lors de la période 1982-83 : destruction du couvert corallien des pentes externes de 80 % et de 40 % respectivement à Tikehau et à Takapoto. De même, les cyclones Martin et Osea en 1997 sur Raiatea et Bora Bora, ainsi que le cyclone Veli en janvier 1998 sur Mataiva et Tikehau, ont fait d'importants dégâts. Mais la fréquence des cyclones dévastateurs est faible, les précédents remontant au début du XX^e siècle.

Les *phénomènes de blanchissement* des coraux ont été corrélés à des températures estivales trop élevées (avec une multitude de repérages des températures des récifs et des lagons depuis près de 20 ans) et leur mortalité observée et quantifiée dans plusieurs réseaux de surveillance. Les suivis des peuplements ont permis de constater la mortalité des coraux si le stress est de longue durée et/ou de forte amplitude. C'est ainsi qu'on peut considérer qu'à l'échelle régionale le blanchissement de 1991 a été très dommageable pour les récifs coralliens avec une mortalité à Moorea d'une colonie sur cinq, majoritairement des *Acropora*. Le sévère blanchissement de 1998 dans l'ensemble de l'aire de distribution des récifs coralliens dans le monde, a été d'une moindre ampleur en PF. Signalons que des phénomènes de blanchissement corallien sont intervenus à plusieurs reprises au cours des dernières décennies (1983, 1984, 1987, 1993, 1994, 2002 et 2003) mais avec une mortalité moindre qu'en 1991 et plus localisée.

L'*explosion démographique* des *Acanthaster* qui ont décimé les peuplements coralliens dans tout l'Indo-Pacifique à la fin des années 70 et au début des années 80, n'a pas épargné les récifs polynésiens. Les mortalités datent de 1978-1982 où la concentration en « taramea » était par endroit de 3 à 4 individus par m² dévorant surtout les *Acropora* et secondairement des *Montipora* et les *Pocillopora*. Il est intéressant de noter qu'une nouvelle pullulation (2006-2007) semble se dessiner, une trentaine d'années plus tard, si l'on en juge par les rapports d'augmentation des densités de « taramea » dans les récifs de plusieurs îles avec des mortalités de coraux et une réduction du recouvrement corallien de certaines pentes externes (Tiahura, Moorea) passant de 50 à 30 % entre 2006 et 2007. Une grande perturbation des récifs par les « taramea » semble s'annoncer à l'échelle régionale puisque les îles de Raiatea, de Tahaa, de Huahine et de Rurutu sont également concernées par cette pullulation.

Les *crises dystrophiques* (dysfonctionnement de la chaîne trophique) ne se produisent que localement et occasionnellement dans certains lagons aux faibles communications avec l'océan. Dans ce contexte d'une approche temporelle et spatiale difficile, aucun réseau de suivi n'a été mis en place mais l'apparition de ces événements est noté et leurs conséquences évaluées. Ils se produisent par suite d'une trop forte surcharge en nutriments qui favorisent des efflorescences phytoplanctoniques et par un confinement des eaux lagunaires. Ils amènent une anoxie des eaux et la mortalité de certains peuplements benthiques et ichtyologiques. Il en fut ainsi à Hikueru en 1994, à Manihi la même année et dans plusieurs îles de la Société dont Bora Bora en 2002.

Au terme de cette revue des phénomènes naturels dégradant les récifs polynésiens, nous noterons que ces derniers subirent à la fin des années 70 et au début des années 80 les conséquences de plusieurs catastrophes naturelles qui les ont considérablement fragilisés.

LES IMPACTS DES ACTIVITÉS HUMAINES

Les conséquences néfastes des activités humaines sur les récifs et lagons polynésiens doivent être nuancées par des considérations spatiales. La première est de préciser que cet impact n'existe que dans les îles peuplées et/ou à forte activité lagonaire. Notons qu'une trentaine d'atolls des Tuamotu sont inhabités et que les effets des activités humaines y sont quasiment nuls ; ceux-ci ne subissent que des dégâts occasionnés par les événements naturels. Notons par ailleurs que les pentes externes récifales des îles hautes comme des îles basses, zones constructrices de l'écosystème corallien par rapport aux lagons en voie de comblement, sont celles qui subissent les plus grands dommages par les événements naturels mais qu'elles sont relativement à l'abri des dégradations humaines, sauf dans certaines zones d'îles très peuplées comme la zone urbaine du grand Papeete.

Dans les zones lagunaires aux rivages très peuplés, et *a fortiori* dans les zones urbanisées, les impacts des activités humaines sur les récifs coralliens ont pour origine une surexploitation des ressources, d'une part, et une mauvaise gestion côtière des terres et des activités humaines,

d'autre part. Si la pêche a réduit considérablement les stocks d'espèces consommées (poissons et benthiques) dans ces zones peuplées, les autres dégradations viennent de la suppression (remblai) ou de la destruction (extractions de matériaux) des zones frangeantes et des effets conjugués d'une sédimentation terrigène et d'un enrichissement en nutriments par le rejet des eaux usées non traitées. Tous ces facteurs détruisent ou dégradent le récif et le lagon ainsi que leurs peuplements coralliens au bénéfice d'un peuplement en algues plus important. Cette situation est générale dans le monde pour toutes les zones urbanisées.

La pression anthropique sur les littoraux et les lagons des îles hautes est bien révélée par la ligne de rivage dont la nature est modifiée au fil du temps devenant « artificielle ». A cet égard les études sur les îles de la Société, dont Tahiti et Moorea, sont éloquentes concernant cette artificialisation en marche dont on voit mal comment elle pourra être inversée.

Quelques lagons d'atolls habités subissent une surexploitation des ressources (pêche) mais dans des zones géographiquement délimitées et, dans ce cas, les PGEM avec le zonage de toutes les activités humaines sont un bon outil pour une gestion durable des habitats et des ressources. L'élevage intensif de centaines de milliers de nacres dans les conditions où s'opère cet élevage (en pleine eau alors que ces mollusques sont benthiques) dans les lagons perlicoles a certainement des effets sur les conditions du milieu lagunaire et les peuplements sauvages, mais cette question n'a pas été étudiée. Toutes les autres activités humaines dans les lagons d'atolls habités sont peu dégradantes, en soulignant la faible pression démographique qui existe.

Nous soulignerons toutefois les difficultés que les autorités rencontrent dans l'application de la réglementation pour la protection de certaines espèces comme les tortues, interdites à l'élevage et, sauf dérogation exceptionnelle, à la consommation, en raison de pratiques ancestrales dans des îles basses où les ressources autres que les poissons sont inexistantes. Soulignons la récente décision des autorités d'interdire la pêche aux requins qui sont massacrés ailleurs pour la récupération de leurs ailerons. Les dauphins et les baleines bénéficient de règlements de protection (sanctuaire), qui pour leur approche et leur observation, rencontrent auprès des habitants et des opérateurs pour touristes une attention très bienveillante et respectée.

LA SYNERGIE ENTRE LES PHÉNOMÈNES NATURELS ET LES ACTIVITÉS HUMAINES

Ainsi donc les phénomènes naturels (cyclones, blanchissements, prédateurs) sont ceux qui causent le plus de dommages aux récifs coralliens en termes d'intensité et de surface, atteignant les récifs des îles habitées comme inhabitées. Les récifs supportent « naturellement » ces catastrophes, sans quoi ils n'existeraient plus depuis longtemps. Les dégradations par les activités humaines ont essentiellement lieu dans les lagons des îles hautes peuplées, avec l'incertitude des conséquences de l'activité perlicole dans les lagons d'atolls où s'est développé l'élevage intensif de millions de nacres en milieu pélagique.

C'est la synergie des conséquences dégradantes des actions naturelles et anthropiques qui pose problème quant à l'avenir des récifs dans les zones où ces dernières se conjuguent. Le suivi de l'état de santé de récifs après des événements naturels destructeurs majeurs a montré que celui-ci récupère au terme d'une douzaine d'années, ce temps de résilience étant variable selon l'importance de la destruction du recouvrement corallien. Les récifs qui subissent continuellement les conséquences des dégradations et pollutions humaines sont déjà fragilisés lors des événements cycloniques de blanchissement ou d'explosion de prédateurs. Ils n'ont pas la possibilité de se rétablir et conservent un état dégradé persistant qu'attestent un faible recouvrement corallien et une dominance des peuplements algaux. C'est ce que l'on peut constater dans les lagons de Tahiti (zone urbaine) et de Moorea. La disparition des Acropores parasol, colonies métriques âgées de plusieurs décennies, en est la meilleure illustration.

LA SITUATION ACTUELLE DES RÉCIFS ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'ensemble des considérations qui précèdent permet de comprendre pourquoi les récifs de PF, les plus isolés au monde au cœur du Pacifique, sont parmi les moins dégradés du monde. Les unités insulaires ne subissant aucun impact anthropique sont très nombreuses et les zones

constructrices de l'écosystème récifal de toutes les îles, les pentes externes, sont à l'abri des activités humaines sauf dans quelques zones d'îles très peuplées. Seuls les lagons aux rivages urbanisés ou fortement peuplés sont dégradés et leurs ressources halieutiques réduites. Encore que la densité des populations et leur pression sur le milieu corallien n'ont rien à voir comparativement à la situation dans le Sud-Est asiatique.

L'approvisionnement en poissons récifaux des habitants de Tahiti (plus de 60 % de la population de la PF) se développe à partir d'importations d'atolls des Tuamotu, alors que dans ces îles les ressources sont tout à fait satisfaisantes pour l'économie locale. Les espèces exploitées (Troca, Burgau) sont gérées durablement. La filière de capture des larves de poissons sur les fronts des récifs pour les marchés de l'aquariophilie et des réensemencements à but écotouristique est sans dommage pour l'environnement et devrait se développer. L'élevage intensif des nacres dans les lagons ne semble pas, ou pas encore, et faute d'études scientifiques à ce sujet, poser de graves conséquences sur l'écologie des lagons. Les autorisations de remblais et les zones d'extraction de matériaux coralliens ne sont plus données que par des dérogations, toutefois encore trop nombreuses et trop importantes. Des plans de gestion de l'espace maritime sont mis en place progressivement pour régler les conflits d'usage dans les lagons et sur les récifs et des aires marines protégées se mettent en place.

À l'échelle des 118 îles de PF, et des 15 047 km² de récifs et lagons, ceux qui sont dégradés ne représentent que quelques pour cent. En premier lieu, il convient de ne pas accentuer cette dégradation en intensité et en grandeur. Si rien ou presque ne peut être tenté pour réduire les effets néfastes des catastrophes naturelles, des mesures doivent être envisagées quant aux causes de dégradation de l'environnement dues aux activités humaines. Elles doivent être dans les objectifs des mouvements associatifs, des citoyens, de l'administration et des élus : respect et renforcement des réglementations, plus grande attention aux dérogations à des réglementations en vue de la protection des récifs et lagons (remblais, extractions), multiplication des PGEM et création de nouvelles aires marines protégées, adoption de plans de gestion durable de nouvelles ressources (larves, bénitiers), participation des populations à la gestion de leur patrimoine naturel, limitation du développement touristique et de ses infrastructures dans chaque île en proportion de la capacité de charge du littoral et du complexe récifo-lagunaire et sans que les populations perdent leur identité. La diversité culturelle est au moins aussi importante que la diversité du patrimoine naturel et la première a trouvé sa spécificité dans la seconde. En second lieu, la situation des récifs et lagons endommagés doit être améliorée : élimination des causes de dégradations, gestion des terres et des sols des bassins versants, assainissement des eaux usées et rejet en eau profonde au-delà du récif alors que la zone urbaine de Papeete ne bénéficie d'aucun assainissement public, restauration de zones dégradées. Le présent état des récifs coralliens de PF perdurera, se dégradera encore ou s'améliorera en fonction des actions qui seront entreprises et de leurs résultantes.

Le réchauffement climatique est inquiétant pour les récifs coralliens pour quatre prédictions qui affecteront les récifs de PF comme les autres récifs dans les trois océans mais sans doute avec des modalités et des intensités propres à chaque région. Les scénarios régionaux, particulièrement pour les régions océaniques sont peu élaborés. Notons que les scénarios prédisent ce qui arrivera si l'Homme ne fait rien pour enrayer le rejet de gaz à effets de serre. L'élévation du niveau de la mer – entre 12 et 22 centimètres au cours du XX^e siècle - se poursuivra : entre 18 et 38 cm scénario optimiste, entre 26 et 59 cm scénario pessimiste, soit moyennes de 23 à 37 cm. A l'horizon 2100 les récifs gagneront en surface occupant les platiers dans les atolls. Les cyclones seront plus nombreux et de plus forte intensité, avec sans doute une plus grande fréquence des phénomènes El Niño dans la région polynésienne. La conjonction de l'élévation du niveau de la mer et des cyclones pourrait menacer les îles basses si l'élévation est élevée. L'augmentation de la température, déjà 0°74 C depuis 1861, se poursuivrait : 1°4 à 5°8 à l'horizon 2100. Les phénomènes de blanchissement et de mortalité des coraux seraient annuels mais on ignore si les coraux pourront s'adapter à ces températures plus élevées avec leurs algues symbiotiques. La question actuellement étudiée par les chercheurs réside dans la possibilité d'adaptation, d'une part, et dans la vitesse à laquelle elle doit se faire, d'autre part. Les recherches sont en cours. Enfin l'acidification des eaux océaniques diminuerait considérablement (jusqu'à 40 %) le métabolisme de la calcification par lequel les organismes à squelette

calcaire le constituant à partir du calcium dans l'eau de mer. C'est peut être le danger le plus important pour les coraux constructeurs de récifs qui élaborent un milieu à la biodiversité marine inégalée et aux ressources que l'homme exploite depuis des millénaires.

RÉFÉRENCES

Note : Les indications « RA » dans les références ci-dessous signifient « Rapports Antenne » et sont consultables au Centre de Recherches et Observatoire de l'Environnement, CRILOBE EPHE, en baie d'Opunohu à Moorea, ainsi qu'au laboratoire CNRS-EPHE-Université de Perpignan Via Domitia, de même que tous les rapports à diffusion restreinte, les diplômes et les thèses.

- ADJEROUD, M., AUGUSTIN, D., GALZIN, R. & SALVAT, B. (2002). — Natural disturbances and interannual variability of coral reef communities on the outer slope of Tiahura (Moorea, French Polynesia) : 1991 to 1997. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 237 : 121-131.
- ADJEROUD, M. (1997). — Factors influencing spatial patterns on coral reefs around Moorea, French Polynesia. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 159 : 105-119.
- ADJEROUD, M., ANDREFOUËT, S., PAYRI, C. & OREMPÜLLER, J. (2000b). — Physical factors of differentiation in macrobenthic communities between atoll lagoons in the central Tuamotu archipelago. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 196 : 25-38.
- ADJEROUD, M., CHANCERELLE, Y., SCHRIMM, M., PEREZ, T., LECCHINI, D., GALZIN, R. & SALVAT, B. (2005). — Detecting the effects of natural disturbances on coral assemblages in French Polynesia : a decade survey at multiple scales. *Aquat. Living Resour.*, 18 : 111-123.
- ADJEROUD, M., LO, C., CHANCERELLE, Y. & CADORET, L. (1998). — Zone portuaire de Papeete. Peuplements benthiques et ichtyologiques. Situation en 1997. Variabilité interannuelle (1994-1995-1996-1997). *RA*, 77 : 1-79.
- ADJEROUD, M., PENIN, L. & CARROLL, A. (2007). — Spatio-temporal heterogeneity in coral recruitment around Moorea, French Polynesia : implications for population maintenance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 341 : 204-218.
- ADJEROUD, M., PLANES, S., & DELESALLE, B. (2000a). — Coral and fish communities in a disturbed environment : Papeete Harbour, Tahiti. *Atoll Res. Bull.*, 484 : 1-10.
- ADJEROUD, M., SCHRIMM, M., SALVAT, B. (2005). — Baie de Port Phaeton – Tahiti. Bilan environnemental et suivi du milieu. Septembre 2004. *RA*, 129 : 1-87 et 130 : 1-22.
- ADJEROUD, M., SCHRIMM, M. & SALVAT, B. (2006a). — Baie de Port Phaeton – Tahiti. Bilan environnemental et suivi du milieu. Etude intermédiaire de décembre 2005. *RA*, 141 : 1-45.
- ADJEROUD, M., SCHRIMM, M., SALVAT, B. (2006b). — Baie de Port Phaeton – Tahiti. Synthèse des bilans environnementaux de 1998 à 2005. *RA*, 142 : 1-16.
- ANDREFOUËT, S., CHAUVIN, C., SPRAGGINS, S., TORRES-PULLIZA, D & KRASNENBURG, C. (2005). — *Atlas des récifs coralliens de Polynésie française*. Centre IRD de Nouméa.
- ALMANY, G. R., BERUMEN, S., THORROLD, R., PLANES, S., & JONES, G. P. (2007). — Local replenishment of coral reef fish populations in a marine reserve. *Science*, 316 : 742-744.
- AUBANEL, A. (1993). — *Valeurs socio-économiques du milieu corallien récifal et de ses ressources. Application à une île océanique du Pacifique sud : Moorea, archipel de la Société*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux III.
- AUBANEL, A. (1993). — Evaluation socio-économique de la pêche en milieu corallien dans l'île de Moorea (Polynésie française) : persistance d'une consommation locale traditionnelle hors du développement touristique. *J. Soc. Océanistes* : 49-62.
- AUBANEL, A., BONVALLOT, J. & LOUBERSAC, L. (1991). — Evolution du trait de côte du littoral corallien d'une île tropicale en voie de développement (Moorea, Polynésie française). Pp 35-38 in : *Colloque sur « Le littoral, ses contraintes environnementales et ses conflits d'utilisation »*. Union des Océanographes de France, Société d'Écologie, Nantes.
- AUBANEL, A., MARQUET, N., COLOMBANI, J.M. & SALVAT, B. (1999). — Modifications of the shoreline in the Society Islands (French Polynesia). *Ocean Coast. Manage.*, 42 : 419-438.
- AUGUSTIN, D., GALZIN, R., LEGENDRE, P. & SALVAT, B. (1997). — Variation interannuelle des peuplements récifaux du récif-barrière de Tiahura (île de Moorea, Polynésie française). *Oceanol. Acta*, 20 : 743-756.
- 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.
- BABLET, J.P., GOUT, B. & GOUTIÈRE, G (1997). — *Les atolls de Mururoa et de Fangataufa (Polynésie française). III. Le milieu vivant et son évolution*. DIRCEN CEA DAM Direction des Essais.
- BERUMEN, M.L. & PRATCHETT, M.S. (2006). — Recovery without resilience : persistent disturbance and long term shifts in the structure of fish and coral communities at Tiahura Reef, Moorea. *Coral Reefs*, 25 : 647-653.
- BOUCHEZ, J. & LECOMTE, R. (1995). — *Les atolls de Mururoa et de Fangataufa (Polynésie française). II. Les expérimentations nucléaires, effets mécaniques, lumino-thermiques, électromagnétiques*. DIRCEN CEA DAM Direction des Essais.

- BOURROUILH-LE JAN, F.G. & TALANDIER, J. (1985). — Sédimentation et fracturation de haute énergie en milieu récifal : tsunamis, ouragans et cyclones et leurs effets sur la sédimentologie et la géomorphologie d'un atoll : Motu et Hoa, à Rangiroa, Tuamotu, Pacifique SE. *Mar. Geol.*, 67 : 263-333.
- BRENIER, A., (2003). — *Variabilité temporelle de l'organisation de trois peuplements de poissons récifaux (Tiahura, Moorea, Polynésie française)*. DEA Océanologie biologique et Environnement marin, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6.
- CAVALOC, E., (1987). — Colonisation des *Rhizophora* (Palétuviers) récemment introduits à Moorea (Société, Polynésie française). Bilan de répartition 1987 et conséquences écologiques. *RA*, 23 : 1-43.
- CHANCERELLE, Y., EMMANUELLI, E., FERRARIS, J., GALZIN, R., LISON DE LOMA, T., MAIHOTA, N., MELLADO, T. & VIEUX, C. (2005). — Rapport final sur la mise en place d'une opération de surveillance scientifique de 8 aires marines protégées réparties autour de l'île de Moorea. *RA*, 138 : 1-163.
- CHANCERELLE, Y. & GALZIN, R. (2002). — Biodiversité et surveillance des récifs coralliens en Polynésie française. Réseau de surveillance des peuplements coralliens sur les pentes externes des îles de Polynésie française. *RA*, 99 : 1-98.
- CHANCERELLE, Y. & GALZIN, R. (2004). — The photo tow : a new technique for estimating coral reef status on large spatial scales. *10th Intern. Coral Reef Symp.* Okinawa, Japon.
- CHANCERELLE, Y., GALZIN, R., LISON DE LOMA, T., SCHRIMM, M. & VIEUX, C. (2004). — Suivi scientifique des aires marines protégées de Moorea. *RA*, 123 : 1-52.
- CHANCERELLE, Y., POUJADE, S., LEQUEUX, D. & SALVAT, B. (2004a). — A bleaching event survey in 2002 all around an insular coral reef ecosystem : Moorea, French Polynesia. *10th Intern. Coral Reef Symp.* Okinawa, Japon.
- CHANCERELLE, Y., POUJADE, S. & VIEUX, C. (2008). — Photo Tow : a new method for estimating coral reef status and changes at large spatial scale. A coral bleaching event case study. Sous presse.
- CHANCERELLE, Y., SÉBASTIEN, P., LEQUEUX, D. & SALVAT, B. (2004b). — *Suivi du blanchissement corallien de 2002 à l'échelle insulaire : Moorea, Polynésie française*. Assises de la Recherche Française dans le Pacifique, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.
- COCHENNEC-LAUREAU, N., FOUGEROUSE, A., PELLAN, A. & LÉVY, P. (2006). — *Bilan 2005-2006 du Réseau de veille zoosanitaire des huîtres perlières Pinctada margaritifera en Polynésie Française*. Rapport final de convention Service de la Perliculture-Ifremer.
- COCHENNEC-LAUREAU, N., LÉVY, P., SAULNIER, D., & FOUGEROUSE, A. (2003). — *Mise en place d'un réseau de veille zoosanitaire des huîtres perlières Pinctada margaritifera en Polynésie française*. Rapport final de convention Service de la Perliculture-Ifremer.
- DELESALLE, B. (1994). — *Phytoplankton des atolls de Manihi, Fakarava, Rikitea, Marutea Sud et Nengo Nengo en 1994*. Rapport ronéoté.
- DOUMENGE, F. (1966). — *L'homme dans le Pacifique Sud*. Pub. n° 19, Société des Océanistes, Musée de l'Homme, Paris.
- DUFOUR, V. (1994). — Colonization of fish larvae in lagoons of Rangiroa (Tuamotu archipelago) and Moorea (Society archipelago). *Atoll Res. Bull.*, 416 : 1-12.
- DUFOUR, V. & GALZIN, R. (1993). — Colonization patterns of reef fish larvae of the lagoon at Moorea island, French Polynesia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 102 : 143-152.
- DUFOUR, P. & HARMELIN-VIVIEN, M. (1997). — Research program for typology of atoll lagoons : strategy and fish results. *Proc. Fifth Intern. Coral Reef Congr., Tahiti*, 1 : 843-848.
- EMMANUELLI, E., FERRARIS, J., LISON DE LOMA, T., CRAIG, W., OSENBERG, C. & GALZIN, R. (2005). — Assessing the initial state of fish assemblages to adapt monitoring protocol for managers in a network of coral reef protected areas : the example of Moorea, French Polynesia. *European Marine Protected Areas symposium, Murcia, Spain, September 2007, Abstracts volume* : 89.
- EMMANUELLI, E. (2006). — *Suivi des aires marines protégées de Moorea : mise en place d'un protocole de suivi impliquant des volontaires*. Master EPHE - Université de Floride.
- FAGERSTROM, J.A. & ROUGERIE, F. (1994). — Coral bleaching event, Society Islands, French Polynesia. *Mar. Poll. Bull.*, 29 : 34-35.
- FAUCHILLE, A. (2003a). — Colonisation des palétuviers - *Rhizophora stylosa*- sur l'île de Moorea, Polynésie française : Bilan de répartition et incidence écologique. *RA*, 111 : 1-43.
- FAUCHILLE, A. (2003b). — Les anciennes zones d'extraction de matériaux coralliens, île de Moorea, Polynésie française. *RA*, 110 : 1-144.
- FAUCHILLE, A. & SALVAT, B. (2005). — Plans de restauration de zones récifales dégradées suite aux activités de dragage, île de Moorea, Polynésie française. *RA*, 124 : 1-96.
- FICHEZ, R., & HARRIS, P. (1995). — Observations et mécanismes de la crise dystrophique de 1994 dans le lagon de l'atoll d'Hikueru (Archipel des Tuamotu, Polynésie française). *Notes et Documents ORSTOM*, 45 : 1-25.
- GALZIN, R., BRENIER, A., & FERRARIS, J. (2004). — Temporal variability in the functional structure of three reef fish assemblages from Moorea, French Polynesia. *10th Intern. Coral Reef Symp.* Okinawa, Japon.
- GALZIN, R., MARFIN, J.P. & SALVAT, B. (1993). — Long term coral reef monitoring program : heterogeneity of the Tiahura barrier reef (Moorea, French Polynesia). *Galaxea*, 11 : 73-91.
- GLEASON, M.G. (1993). — Effect of disturbance on coral communities : bleaching in Moorea, French Polynesia. *Coral Reefs*, 12 : 193-201.

- GLEASON, M.G. (1996). — Coral recruitment in Moorea, French Polynesia : the importance of patch type and temporal variation. *J. Exp. Mar. Biol.*, 207 : 79-101.
- GLEIZAL, C. (1985-86). — *Encyclopédie de la Polynésie française. 1. Les îles océaniques. 2. Flore et faune terrestres. 3. Le monde marin.* Multipress, Papeete.
- GOSSELIN, M. (2003). — Etude de la variabilité spatio-temporelle du recouvrement en benthos de la radiale de Tiahura (Moorea, Polynésie française). *RA*, 147 : 1-28.
- GUILLE, G., GOUTIÈRE, G. & SORNEIN, J.F. (1993). — *Les atolls de Mururoa et de Fangataufa (Polynésie française). I. Géologie – pétrologie – hydrogéologie, édification et évolution des édifices.* DIRCEN CEA DAM Direction des Essais.
- HARME LIN-VIVIEN, M. & LABO UTE, P. (1983). — Preliminary data on underwater effects of cyclones on the outer slopes of Tikehau island (Tuamotu, French Polynesia) and its fish fauna. *Intern. Soc. for Reef Studies, Nice, Abstracts* : 27.
- HOEGH-GULDBERG, O. & SALVAT, B. (1995). — Periodic mass-bleaching of outer-slope communities, Moorea, French Polynesia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 57 : 173-186.
- INTES, A. & CAILLART, B. (1994). — Tikehau atoll, an atoll of the Tuamotu archipelago (French Polynesia). *Atoll Res. Bull.*, 415 : 1-34.
- IRSN (2006). — *Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Surveillance de la radioactivité en Polynésie française, année 2005.* IRSN, Direction de l'Environnement et de l'Intervention, Rapport DEI/SESURE n° 2006-59.
- KULBICKI, M. (2007). — Biogeography of reef fishes of the French territories in the South Pacific. *Cybium*, sous presse.
- LABO UTE, P. (1985). — Evaluation of damage done by cyclones of 1982-1983 to the outer slopes of the Tikehau and Takapoto atolls (Tuamotu archipelago). *Proc. Fifth Intern. Coral Reef Congr., Tahiti*, 3 : 323-329.
- LAGADEC, X. (2003). — *Étude de l'évolution halieutique d'un atoll de Polynésie française. Description du système pêche de l'atoll de Tikehau par le biais d'enquêtes de consommation, évolution sur 20 ans.* Diplôme d'Agronomie approfondie, spécialisation halieutique. Rennes, IRD.
- LAGO UY, E. (2006). — *Reef Check Polynésie. Rapport d'activité 2006.* IFRECOR, CRISP, Reef Check Foundation.
- LAGO UY, E. (2007). — *Reef Check Polynésie. Rapport d'activité 2007.* IFRECOR, CRISP, Reef Check Foundation.
- LANCOT, J.L., LEGENDRE, P. & SALVAT, B. (1997). — How do coral reef gastropods feel about nuclear testing ? A long term study of the effects of man-made perturbations. *Oceanol. Acta*, 20 : 243-247.
- LEILLE, L. (2005). — Caractérisation de la ligne de rivage de l'île de Tahiti, Polynésie française. *RA*, 137 : 1-20.
- LISON DE LOMA, T., CHANCERELLE, Y. & LEROUVREUR, F. (2006). — Evaluation des densités d'*Acanthaster planci* sur l'île de Moorea. *RA*, 149 : 1-41.
- LISON DE LOMA, T., OSENBERG, C.W., SHIMA, J.S., CHANCERELLE, Y., DAVIES, N., BROOKS, A.J. & GALZIN, R. (2007). — Assessing the impact of marine protected areas in Moorea (French Polynesia). *Pacific Science*, sous presse.
- LO, C., COEROLL, M. & BUETSEL, D. (2006). — *Vers le développement durable de la perliculture en Polynésie française.* Assises de la Recherche Française dans le Pacifique, Papeete, Polynésie française.
- MAAMAATUAI AHUTAPU, M., REMOISSENET, G. & GALZIN, R. (2006). — *Guide d'identification des larves de poissons récifaux de Polynésie française.* Téthys (ed.), Papeete, Tahiti.
- MINISTÈRE DE LA DÉFENSE (2006). — *La dimension radiologique des essais nucléaires français en Polynésie. À l'épreuve des faits.*
- PACIFIC CONSULTING (2002). — *Étude du marché du poisson lagonaire et d'aquaculture.* Rapport final.
- PICHON, M. (2007). — in P.W. Glynn, G.M. Wellington et al. (eds). "Diversity and Biogeography of the Scleractinian Coral Fauna of Easter Island (Rapa Nui)". *Pacific Science*, 61 : 67-90.
- PLANES, S. & GALZIN, R. (1998). — New perspectives in biogeography of coral reef fish in the Pacific using phylogeography and population genetics approaches. *Vie et Milieu*, 47 : 375-380.
- PLANES, S., GALZIN, R., BABLET, J.P. & SALE, P.F. (2005). — Stability of coral reef fish assemblages impacted by nuclear tests. *Ecology*, 86 : 2578-2585.
- PLANES, S. & ROMANS, P. (2004). — Evidence of genetic selection for growth in new recruits of a marine fish. *Mol. Ecol.*, 13 : 2049-2060.
- POLTI, S. (2001). — Caractéristique de la ligne de rivage et du domaine maritime de l'île de Moorea, Polynésie française. *RA*, 97 : 1-28.
- PORCHER, M. (1993). — *Milieu littoral et récifal intertropical et aménagement. Guide pratique, méthodologies d'études, recommandations techniques.* Ministère de l'environnement français et de Polynésie française.
- PORCHER, M., BOUILLOUD, J.P. & GABRIE, C. (1985). — *Schéma général d'exploitation des granulates et protection de l'environnement de l'île de Tahiti. Rapport spécifique, les extractions en milieu corallien.* Ministère de l'Équipement, Polynésie française.
- POUPIN, J. & LEMAITRE, R. (2003). — Hermit crabs of the genus *Calcinus dana*, 1851 (Decapoda : Anomura : Diogenidae) from the Austral Islands, French Polynesia, with description of a new species. *Zootaxa*, 391 : 1-20.
- RAYNAL, J.B. (2004). — *Le littoral de Tiarapu Ouest, un espace en mutation.* Mémoire de maîtrise, Université de Polynésie française et Paris IV Sorbonne.

- RICHARD, G. (1987). — Fauna and Flora : A first compendium of French polynesian sea-dwellers. *Proc. Fifth Intern. Coral Reef Congr., Tahiti*, 1 : 379-518.
- SALVAT, B. (1967). — Importance de la faune malacologique dans les atolls polynésiens. *Cah. Pacif.*, 11 : 7-49.
- SALVAT, B. (1983). — La faune benthique du lagon de l'atoll de Scilly, Archipel de la Société. *J. Soc. Océan.*, 77 (39) : 5-15.
- SALVAT, B. (1988). — Bibliographie de l'atoll de Takapoto, archipel des Tuamotu. *Bull. Soc. Et. Océaniques*, 243 (8) : 55-60.
- SALVAT, B. (1992). — Blanchissement et mortalité des scléactiniaires sur les récifs de Moorea (Archipel de la Société) en 1991. *C. R. Acad. Sc.*, 314 (II) : 105-111.
- SALVAT, B. & AUBANEL, A. (2002). — La gestion des récifs coralliens de Polynésie française. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, 54 : 193-251.
- SALVAT, B. & CAVALOC, E. (1989). — Introduction, expansion et conséquences de l'introduction du palétuvier *Rhizophora* à Moorea (Société Polynésie). *Estuar. Coasts 19th Symp.*, 46-47.
- SALVAT B. & CHANCERELLE, Y. (2000). — Biodiversité et surveillance des récifs coralliens en Polynésie française. Réseau de surveillance des peuplements coralliens sur les pentes externes des îles de Polynésie française. *RA*, 96 : 1-76.
- SALVAT, B., CHANCERELLE, Y., VIEUX, C., SCHRIMM, M., HOERAU, G. & GOUBERT, E. (2004). — La surveillance de l'état de santé des récifs coralliens en Polynésie française. Le réseau Reef Check, volume 2. Hôtels Pearl Beach 2003-2004. *RA*, 122 : 1-79.
- SALVAT, B., CHANCERELLE, Y., SCHRIMM, M., SCHNEIDER, M., MONIER, C., HERITEAU, B., SAVIGNY, E. & LEOU PAU, B. (2003). — La surveillance de l'état de santé des récifs coralliens en Polynésie française. Le réseau Reef Check. Volume 1, Moorea, Bora Bora. *RA*, 112 : 1-143.
- SALVAT, B., LEGENDRE, P. & LANCTOT, J.L. (1995). — Atmospheric nuclear tests : immediate and long-term effects on coral reef gastropod assemblages. *Long-term Changes in Marine Ecosystems, Arcachon, France*, abstract.
- SALVAT, B. & PAILHE, C. (2002). — Islands and coral reefs, population and culture, economy and tourism : world view and a case study of French Polynesia. Pp. 213-231 in : D. di Castri & V. Balaji (eds). *Tourism, biodiversity and information*. 14, Backhuys Publishers, Leiden.
- SALVAT, B., VERGONZANNE, G., GALZIN, R., CHEVALIER, J.P. & RICARD, M. (1979). — Conséquences écologiques des activités d'une zone d'extraction de sable corallien dans le lagon de Moorea (île de la Société, Polynésie française). *Cah. Indo Pacif.*, 1 : 83-126.
- SALVAT, F. & SALVAT, B. (1992). — Nukutipipi Atoll, Tuamotu archipelago : geomorphology, land and marine flora and fauna and interrelationships. *Atoll Res. Bull.*, 357 : 1-43.
- SINDJOUN, G. (2001). — *Etude 2001 de la ligne de rivage de Moorea*. Rapport de stage, Université de Bretagne occidentale - Institut de géoarchitecture, CRIOBE, Service de l'Urbanisme, IFRECOR, Polynésie.
- VIEUX, C. (2002). — La pêche lagonaire à Moorea (Polynésie française) : évolution quantitative et socio-économique depuis 1992. *RA*, 148 : 1-36.
- WILLIAMS, J.T. & LECCHINI, D. (2004). — *Parioglossus galzini*, a new species of ptereleotrid dartfish from Rapa Island (Teleostei : Gobioidae : Ptereleotridae). *Zootaxa*, 506 : 1-8.
- YONGER, M. (2002). — *Approche de la pêche récifo-lagonaire de Moorea (Polynésie française. Evaluation de la production halieutique et de la population de pêcheurs*. École Nationale supérieure agronomique de Rennes.

