HAL
open science

Fréquentation et usages littoraux dans la Réserve Naturelle Marine de La Réunion

Anne Lemahieu

▶ **To cite this version:**

Anne Lemahieu. Fréquentation et usages littoraux dans la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Environnement et Société. Université Paris1 Panthéon Sorbonne, 2015. Français. NNT : . tel-01308703

HAL Id: tel-01308703

https://theses.hal.science/tel-01308703v1

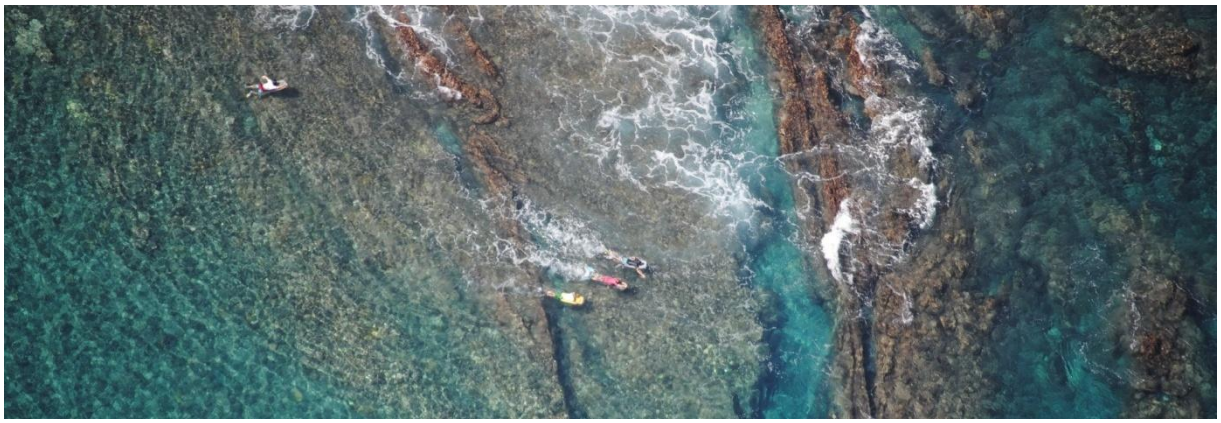
Submitted on 28 Apr 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

Université Paris I Panthéon Sorbonne - Ecole doctorale de Géographie de Paris



UNIVERSITÉ PARIS 1
PANTHÉON SORBONNE

Thèse de Géographie

Fréquentation et usages littoraux dans la Réserve Naturelle Marine de La Réunion

Élaboration d'un suivi pour l'analyse des dynamiques spatio-temporelles et apports de l'outil à la gestion et la recherche interdisciplinaire

Présentée et soutenue publiquement à Paris, le 12 Octobre 2015 par

Anne Lemahieu

Membres du Jury:

Lavigne Franck	Professeur, Université Paris I	Directeur de thèse
Pennober Gwenaëlle	Professeur, Université de La Réunion	Co-directrice de thèse
David Gilbert	Directeur de Recherche IRD	Rapporteur
Marrou Louis	Professeur, Université de la Rochelle	Rapporteur
Gourmelon Françoise	Directrice de recherche CNRS	Examinateur

IRD Institut de recherche pour le développement — Espace Dev — Réserve Naturelle MARINE DE LA RÉUNION — LGP Laboratoire de Géographie Physique — cnrs

Cliché en page de garde: Des bodyboardeurs sur le spot des Aigrettes le 23/04/2011 à 10h45

Résumé

Mots-clés : Fréquentation, Usages, AMP, Récifs coralliens, Pressions anthropiques, Interdisciplinarité

Les récifs coralliens figurent parmi les biomes côtiers les plus emblématiques de la planète. Ces points chauds de la biodiversité mondiale sont convoités par les sociétés humaines pour leurs qualités paysagères et leur plus-value économique. Exposés au même titre que de nombreux écosystèmes côtiers aux changements climatiques (élévation de la température, acidification des océans), ils sont de toutes parts soumis à une anthropisation littorale mal maitrisée (urbanisation, surexploitation des ressources). Dans ce contexte, de plus en plus d' Aires Marines Protégées (AMP) s'établissent sur des écosystèmes anthropisés, les amenant à intégrer l'Homme au cœur de la gestion. À La Réunion où l'urbanisation littorale est dense et où le paysage des usages littoraux ne cesse de s'étoffer, une Réserve Naturelle Marine (RNMR) a été établie en 2007 sur un récif frangeant. L'évaluation de l'efficacité de cette AMP par son gestionnaire doit se faire par le biais d'un ensemble d'indicateurs écologiques et socio-économiques. C'est en vue d'apporter des connaissances sur la fréquentation et les usages pratiqués au sein de la RNMR que cette thèse a été initiée. Elaboré sur la base d'un suivi en ULM, un protocole a été reproduit chaque année entre 2010 et 2013 et a permis la constitution d'une base de données spatialisée, dont l'exploitation a produit trois types de résultats: i) une connaissance initiale de la répartition spatio-temporelle des usages au sein de la RNMR; ii) une compréhension de l'évolution des dynamiques spatio-temporelles à la lumière des facteurs de variations identifiés (aménagements, aménités, crise requin, tourisme, etc.), et iii) une contribution à la gestion par le développement d'indicateurs sociaux (gouvernance, pressions), et à la recherche interdisciplinaire par une confrontation des données de fréquentation et des données écologiques du milieu. La réflexion menée dans le cadre de cette thèse apporte un éclairage nouveau sur les usages et la fréquentation des littoraux coralliens à La Réunion, et leur traduction en termes de pression anthropique directe. Pensé pour être reproductible et optimisé en termes de coût, cet outil permet la production d'un ensemble d'indicateurs dont l'intégration au plan de gestion dépend exclusivement des choix stratégiques du gestionnaire.

Abstract

Key words : Uses monitoring, MPA, Anthropogenic pressures, Interdisciplinarity

Coral reefs are amongst the richest and more emblematic ecosystems of the world. These hotspots of biodiversity provide many services to Human societies, bringing leisure and economic added values. In many areas, especially developing countries, these ecosystems are submitted to both climate change (rise of sea temperature and level, acidification) and human coastal pressures (urbanisation, resources exploitation). In this context, an increasing number of Marine Protected Areas is settled on coral reefs environments in order to ensure their conservation and to mitigate local pressures. Hence, one of MPAs Managers' missions is to bring ecological and social data together to build integrated indicators of effectiveness. In Reunion Island, a MPA called the Marine reserve of La Réunion was settled in 2007 along a densely urbanised and populated fringing reef coast. In order to better evaluate its MPA effectiveness, the manager requires the integration of social stakes to the management plan. A uses monitoring protocol was developed in this purpose using an ultra light aircraft and a camera. Data on 15 different recreational and non-recreational uses were acquired between 2010 and 2013, flying 48 times a year, and entered into a Geographic Information System. A huge resulting database allowed the building of an initial knowledge of the spatio-temporal distribution of uses within the Reserve. It also enabled the analysis of the uses' evolution regarding various factors of variations (amenities, facilities, shark attacks, tourism, etc.). Finally, we assessed the contribution to management efficiency using social indicators (governance, pressure indicators), and to interdisciplinary research in bringing ecologic and uses data together. This thesis brings a brand new information about coastal human activity and spatio-temporal dynamics of direct pressures on reef. This tool, designed to be reproducible and cost-optimized, enables the production of a set of indicators. Its integration to the management plan exclusively depends on the strategic choices of the manager.

Remerciements

Voici venu l'exercice qui consiste à puiser le peu de jus qu'il reste (que dis-je, sa quintessence!) en cette fin de parcours pour saluer humblement les personnes qui m'ont aidée, avec lesquelles j'ai interagit tout au long de ce (long) parcours doctoral, et pour encourager mes amis galériens en les rassurant : tous un jour, vous connaitrez ce moment divin_ qui rime avec fin_ où vous écrirez ces quelques paragraphes de remerciements.

Je remercie tout naturellement Gwenaëlle Pennober ma co-directrice de thèse sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour. Merci de m'avoir donné ma chance en master 2, une expérience qui m'a permis de me lancer sur des thématiques littorales qui me tenaient à cœur. J'ai eu cette chance incroyable grâce à elle de pouvoir chaque année valoriser mes travaux au cours de colloques internationaux, ce qui a largement contribué à m'ouvrir l'esprit et donner une direction à mes travaux. Les rencontres faites au gré des "symposiums" m'ont par ailleurs permis de développer un réseau de connaissances dans l'Océan Indien et ont donné lieu à des collaborations enrichissantes.

Merci à Franck Lavigne, mon directeur de thèse qui a bien voulu me suivre sur ce sujet. Il a très tôt vu en moi un chercheur et a distillé tout au long de mon parcours de géographe, entre remous d'un bateau et grondements d'un volcan strombolien (quels magiques souvenirs, puisse tout géographe être amené à travailler sur un terrain comme celui-ci !), les conseils et posé les jalons de ce qui allait devenir un thèse.

Merci à vous deux pour votre patience, votre suivi, votre disponibilité et votre sympathie.

Merci aux rapporteurs et au jury d'avoir bien voulu accepter de se pencher sur ce travail et de le juger.

Je remercie les institutions sans lesquelles cette thèse n'aurait pu être réalisée, et qui ont participé à son financement à savoir l'université Paris 1, la Réserve Naturelle Marine de La Réunion, l'UMR 228 Espace-Dev, l'OSU-Réunion, le LGP (UMR 8591), la WIOMSA pour ses nombreuses bourses qui ont rendu ma participation aux colloques possible.

Je remercie tout particulièrement les personnes qui œuvrent chaque jour, luttent contre vents, marées et détracteurs pour que perdure ce beau projet de réserve marine. Merci à Karine Pothin, la directrice de la Réserve Marine pour son intérêt, son suivi et ses conseils prodigués dès le master 2. Merci également à Emmanuel Tessier, l'ancien directeur de la réserve qui a largement contribué à initier ces recherches. Merci évidemment à Bruce, Stéphanie, Christine, Yannick ainsi que tous les écogardes qui m'ont assistée et conseillée. Je n'oublie évidemment pas mes camarades du sentier sous-marin : Guillaume, Téva, Sully.

Quelques chercheurs ont pu sur le chemin contribuer, s'intéresser, me conseiller ou porter un regard bienveillant sur ma cuisine, et je les en remercie sincèrement. Je pense ici à Pascale Chabanet la représentante de l'IRD Réunion, Gilbert David, Delphine Grancher, Erwann Lagabrielle, Daniel David, Manuella Capello, Frédéric Sandron. Merci à Pascale Cuet, Mayalen Zubia, Chloé Bourmaud, Lionel Bigot et Mathieu Séré pour leur participation au projet au travers de la démarche interdisciplinaire proposée au WIOMSA et présentée dans cette thèse, et pour la confiance qu'ils ont placée en moi en me confiant leurs données.

Un grand merci également à mes compagnons de route de l'IRD, d'Ecomar et du LGP, doctorants, ex-doctorants et stagiaires, qui ont largement contribué d'une façon ou d'une autre à ce que ces travaux voient le jour. Je pense à Nicolus, Mbériem, Lolate, Stellonie, Fouline, Stéphanie, Anto et tous les autres. Merci pour ces longues discussions, ces fous rires, ces brainstormings sur tableau Velleda®, merci pour ces moultes "remontaz de moral" et "traversaz de crise" côte à côte. Myriam, Anto : tien bon larg pa ! Biento zot tour !

Je n'oublie évidemment pas mon compagnon de vol, Serge, qui m'a accompagnée 4 années durant et à qui j'ai fini par faire une confiance aveugle...même si je n'ai jamais été vraiment très à l'aise avec ces fichues turbulences ! Encore merci (et désolée) pour avoir sacrifié tes week-ends parfois ! Je remercie bien sûr Félix et Dorothée et toute l'équipe de Félix ULM pour leur disponibilité et leur gentillesse.

Je quitte l'enceinte de l'IRD et celle du campus pour aller éteindre mes chers proches et amis qui se sont (très souvent) montrés plus impatients que moi.

*"Mais tu avais dit en Juin", "bon en fait ton truc ca finit jamais quoi...relou", "... mais c'est pas encore fini ton **rapport** ?", "oulalala...t'as vu ta tête ? Il va vraiment falloir finir par rendre ce **mémoire**"*

Vous m'avez fait rire, parfois pleurer, mais la plupart du temps vous m'avez aidé à prendre beaucoup de recul par vos phrases parfois assassines, et c'est en partie grâce à vous que j'ai pu prendre le taureau par les cornes pour tendre vers le point final ! Ces gens précieux je les citerai par ordre alphabétique (je sais que vous convoitez en secret la première place dans mon coeur. Signé: le Centre du Monde): Alexmane, Croustade, Gaëllus, Golus, Laurus, Ludo & Stef, Maymay, Meriem, Nathyfloute & Flo, Nicolus et Jenniferaglesser, Sabus, Safoura ma dalonne de toujours, Ségolène, Stellon & Clément... sans oublier Stouf notre Etoile ;).

Merci à tous de m'avoir prouvé que l'amitié était un cadeau que la vie pouvait nous faire tout au long de votre vie !

point de larmes point de larmes point de larmes point de larmes point de larmes point de larmes point de larmes point de larmes point de larmes point de larm

Tommy, Pommy, Pony, ou l'un des multiples sobriquets dont je t'affuble depuis maintenant 6 ans que l'on a la patience (ou la folie?) de s'aimer et de s'attendre : merci de croire en moi, de me pousser toujours plus loin dans ce que j'entreprends...

Merci enfin à mes proches chéris, Merci les Papou et les Mamou[1], Merci sœur, "*que serais-je sans (vous) que ce balbutiement*" ... Vous êtes tout.

[1] logistique, logement, funding, amour, sacrifice, écoute, calins, carris & empathie

Avant-Propos

Faire de la recherche peut s'avérer une entreprise coûteuse. Cette thèse n'aurait pu être réalisée sans l'aide de quelques contributeurs. Je citerai ici la Réserve Naturelle Marine de La Réunion, l'UMR Espace-Dev, et de l'OSU-Réunion. Les données de 2013 ont été acquises grâce aux financements émanant du programme CHARC, dans le cadre duquel nous avons été sollicités pour une analyse spatio-temporelle des usages en contexte de crise requin.

Mes déplacements annuels aux colloques ont été rendus possibles grâce aux aides et bourses du LGP UMR 8591, de l'UMR Espace-Dev et de la WIOMSA (West Indian Ocean Marine Science Association).

Note au lecteur

Sauf mention contraire, toutes les photographies ont été prises par l'auteure lors des missions en ULM ou sur le terrain.

Sommaire

Avant-Propos vii

Note au lecteur viii

Introduction générale 1

PARTIE 1. De l'évaluation de la fréquentation littorale en contexte d'AMP aux enjeux pour l'Aire Marine Protégée de La Réunion 9

Chapitre 1. Les littoraux : des espaces convoités sous pressions à forts enjeux de conservation 11

1.A. Enjeux et vulnérabilité des littoraux : généralités et cas spécifique des littoraux récifaux 13

1.B. Entre devoirs de protection et de valorisation 22

1.C. Le cas des littoraux coralliens : des écosystèmes sensibles sous pressions 32

Conclusion du chapitre 1 43

Chapitre 2. Un besoin de connaissance des pressions dans un contexte de gestion 45

2.A. Les suivis de fréquentation en milieu littoral 46

2.B. L'intégration des suivis de fréquentation dans la gestion des AMP 56

Conclusion du chapitre 2 66

Chapitre 3. Le récif réunionnais entre conservation et pressions 67

3.A. Un milieu récifal jeune et fragile 69

3.B. Un littoral récifal fortement anthropisé 79

3.C. De la mise en réserve à l'intégration des sciences sociales dans le réseau de suivi scientifique 96

Conclusion du chapitre 3 104

Conclusion partielle 105

PARTIE 2. La fréquentation au sein de la réserve naturelle marine : diagnostic de l'état initial et analyse des dynamiques spatio-temporelles 107

Chapitre 4. Méthodologie pour l'acquisition et l'analyse des données de fréquentation 109

4.A. Protocole d'acquisition et de gestion des données 110

4.B. Méthodologie d'analyse pour le diagnostic spatio-temporel intra-annuel et interannuel 127

4.C. Méthodologie pour une mesure de l'attractivité des sites 132

Conclusion du chapitre 4 140

Chapitre 5. Diagnostic de la répartition initiale en 2010 141

5.A. Caractéristiques spatiales et temporelles de la répartition globale 142

5.B. Caractéristiques spatiales et temporelles de la répartition des usages 147

5.C. Relation entre commodités/accessibilité/aménités et la répartition de la fréquentation 164

Conclusion du chapitre 5 169

Chapitre 6. Évolution spatio-temporelle de la fréquentation : une mutation du paysage des usages 171

6.A. Évolution de la répartition globale 172

6.B. Évolution de la répartition des usages-indicateurs 177

6.C. Synthèse 2010-2012 : une mutation du paysage des usages 186

6.D. Des variations interannuelles explicables par de nombreux facteurs 192

6.E. Comparaison historique des scores de fréquentation 205

Conclusion du chapitre 6 208

Conclusion partielle 209

PARTIE 3. Les données de fréquentation à l'épreuve de l'opérationnel 211

Chapitre 7. Démarche pour l'intégration interdisciplinaire et contribution aux enjeux de gestion en contexte réunionnais 213

7.A. Cartographie des infractions observées entre 2010 et 2013 : vers la production d'indicateurs sur l'efficacité de gestion 214

7.B. Cartographie thématique des pressions anthropiques directes et cartographies croisées pressions/vulnérabilité 217

7.C. Méthodologie pour l'évaluation des conditions d'intégration des données de fréquentation et d'écologie pour le suivi scientifique de l'état de santé récifale 225

7.D. Une base de données spatialisée pressions/milieu 233

Conclusion du chapitre 7 235

Chapitre 8. Suivi de fréquentation et AMP : contribution à la gestion et conditions de son intégration au plan de gestion 237

8.A. Contribution à la gestion : vers l'élaboration d'indicateurs relatifs aux usages 238

8.B. Le suivi de fréquentation comme un outil de la gestion : condition de son intégration au plan de gestion 249

Conclusion du chapitre 8 262

Chapitre 9. Le suivi de fréquentation : un outil de gestion et un outil scientifique pour un réseau d'observation multidisciplinaire 263

9.A. Cartographies intégrées de la vulnérabilité récifale et du risque d'interaction engins/tortues 264

9.B. Diagnostic intégré de l'écosystème récifal : contribution des données de fréquentation 268

9.B. Perspectives pour la mise en place d'un réseau "pressions-milieu" : une approche multidisciplinaire pour l'évaluation scientifique de l'écosystème 275

Conclusion du chapitre 9 278

Conclusion partielle 279

Conclusion générale 281

Bibliographie 291

Table des figures 317

Table des tableaux 323

Table des matières 325

Annexes 3387

Introduction générale

"Inevitably, man-environment relationships have become more complex and the task of environmental management more urgent."[2]

(Pigram, 1980)

Alors que les océans occupent 71 % de la surface de la planète, on estime que l'ensemble des écosystèmes marins et côtiers qui le composent produisent plus de 35 % de la production primaire mondiale (Lalli et Parsons, 1993). Ces derniers qui ne couvrent que 6,3 % de la surface des océans produisent près de 95 % de cette production[3] par le biais des mangroves, des estuaires ou encore des récifs coralliens (Costanza, 1999 ; Burke *et al.*, 2011), et assurent ainsi la sécurité alimentaire de nombreux pays du sud (Salvat, 1992 ; David et Cillauren, 1992 ; Creel, 2003 ; Godfray *et al.*, 2010). Outre la production de biomasse, ces écosystèmes remplissent de nombreuses autres fonctions, de la régulation des processus écologiques (purification de l'air, de l'eau et du sol), à la fonction d'habitat pour de nombreuses espèces (De Groot *et al.,* 2002 ; Costanza *et al.*, 1997). Parmi ces écosystèmes côtiers, les récifs coralliens font figure de milieu à part. Fortement emblématiques, ils sont convoités par les sociétés humaines pour leurs qualités paysagères et leur plus-value économique (tourisme, pêche, loisirs, etc.). Ces récifs, dont on estime qu'ils couvrent 0,1 à 0,5 % de la surface des océans (Moberg et Folke, 1999), représentent un hot spot de la biodiversité mondiale, abritant près de 800 espèces de coraux bâtisseurs de récifs (Spalding *et al.*, 2001), et regroupant presque un tiers des espèces de poissons marins (McAllister, 1991). Costanza *et al.* chiffraient en 1997 à 375 milliards de dollars par an les services rendus par les seuls écosystèmes coralliens aux sociétés littorales, dont une moitié relève des fonctions de loisirs, et plus d'un tiers à la régulation des perturbations naturelles (rôle de barrière contre surcotes marines).

On estime aujourd'hui qu'entre un tiers et la moitié de la surface de la planète a été transformée sous l'action de l'homme (Vitousek, 1997). En 2010, la population mondiale atteignait les 6,8 milliards d'individus après avoir triplé en un peu plus d'un siècle[4]. L'attrait historique exercé par les littoraux sur les hommes (Wackermann *et al.,* 1998) explique pourquoi 14 des plus grandes agglomérations mondiales se situent sur la côte et que 60 % de la population, soit 3,8 milliards d'individus, vit dans les premiers 150 km de largeur de côte (Lefebvre, 2011). En 2011, 276 000 personnes vivaient à moins de 30 kilomètres d'un récif corallien (Burke *et al.*, 2011). Or, dans un contexte global de changements climatiques, et d'accroissement des pressions anthropiques sur les franges littorales, les écosystèmes coralliens sont aujourd'hui menacés. Alors que près de 110 pays disposent d'une façade littorale pourvue de récifs coralliens, la majeure partie de ces récifs se trouve dans les pays en développement où le défaut d'un réseau d'assainissement est fréquent et où les taux d'urbanisation littorale sont les plus importants (Grigg et Dollar, 1990). Conséquemment à ces pressions, on estimait en 2008 que le monde avait perdu 19 % de ses récifs coralliens, que 15 % de ces récifs se trouvent vulnérables et risquent de disparaître dans les 10 à 20 prochaines années, et

[2] "Inévitablement, les interactions Homme-milieu sont devenues plus complexes et une nécessaire gestion de ce milieu plus urgente"

[3] Selon la FAO Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, www.fao.org

[4] Site internet du département des statistiques de l'ONU, http://unstats.un.org/

20 % à l'horizon 2040 (Wilkinson, 2008). Selon ce même auteur, ils seraient près de 500 millions de personnes à dépendre directement des récifs coralliens pour leur survie alimentaire, matérielle, leur sécurité, et qui pourraient subir de plein fouet les effets de la dégradation des récifs.

Dès le début du 20ème siècle dans les pays développés, l'avènement de la société des loisirs d'après-guerre, la révolution des transports aéronautiques et le développement et la "massification" du tourisme (Dewailly, 1997) ont contribué à faire naître de nouveaux modes d'occupation du littoral de nature, à la fois plus récréatifs et plus intenses contribuant à transformer le littoral de "nature" en un littoral "d'empoigne" (Baron-Yelles, 2001 ; Paskoff, 1997). L'accroissement démographique généralisé ainsi que les migrations importantes dans ces régions côtières dont le potentiel attractif ne faiblit pas n'ont fait qu'accroître les pressions qui seraient amenées à doubler d'ici à 2025 (Creel, 2003). Cette augmentation[5] devrait toucher plus spécifiquement les pays les moins avancés du monde (Lefebvre, 2011). Longtemps étudiés en eaux claires et loin de toute influence humaine (Nyström *et al.*, 2000), les récifs coralliens mobilisent aujourd'hui, par une recrudescence des interactions homme-milieu et sur fond de changements climatiques, de tous nouveaux enjeux. Aussi, les problématiques liées à la conservation de ces écosystèmes apparaissent-elles au premier rang des priorités dans les politiques des instances de conservation et dans les programmes de recherche scientifique. Les études qui portent sur les pressions, le rythme de déclin et de résilience des coraux se font désormais de plus en plus nombreuses. Les récifs coralliens sont effectivement tenus par un équilibre fragile, à la fois sensibles mais résilients, productifs mais vulnérables, ce qui pose un véritable challenge à la science et aux différents acteurs de la conservation (Birkeland, 1997).

Ainsi, l'augmentation de la vulnérabilité des écosystèmes et les pressions humaines toujours croissantes ont motivé un élan généralisé de mise en protection des espaces naturels sensibles et d'intérêt écologique (Meur-Férec, 2007). Les 50 dernières années ont été marquées par la naissance et l'évolution de courants conversationnistes, donnant naissance à une myriade d'outils et de dispositifs de protection d'espaces terrestres ou marins. Aujourd'hui, près de 0,72 % de la surface océanique mondiale et 27 % des récifs coralliens mondiaux sont protégés par une Aire Marine Protégée (AMP), et le programme des nations unies pour l'environnement s'est fixé un objectif de 30 % d'ici à 2025 (UNEP-WCMC, 2008). Dans le même temps, ces dispositifs ont contribué à l'apparition de nouvelles disciplines dédiées, à l'instar de la biologie de la conservation (Mathevet et Poulain, 2006). Plus tardivement, dès lors que le processus de territorialisation par la règle s'accompagne d'effets induits d'ordre juridique, économique, géographique ou social (Chaboud *et al.,* 2008b), l'Aire Marine Protégée a commencé à s'ériger en véritable laboratoire de la gestion intégrée des zones côtières (David, 1998), en devenant presque un champ disciplinaire à part.

Conservation et usages : un antagonisme ?

Dans un contexte global où les littoraux se trouvent fortement anthropisés, de plus en plus d'AMP se superposent aux territoires des usages par l'Homme (David *et al.*, 2006 ; Depraz, 2008), questionnant ainsi la possible intégration entre conservation et développement (Rodary *et al.*, 2003 ; Sarrasin, 2007, Meur-Férec, 2007). Dès lors que leur établissement implique la superposition de nombreux territoires (économique, juridique, social, etc.), leur compréhension nécessite la contribution de disciplines autres que les constantes bio-écologiques (Chaboud et Galletti, 2007). C'est pourquoi C.

[5] 70 % de cette augmentation concernerait les pays en développement (Lefebvre, 2011)

Chaboud et F. Galletti (2007) y voient l'apparition d'une nouvelle catégorie de territoires à administrer, mobilisant de nombreuses disciplines de l'écologie et des sciences humaines. S'il est vrai que la finalité première d'une AMP est de garantir la conservation du milieu, cette tâche, dont le succès se mesure, entre autres, à l'augmentation de la biomasse, de l'abondance et de la richesse spécifique du milieu (Halpern, 2003 ; Lester *et al.,* 2009), ne peut s'accomplir sans une contribution des usagers. Régulation des pressions, participation aux décisions, et bon niveau d'acceptation sociale du dispositif sont autant de problématiques qui ont tardé à être traitées et dont la récente prise en compte tend à replacer les sciences humaines au cœur de la gestion des AMP. Aussi, depuis une dizaine d'années qu'un élan généralisé et collaboratif entre les institutions, des chercheurs et des gestionnaires se solde par l'intégration progressive d'un volet socio-économique dans les plans de gestion, on assiste à la multiplication des études socio-économiques autour de la question de la gouvernance des AMP et des usages.

À cet égard, beaucoup d'éléments font de l'AMP un objet géographique. C. Chaboud *et al.* (2008b) l'assimilent à "un mécanisme de création territoriale" qui, à la lumière du concept de *Territoire*, correspond une discontinuité spatio-temporelle, au "gel" d'une portion à l'interface terre-mer, autrement assimilable pour d'autres à un "système fermé" (David, 2011a). Dès lors que l'efficacité d'une AMP se mesure dans le temps, son étude s'inscrit dans une dimension spatio-temporelle chère au géographe. En somme il s'agit d'un espace délimité mais ouvert, où s'imbriquent différents territoires, diverses échelles d'analyses spatiales et temporelles permettant aux Géographes de se rejoindre autour de concepts intégrateurs comme le rappelle C. Meur-Férec (2006) : *"Les géographes ont la chance de pouvoir aborder au sein de leur discipline (presque) tous les aspects des problématiques touchant à un espace. De la géomorphologie dynamique par exemple, au jeu des acteurs en passant par l'évaluation des enjeux, l'analyse des pratiques et des représentations, la réglementation et les politiques d'aménagement, tous les éléments lui sont accessibles pour saisir la complexité du système."*

Plus encore, l'AMP, par les interactions qu'elle occasionne à la croisée des écosystèmes et socio-système, est une échelle d'analyse toute trouvée pour les démarches multidisciplinaires (Halpern, 2003). Fruit des préoccupations biologiques et conservationnistes, les AMP sont longtemps restées le terrain de jeu exclusif des biologistes et des écologues à qui il a été souvent reproché d'avoir une "approche écologique bornée" excluant les populations de la concertation et négligeant le développement économique (Chartier et Rodary, 2007). Dans leur article, R. Mathevet et B. Poulin (2006) démontrent que la géographie a les capacités de développer une G*éographie de la conservation* (Mathevet et Poulin, 2006). Science "en biais", construite en diagonale des autres disciplines, la Géographie apparaît effectivement comme étant la mieux placée pour traiter de sujets transversaux (Skole, 2004).

une île…

…une image d'épinal cultivée dès le siècle des lumières et de la Découverte, une image gravée dans la littérature comme dans la pensée subconsciente contemporaine (Paulian, 1984). Qu'elles soient continentales, océaniques ou originelles elles ont de tout temps attiré les voyageurs pour la douceur de leur climat, où l'ardeur du soleil est atténuée par la brise marine (Aubert de la Rue, 1956). Cette

singularité s'exprime par ailleurs très bien à travers l'endémisme insulaire, qui pèse sur l'évolution humaine. En effet, l'effet d'isolement est très profond sur tous les mécanismes biologiques, mais se traduit aussi par un risque d'appauvrissement des espèces plus prononcé et une plus grande fragilité des associations (Doumenge, 1984b). Cette exposition les a de tout temps rendues vulnérables à l'impact des sociétés humaines.

De par le contraste entre leur petite taille et leur richesse écologique et paysagère, il semblerait que les îles aient joué un rôle fondamental dans la prise de conscience d'une certaine finitude de l'environnement et des ressources et par là même, dans la naissance des logiques de conservation (Rodary et Castellanet, 2003). Leur taille restreinte permet effectivement de se rendre compte plus rapidement des effets induits par les perturbations naturelles et/ou anthropiques. Dans le contexte actuel de pression croissante sur les aménités et la ressource halieutique, les états souverains ont commencé à revendiquer les espaces insulaires. Représentant près du quart de la surface des océans, les îles ont gagné depuis un demi-siècle une place de choix sur l'échiquier mondial (Doumenge, 1984a ; David, 2010). Leur caractère unique, leur isolement, leurs richesses paysagère et écosystémique ont contribué à forger à ces lieux une image dont la recette, inchangée, a toujours aujourd'hui un succès retentissant : plages de sable blancs, cocotiers et poissons multicolores (Vacher, 2008). On notera que de nombreux auteurs et peintres ont largement contribué à forger cet idéal dans l'inconscient collectif (Dehoorne et Saffache, 2008). Pourtant, à en croire R. Paulian (1984), du fait de leur fragilité intrinsèque, l'insularité serait un facteur d'aggravation de la vulnérabilité environnementale. Cela tient d'une part dans la faible surface unitaire de ces écosystèmes, et d'autre part du fait de la relative pauvreté en nombre d'individus et en diversité spécifique, faisant de l'écosystème un système sensible aux perturbations (Paulian, 1984). C'est pourquoi les problématiques Homme-Milieu se retrouvent donc exacerbées en milieu insulaire (Brigand *et al.*, 2008).

La France, qui dispose d'un patrimoine marin hors norme (10 000 000 km² de Zones Economiques Exclusives), possède dans ses eaux territoriales près de 10 % des récifs mondiaux[6] (Andréfouët *et al.*, 2008). Des les années 1990, la naissance de l'ICRI (Initiative internationale pour les récifs coralliens), dont l'IFRECOR (Initiative Française pour les REcifs CORalliens) est une déclinaison nationale instituée en 1999, s'accompagne d'une mise en conservation de nombreux récifs coralliens sous le statut d'Aires Marines Protégées. Ainsi, en avril 2013, les aires marines protégées françaises couvraient près de 240 690 km², dont près de 65 % de cette surface se trouvait en domaine ultra-marin et 53 % dans le seul Océan Indien[7]. Outre les îles subantarctiques des terres australes françaises (17 000 km²) c'est la récente promulgation par décret le 18 janvier 2010 du Parc Marin de Mayotte qui couvre près de 68 400 km² de Zone Economique Exclusive dont un lagon de 1600 km² et une très rare double barrière de corail (Rolland *et al.,* 2005) qui contribue largement à ce score régional. Créée en 2007, L'AMP de La Réunion (Réserve Naturelle Marine de La Réunion ou RNMR) avec ses 35 km² fait figure de très petite AMP au regard de ses consœurs.

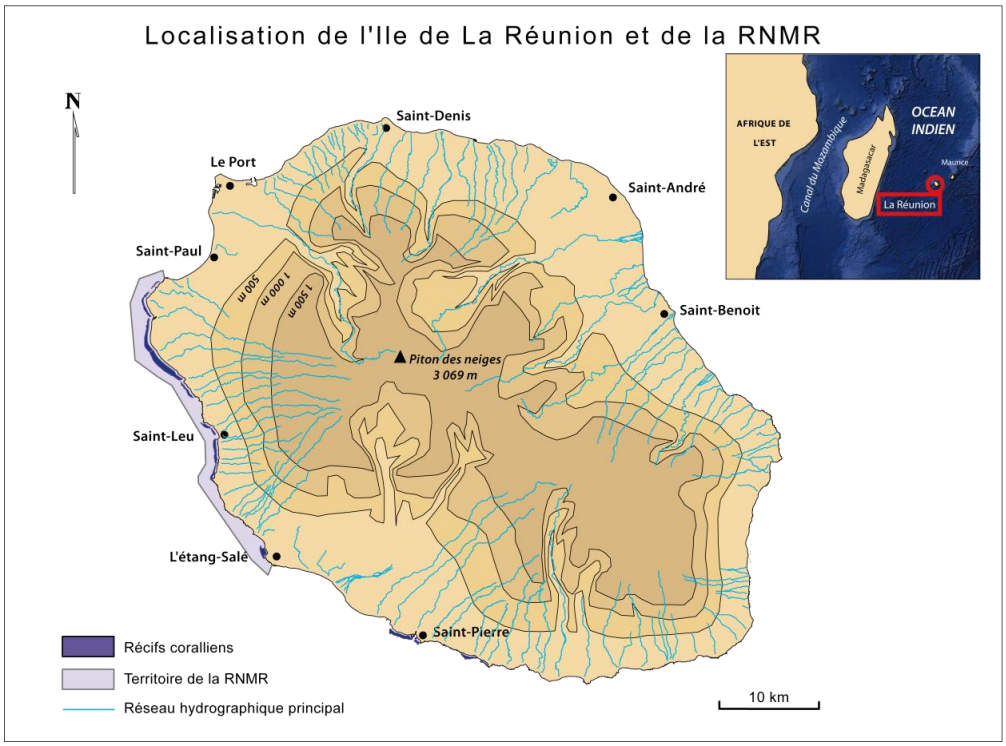
Contexte local

Située sur les marges insulaires du sud-ouest de l'Océan Indien, par 21°06'de latitude sud et 55°32'de longitude est, La Réunion est une petite île volcanique de 2512 km qui a émergé il y a 2 millions

[6] Soit près de 57 557 km² selon Andréfouët *et al.* (2008)

[7] Site internet de l'Agence des Aires Marines Protégées française, http://www.aires-marines.fr

d'années. De forme elliptique, et fortement disséquée par l'érosion, elle culmine au Piton des Neiges à 3069 m (Figure a.). Les phases de repos des deux strato-volcans du piton des Neiges et de la Fournaise ont favorisé depuis 8500 ans BP, l'édification et la croissance des récifs coralliens localisés sur la côte Ouest. L'étroitesse du plateau continental qui mesure moins de 6 km et la configuration bathymétrique à la forte déclivité résultante n'a pas permis le développement de récifs de grande taille du fait que la profondeur critique à laquelle les organismes constructeurs s'installent est rapidement atteinte (Faure, 1982, Gabrié et Montaggioni, 1985). Aussi, la superficie occupée par ces derniers (10 à 12 km²) est-elle assez restreinte et très localisée.



a. Localisation de La Réunion et de la Réserve naturelle Marine de La Réunion

Du fait du relief et d'un "effet de façade", la côte Ouest de l'île est protégée des alizés et moins arrosée (Soler, 1997), ce qui a favorisé l'établissement de récifs coralliens frangeants. La présence de ces récifs et des ensembles fronto-littoraux adjacents ont été à l'origine de l'implantation d'une activité humaine en lien avec l'écosystème récifal dès les origines du peuplement. D'abord à vocation vivrière (activités de pêche) puis balnéaire et nautique, le paysage des usages s'est étoffé avec les effets de la départementalisation et l'avènement du tourisme. E. Mirault en 2006 dénombrait plus d'une quinzaine d'usages qui entretiennent une relation directe ou indirecte avec l'écosystème corallien. Certains sont traditionnellement ancrés dans la culture réunionnaise, à l'instar de la pêche à pied traditionnelle (Thomassin, 2011) ; d'autres, à l'instar du surf, sont plus emblématiques d'une île "intense" et contribuent à son rayonnement à l'international.

Dès les années 1970, des effets combinés d'une urbanisation littorale (Aubert de la Rue, 1956 ; Lajoie et Hagen-Zanker, 2007), de la multiplication des activités humaines plus ou moins impactantes (David *et al.*, 2006 ; Mirault, 2006), du manque de réseau d'assainissement adapté (Tessier *et al.* 2008 ; Pellet, 2008), les premiers signes de dégradation se font sentir (Ribes, 1978 ; Bouchon, 1978 ; Gabrié,

1997). Dès lors, un lent processus mené de concert entre scientifiques et associations d'usagers de la mer s'engage pour mettre en place un dispositif de protection des récifs réunionnais. D'un statut associatif "Parc Marin" au début des années 1990, le projet aboutit péniblement en 2007 à la création d'une Réserve Naturelle Marine (RNMR). S'étendant sur 44 kilomètres de linéaire côtier à l'ouest, cette AMP de 365 hectares se trouve à l'interface entre un écosystème riche à préserver, et une façade littorale soumise à une forte urbanisation et au potentiel d'attractivité touristique élevé.

Objectifs de la thèse

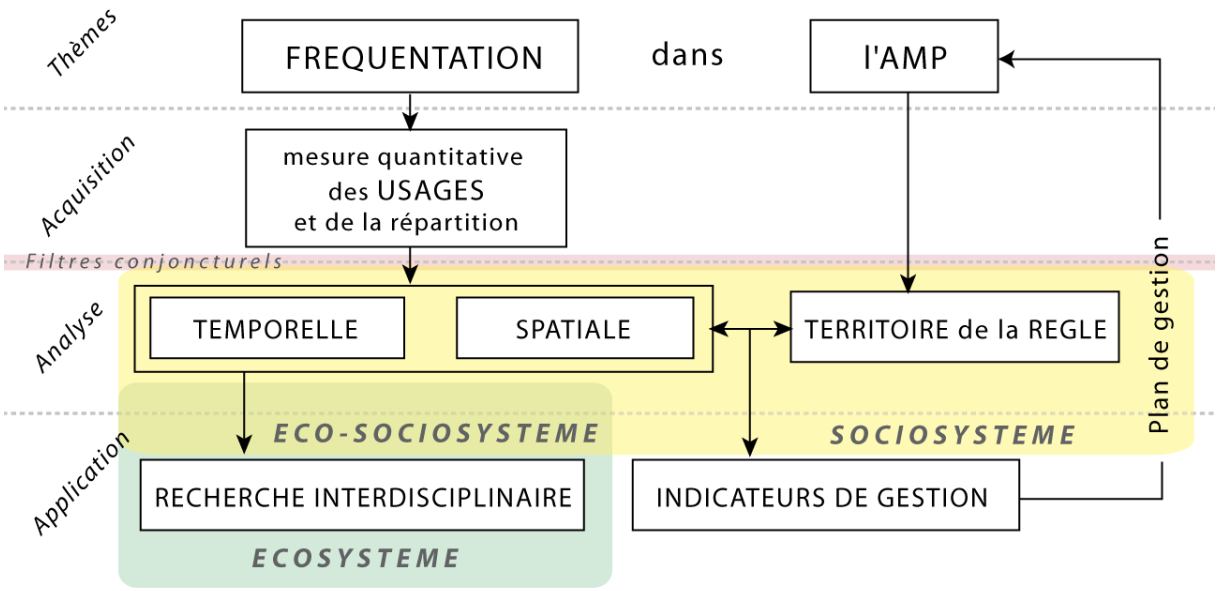
Dans un contexte global de forte anthropisation littorale où de nouveaux territoires de gestion s'opposent sans cesse à des territoires de pratique préexistants, l'ambition de cette thèse qui s'inscrit dans le champ de la géographie appliquée est de contribuer à alimenter la réflexion sur le rôle et le poids de l'Homme et de ses activités à l'échelle du territoire de gestion. De nombreux auteurs ont souvent dénoncé que les processus amonts qui ont cours dans le cadre d'un projet de mise en réserve négligeaient la nécessité de prendre en compte les perceptions et habitudes des usagers (David *et al.*, 2006 ; Thomassin, 2011). Or, ces études font souvent défaut ou se déroulent après l'établissement du dispositif, privant les décisionnaires d'une connaissance amont primordiale sur les usages et les perceptions. Non seulement ces usages tiennent un rôle structurant sur les plans social, culturel et territorial, mais également, par les interactions Homme-milieu et la pression qu'ils exercent sur un milieu récifal sensible, ils apparaissent comme une composante à ne pas négliger dans les stratégies de gestion pour maintien de l'écosystème. Aussi dans un tel contexte, l'éco-sociosystème (Corlay, 1995 ; Mirault, 2006 ; David, 2011a) apparaît comme une échelle privilégiée de travail pour les scientifiques et les gestionnaires.

A ce titre, la multitude des usages et l'ensemble des usagers constituant la fréquentation d'un espace littoral forment une thématique qui tend à devenir incontournable dans un contexte de gestion. D'une part parce qu'elle pose la question de la durabilité des ressources dans un contexte de fort accroissement de l'attractivité de ces espaces balnéaires à forte connotation de qualité paysagère (Brigand, 2008 ; Meur-Férec, 2007), et d'autre part parce qu'en interagissant avec le milieu, elle peut provoquer des déséquilibres. Aussi, le concept de fréquentation est-il mobilisé pour aborder la « capacité de charge » (Duvat, 2008 ; Cole, 1995) ou encore de dégradation des écosystèmes (Kay et Liddle, 1989 ; Chabanet *et al.*, 1995 ; Allison, 1996). C'est pourquoi l'Agence des Aires Marines Protégées et le MEEDDAT[8] ont lancé dès la fin de l'année 2009 un projet de développement de méthodes d'évaluation de la fréquentation dans les AMP, dont la finalité est de développer un tableau de bord de suivi des AMP qui comportera un volet « socio-économique » portant sur les thématiques de la fréquentation et de la perception des usagers de ces espaces. C'est dans ce contexte qu'a été initié dès 2010 un suivi de la fréquentation au sein de la RNMR, issu d'une collaboration entre le GIPRNMR et l'UMR 228 Espace-Dev.

De façon assez didactique, on se propose ici de décomposer l'objet d'étude à savoir "la fréquentation dans l'AMP (de la RNMR)" (Figure b.). La fréquentation qui se définit comme l'"*l'utilisation d'un lieu, présence répétée de personnes dans un lieu ou sur une voie de circulation*" (Brunet *et al.*, 2006) est un objet quantifié. Elle se mesure en nombre d'usagers, généralement par unité de temps, sur une portion d'espace délimité. L'AMP dont il est question ici et qui s'étend sur près de 365 hectares et 44

[8] Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable, des Transports et du Logement

kilomètres de linéaire côtier correspond à un territoire administré, régi par une entité décisionnelle (le gestionnaire) et par des règles. Tous ces termes sont autant de filtres à ne pas négliger dans cette approche de la fréquentation, puisqu'ils vont a *priori* fortement déterminer la répartition des usagers. De la même façon, les facteurs pouvant influer sur la répartition, qu'ils soient structurels, pérennes (règle, aménagement du territoire, aménités du site) ou qu'ils soient "événementiels" (tourisme, crise requin), sont autant d'éléments agissant comme un "filtre conjoncturel" et qui sont à considérer ici.



b. Objectifs de la thèse

Dans le cadre de cette thèse, 3 années de données de fréquentation ont été acquises selon le même mode opératoire et le même échantillonnage par le biais de financements émanant de la réserve marine pour 2010 et 2011, et de l'UMR Espace-Dev et l'OSU-Réunion pour 2012. Ces données ont d'abord été acquises en vue de décrire la répartition spatiale et temporelle et son évolution dans le temps. Finalement, dès 2011, des événements sont venus perturber les dynamiques (crise requin notamment) lesquels ont présenté une opportunité de mieux comprendre les variations spatiales et temporelles des usagers en réaction à un contexte politico-social perturbé. Une année supplémentaire de suivi a été financée dans le cadre du programme CHARC[9], et les données acquises selon un nouvel échantillonnage.

Structurée en trois grandes parties, cette thèse vise à :

- resituer dans le cadre d'une première partie le cadre épistémologique et le contexte géographique dans lesquels s'inscrivent nos problématiques (chapitres 1, 2 et 3) ;
- dépeindre dans une seconde partie les dynamiques des répartitions spatiale et temporelle de la fréquentation globale et des usages, tout en explorant les pistes d'explications aux variations observées ; mobilisant essentiellement les outils de la cartographie et des statistiques, cette

[9] Connaissance de l'écologie et de l'HAbitat de deux espèces de Requins Côtiers sur la côte Ouest de La Réunion, programme scientifique multidisciplinaire financé par l'état, la Région et l'Europe suite à la série d'attaques mortelles qui ont eu lieu en 2011.

partie contribue à forger les connaissances basiques sur les aspects quantitatif et spatial des usages (chapitre 4, 5 et 6) ;

- démontrer que lorsqu'elles sont envisagées à travers le prisme de la gestion et de la conservation, les données de fréquentation deviennent essentielles dès lors i) qu'elles permettent la production d'indicateurs de gouvernance utiles à évaluer l'efficacité de gestion et ii) qu'elles viennent compléter les réseaux scientifiques de suivis existants et permettent par là même d'approcher des démarches intégrées (chapitres 7, 8 et 9).

PARTIE 1. De l'évaluation de la fréquentation littorale en contexte d'AMP aux enjeux pour l'Aire Marine Protégée de La Réunion

De nombreuses disciplines des sciences humaines, à l'instar de la sociologie ou de l'anthropologie, se sont intéressées à cette attirance de l'homme pour les espaces de nature, et plus particulièrement à ce qui lie l'homme à la mer. En dehors du lien alimentaire qui lie l'homme à la ressource halieutique, quelques auteurs se sont intéressés à "l'homme occidental" et son "faible pour la mer" (Corbin, 1988). Le sentiment de crainte qui dominait dans les écrits et légendes mythologiques a peu à peu laissé place à la fascination, le désir, le rêve et le respect forcé par les innombrables ressources qui se sont dévoilées aux sociétés au cours de l'histoire et des révolutions technologiques (Corbin, 1988). L'hydrôme marin, tel que le nomme J.-P. Lozato-Giotart (2008), est un facteur plus ou moins évident d'attrait naturel : l'eau, élément tactile et sensoriel a, dès l'antiquité, une forte connotation de plaisir (Lagéiste, 2009), et cette époque voit naître le thermalisme, les bains, la natation, autant d'activités qui ont encore aujourd'hui un succès considérable auprès du public. En outre, une étendue d'eau a une forte valeur paysagère, en témoigne la concordance dans l'emplacement des hauts lieux touristiques balnéaires et des villas dès l'antiquité (Lagéiste, 2009).

Le peuplement toujours plus intensif des littoraux, l'accroissement des activités anthropiques et des interactions Homme-milieu ont peu à peu amené les géographes à l'instar de A. Guilcher, J.-P. Corlay ou R. Paskoff, à inscrire leurs études dans le pas de temps des sociétés. De cette évolution disciplinaire est née la notion de "littoral d'Œkoumène" (Bousquet, 1990). De plus en plus peuplé, de plus en plus sollicité pour ses aménités, le littoral a connu plusieurs vagues successives de peuplement et de succès, et est aujourd'hui plus que jamais en proie à des pressions humaines toujours plus croissantes sur fond de changements climatiques. Or, les écosystèmes côtiers, leur richesse écologique et les nombreux services qu'ils rendent aux sociétés humaines se chiffrent aujourd'hui en milliards de dollars US (Costanza *et al.,* 1997).

Les récifs coralliens qui constituent l'un des écosystèmes côtiers à la fois les plus riches et les plus prisés par les sociétés humaines (Burke *et al.*, 2011) contribuent souvent à la santé économique des pays qui les jouxtent (tourisme, pêche, économies de loisirs) et assurent parfois même jusqu'à la sécurité alimentaire des pays les moins développés (David et Cillauren, 1992, Salvat, 1992 ; Creel, 2003). À l'initiative de l'ICRI[10] et de l'UICN[11], ces écosystèmes sont, au regard des nombreux enjeux qu'ils mobilisent, de plus en plus systématiquement intégrés à des dispositifs de conservation de type "Aire Marine Protégée" (AMP). La vocation d'une AMP est d'assurer la conservation du milieu tout en lui garantissant une cohabitation durable avec l'Homme. Pour atteindre cet objectif, le gestionnaire doit en outre s'assurer que le dispositif réglementaire est bien accepté par les usagers, car l'AMP ne saurait être efficace sans une intégration durable des écosystème et sociosystème.

[10] *International Coral Reef Initiative* est un comité international informel, formé par des états et des organisations autour de la question de la préservation des récifs coralliens et des écosystèmes adjacents.
[11] Union Internationale pour la Conservation de la Nature

Aussi, depuis une dizaine d'années que de nombreuses voix s'élèvent pour faire valoir l'apport socio-économique dans les approches conversationnistes, en tant que pont entre le milieu et l'homme (Bowen et Riley, 2003 ; Skole, 2004 ; Mathevet et Poulin, 2006), de plus en plus d'auteurs pointent les lacunes en termes de recherche et de suivis autour de l'usager du site naturel (Buckley *et al.*, 2008 ; Moore, 2012 ; Decoupigny, 2010). À l'inverse des aires protégées terrestres généralement implantées en zones à faible densité humaine, les AMP se sont historiquement édifiées sur des espaces côtiers où préexistent des usages relatifs à l'exploitation des ressources marines et côtières. Bien que longtemps partisanes d'une approche naturaliste dans leur politique de gestion (Meur-Férec, 2007a), les AMP sont donc aujourd'hui encouragées dans les directives émanant des instances nationales (AAMP) et internationales (UICN), à diversifier les indicateurs d'évaluation de leurs performances. Outre les constantes notions de biologie et de conservation, ces derniers intègrent désormais celles d'usages et de gouvernance (David, 2011). Face à ces considérations, les sciences humaines ont un rôle à jouer, car à la notion d'« île » de nature sous cloche se substitue peu à peu celle de « territoire » (David *et al.,* 2006), une échelle d'analyse que la Géographie s'est par ailleurs depuis longtemps appropriée.

Cette première partie vise à dépeindre la toile de fond de cette thèse, qui repose sur l'articulation complexe entre l'Homme et le territoire de la conservation, une intégration parfois qualifiée "d'antagonisme" (Rodary *et al.,* 2003 ; Sarrasin, 2007 ; Meur-Férec, 2007).

Un premier chapitre identifiera les motivations et retracera le processus qui a mené à la mise en conservation de nombreux espaces littoraux. Un accent particulier qui sera mis sur les écosystèmes coralliens, garants de la survie de nombreuses sociétés littorales.

Les Aires Marines Protégées doivent sans cesse évaluer leur efficacité à atteindre leurs objectifs de conservation sur la base de nombreux indicateurs. Longtemps cantonnés aux disciplines écologiques, ces derniers tendent à se diversifier en intégrant des métriques renseignant sur les paramètres socio-économiques de l'AMP. Dans ce contexte de plus en plus d'études visant à quantifier la fréquentation sur ces espaces sont entreprises, en vue de produire des suivis et des indicateurs intégrables aux plans de gestion (chapitre 2).

Enfin un troisième chapitre présente le contexte local réunionnais. En contexte insulaire jeune, où les échelles spatiales et temporelles sont contractées, les problématiques d'interactions Homme-milieu sont plus systématiques et les questions d'impacts environnementaux qui leur sous-tendent se posent donc. Créée en 2007, une AMP vise à préserver un milieu récifal frangeant qui longe une côte fortement peuplée, urbanisée, et en proie à une forte activité, rendant de facto les problématiques socio-économiques et leur intégration aux stratégies de gestion incontournables.

Chapitre 1. Les littoraux : des espaces convoités sous pressions à forts enjeux de conservation

Sur 123 pays disposant d'une façade maritime, 76 ont leur ville principale établie sur la côte (Noin, 1999). L'attractivité des espaces maritimes et littoraux est un fondement bien connu de l'organisation des territoires et des sociétés même si localement, certaines sociétés ont pendant longtemps tourné le dos à la mer (Aubert de la Rue, 1956). Dans ce contexte, la singularité des rivages et îles tropicaux a déjà été soulignée (Demangeot, 1999 ; Dehoorne et Saffache, 2008) entre forte attractivité liée à la fascination entretenue pour un ailleurs offrant un possible retour à la nature, et un environnement aux ressources d'une apparente abondance mais d'une grande fragilité. Cette fragilité est d'autant plus prégnante que pour certains petits États et territoires insulaires (PETI) en développement ou régions ultrapériphériques de l'Europe, les ressources marines remplissent encore une fonction qui relève parfois de la sécurité alimentaire (David et Cillauren, 1992 ; Creel, 2003 ; Godfray *et al.*, 2010).

Les littoraux coralliens sont particulièrement emblématiques de ce constat. Leurs ressources primaires et paysagères constituent très souvent, avec le tourisme qu'elles supportent, les seules sources de revenus (Solomon, 2006). En complément, en favorisant la pratique de nombreuses activités à l'instar de la plongée sous-marine, les sports de glisse ou les activités nautiques, ces environnements participent dans les pays développés à la création et au maintien d'une économie récréative balnéaire. Au regard de ces multiples enjeux, les petits espaces insulaires sont reconnus comme particulièrement vulnérables aux changements climatiques (Burke *et al.*, 2011), une fragilité par ailleurs soulignée dans Action 21 (ONU, 1992, section 17G). Ces enjeux constituent le fondement des conférences internationales spécifiquement dédiées au développement durable dans les Petits Etats Insulaires en Développement (PÉID) dont émanent le Programme d'action de la Barbade (ONU, 1994) et plus récemment la Stratégie de Maurice (ONU, 2005).

Ce premier chapitre revient sur les mécanismes universels d'attraction et d'appropriation des espaces littoraux à la lumière de l'expérience française, tout en exposant la spécificité insulaire tropicale. Très souvent bordées par un récif corallien, ces îles doivent trouver le juste équilibre entre la valorisation et la conservation de ces écosystèmes parfois essentiels pour leur survie. En raison de la vulnérabilité de

ces espaces, toujours plus exacerbée par les changements climatiques et la pression engendrée par les usages et le développement anthropiques, se nouent de forts enjeux de conservation des ressources et de développement local La conciliation de ces enjeux, qualifiée parfois d'antagoniste (Rodary et Castellanet, 2003), se trouve toujours plus au centre des problématiques des gestionnaires d'Aires Marines Protégées (AMP).

1.A. Enjeux et vulnérabilité des littoraux : généralités et cas spécifique des littoraux récifaux

Les façades maritimes des littoraux continentaux sont depuis l'après-guerre en proie à un phénomène de "*littoralisation*" marqué. Ce terme employé par Y. Veyret (2007) dans son dictionnaire de l'environnement, désigne le processus de peuplement des espaces littoraux engendré par une mondialisation de l'économie et donc une augmentation des échanges maritimes. L'explosion d'un tourisme estival sensible aux atouts de la mer et du soleil (Lagéiste, 2009) a réellement marqué un tournant dans les processus d'appropriation des bandes côtières par l'Homme à l'échelle de la planète.

1.A.1. Les littoraux : des espaces attractifs aux forts enjeux environnementaux

1.A.1.1. La littoralisation : un processus entamé dès le 16ème siècle

Le processus de "*littoralisation*" est défini par G. Wackermann *et al.* (1998) comme "*l'action intempestive entreprise par les Hommes dotés de puissants moyens techniques, puis technologiques, en vue de l'appropriation économique des secteurs côtiers considérés comme d'importantes interfaces géopolitiques"*. Cette définition cadre bien avec les premières conquêtes des façades maritimes au cours des 16 et 17èmes siècles, sur fond de ce qui sera plus tard identifié comme une proto-mondialisation, ou "*globalization 0.1*" (Hopkins, 2011 ; Friedman, 2005). De grandes métropoles économiques telles que Lisbonne, la Nouvelle-Orléans ou Amsterdam s'établissent sur les façades maritimes afin de faciliter le commerce, essentiellement maritime à cette époque. Une seconde phase de littoralisation contemporaine de la révolution post-industrielle et d'une phase dite "moderne" de mondialisation, se traduit par une occupation plutôt ponctuelle des franges littorales (villes portuaires essentiellement). L'avènement du tourisme et l'essor de la société de consommation et de loisirs au début du 19ème siècle (Zaninetti, 2006) vont marquer les débuts d'une ultime phase de littoralisation, à l'origine du paysage littoral actuel. Elle se caractérise dans les pays développés du nord par un développement linéaire, et de façon plus ponctuelle dans les pays du sud où l'espace est "moins compté" et le sable "en abondance"(Veyret, 2007).

Ainsi, dès la moitié du 20ème siècle, les régions côtières enregistrent des taux de croissance démographiques bien supérieurs à ceux des régions plus continentales (Zaninetti, 2006 ; Creel, 2003). L'essentiel de cet accroissement résulte des phénomènes de migration qui affectent tout particulièrement les côtes asiatiques où plus de 1000 migrants viennent s'établir chaque jour au Vietnam, en Chine ou aux Philippines (Creel, 2003). En France, on attribue 73 % de l'accroissement démographique des communes littorales et de l'arrière-pays littoral aux phénomènes migratoires[12]. Dans les départements ultramarins, 88 % de la population se concentre dans des communes littorales[13]. Cette population s'est considérablement accrue entre les années 1960 et les années 2000 (+46 % pour la Guadeloupe et +36 % pour la Martinique), allant jusqu'à doubler pour le département de La Réunion. Ce phénomène qui s'observe partout tend à s'accélérer tant et si bien que des projections prévoient que 7 milliards d'êtres humains vivront sur les régions côtières d'ici à 2025

[12] Selon l'Observatoire National de la Mer et du Littoral (ONM),
[URL :http ://www.onml.fr/uploads/media/la_demographie_et_l_economie_du_littoral_metropolitain.pdf]

[13] www.insee.fr
[http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=23&ref_id=20056&page=etudes_detaillees/com_ultramarins/com_ultramarins_02.htm#deux]

(UNESCO, 1993). S'il s'agit d'un phénomène global, des disparités régionales subsistent. Dès le début du 20ème siècle, les formes d'appropriation de ces espaces ne se limitent plus seulement à des processus de sédentarisation, mais revêtent une toute autre forme qui s'inscrit dans une temporalité et une utilisation du lieu nouvelles au travers des activités balnéaires récréatives.

Les mécanismes régissant l'attractivité de ces espaces littoraux (Encadré a.) et les questions qu'ils sous-tendent ont d'abord été explorées par la géographie du tourisme et des loisirs. Beaucoup d'auteurs ont ainsi questionné le potentiel attractif du lieu. Qu'est-ce qui fait le succès d'un site ? Est-il issu d'un "pouvoir" attractif intrinsèque au lieu, qui s'expliquerait par des agréments auxquels tout usager serait sensible de façon indifférenciée ? J.-P. Lozato-Giotart (2008), qui fut aux côtés de G. Cazes (1992), l'un des pères fondateurs de la discipline, attribue un poids déterminant à la géographie climatique et thermale dans la localisation des premières "colonies de villégiateurs", prémices des stations touristiques actuelles. L'haliotropisme (du grec "halios" = qui concerne la mer) d'entre-deux-guerres y est pour quelque chose : Le soleil incite à l"euphorie", il "*autorise un certain bien-être, état sans lequel un séjour à la plage ne saurait être réussi*" (Lagéiste, 2009).

De nombreux autres facteurs concourent à rendre une plage attractive auprès des usagers, de même que ces facteurs seront amenés à varier selon les études et leur localisation. D'une étude menée sur l'attractivité des plages au Portugal, il est ressorti que le substrat (le type de sable), la qualité de l'eau et la sécurité arrivaient en tête des critères des usagers (Vaz *et al.*, 2009). Ces trois critères sont également le plus souvent cités par les usagers interrogés sur des plages d'Ecosse, après lesquels arrivent les critères d'accessibilité, la présence de sanitaires ou la qualité du paysage (Tudor et Williams, 2006). Enfin, dans l'étude de R. Morgan (1999) portant sur plus de 70 plages d'Ecosse et de Grande-Bretagne, la qualité paysagère, la présence de maitres-nageurs-sauveteurs et la mise à disposition d'eau potable et de douches arrivent en tête des critères cités par les usagers. Inversement, certains facteurs contribuent à rendre une plage moins attractive d'après B. Vaz *et al.* (2009) : un défaut d'accessibilité, la mauvaise qualité du sable ou une température de l'eau peu clémente.

Encadré a. - De l'attractivité du lieu

L'attractivité" peut se définir comme "*la capacité à attirer, et qualifie l'attracteur, elle peut se mesurer au moins par la masse de l'attracteur et la distance de l'attiré*" (Brunet *et al.*, 2006). Elle est encore définie comme étant la capacité d'un lieu à procurer à l'individu des bénéfices[14] : "*the perceived ability of the destination to deliver individual benefits*" (Lee *et al.*, 2010). Santy (1980) est le premier à formaliser la théorie de l'attractivité qu'il mesure à travers une approche analytique de hiérarchie (Anatycal Hierarchy Process, AHP) permettant de mettre en évidence le poids de chaque élément dans un système donné. Par la suite, l'attractivité du lieu a déjà fait l'objet d'une évaluation par quelques auteurs, qui a visé à inventorier les ressources et les attractions existantes d'une destination (Ferrario, 1979 *in* Lee *et al.*, 2010) ; une démarche parfois complétée par des enquêtes de perception (Formica and Uysal, 2006). Les méthodes d'analyses recourent à des classifications hiérarchiques (Lee *et al.*, 2010) qui permettent de mettre en évidence le poids de chaque paramètre dans les mécanismes d'attractivité, aidant ainsi les gouvernements et autorités locales à se focaliser sur les enjeux prioritaires.

Il paraît important de cerner les mécanismes de l'attractivité car ils sont à la source des processus de littoralisation (Veyret, 2007) à l'œuvre depuis plus de deux siècles. L'identification et la classification des divers attraits qui concourent à rendre une destination populaire paraissent même "indispensables" à certains auteurs pour qui "*sans elles, il est difficile de percevoir les lacunes, les trous, les éléments sous-développés de l'ensemble*" (Laplante, 1983 *in* Gagnon, 2007). J.J. Pigram (1980) distingue les sources primaires d'attraction telles que les paysages de montagne, les canyons, les rivières (etc.) des lieux d'intérêts produits par l'Homme. Les lieux ont ainsi des "fonctions premières" intrinsèques à leur nature (ou "aménités"[15]), et des "fonctions secondes" qui surdéterminent la "fonction première" car l'espace est pensé, aménagé et produit en vue d'attirer (ou "commodités" du lieu, terme qui regroupe les services, les infrastructures, etc.) (Cazelais, 1999). Le tout concourt à former ce que S. Gagnon (2007) appelle l"ambiance" d'un site.

Cet attrait s'expliquerait donc par une combinaison de modalités relevant à la fois du naturel, du culturel ou du matériel mais il semble avéré que le poids de chaque élément dans le potentiel attractif du site diffère (Lee *et al.*, 2010). Pour autant, si quelques travaux ont théorisé cette notion d'attractivité (Lew, 1987 : Lozato-Giotart, 2008) très peu ont porté sur la qualification et la quantification de ces sources d'attraction primaires et secondaires. Pourtant, si la perspective de l'étude s'inscrit dans un suivi des pressions et des impacts, l'identification des paramètres (et de leur poids dans l'attractivité) qui concourent à rendre un site attractif devraient être connus afin de valider des analyses prospectives, à l'instar du Tourism Pressure Index (TPI) développé par W.L. Hadwen *et al.* (2003).

1.A.1.2. Les étapes de la littoralisation en France

En France, au cours du 18ème siècle, seule une minorité aristocratique quitte la ville pour rejoindre la plage "*pour obéir à la mode, par désœuvrement ou par vanité*" (Reclus, 1866) ou encore sur prescription médicale, la plage étant réduite à un lieu de cure ascétique. Ainsi J. Lagéiste (2009) observe-t-il que "la vogue des bains de mer a […] permis la découverte de littoraux qui ont été pour la première fois valorisés". En France métropolitaine aussi, les littoraux ont longtemps rempli un rôle thérapeutique pour une élite aristocratique, on pense venir à la mer pour soigner l'anémie, l'asthme, la dépression, d'autant qu'avec la révolution des transports ferroviaires au cours des années 1840, la thérapie n'est plus qu'à 3 heures de Paris.

[14] "*the perceived ability of the destination to deliver individual benefits*"

[15] Désigne les agréments naturels d'un lieu

La révolution du travail s'accompagne d'une démocratisation du temps libre, d'un changement de mode vie que l'on doit à l'apparition des congés payés (Ruppert, 1983). Les espaces littoraux ne se résument plus au rôle de villégiature pour une élite, mais un espace auquel s'identifient tous les types de population, de couches sociales indifférenciées (Claval, 1998). Le phénomène d'urbanisation littorale, encore appelée "litturbanisation" (Dumont, 1996 *in* Zaninetti, 2006) s'amorce pour répondre à la demande en logements, tant et si bien qu'en 1936, le littoral était déjà plus urbanisé que le reste du territoire (Zaninetti, 2006). Il en a résulté un "boum" des constructions en logements vacants, occasionnels et en résidences secondaires : alors que 10 % du parc total français était comptabilisé dans les communes littorales en 1968, près de 43 % des nouvelles résidences secondaires construites entre 1968 et 1999 se localisaient sur le littoral (Zaninetti, 2006) (Figure 1). Ces changements, comme le fait remarquer N. Baron-Yelles (2001), se sont caractérisés par une "expansion brutale de stations" au détriment d'espaces cultivés ou naturels. L'ensemble de ces dynamiques "*a transformé le littoral de "territoire du vide" en territoire du plein, voire du trop-plein.*" (Corlay, 1995).

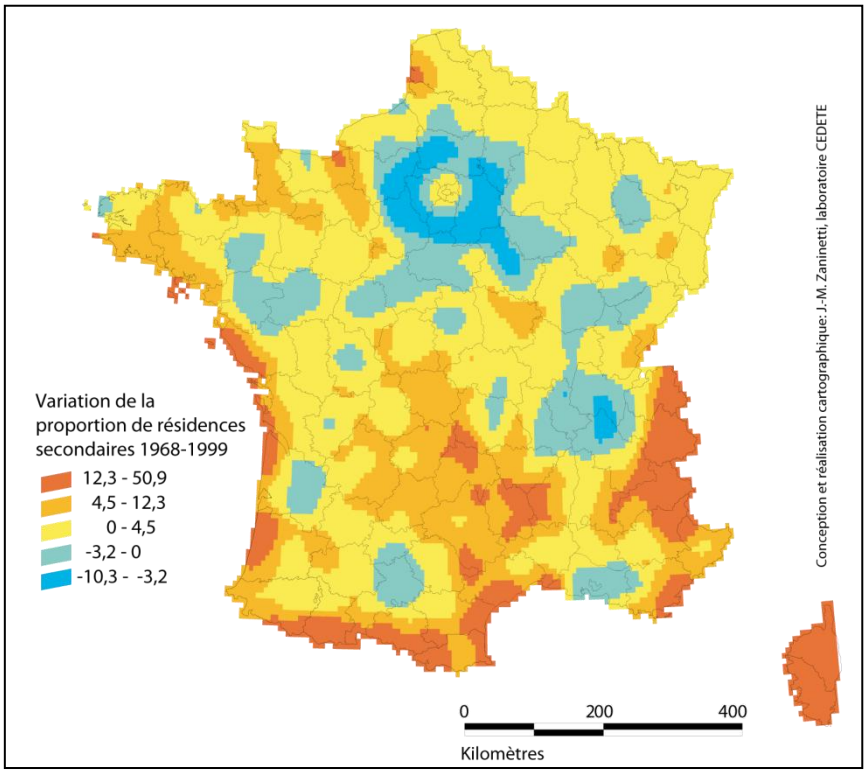


Figure 1- La variation de la part des résidences secondaires dans le logement communal en France entre 1968 et 1999. Source : Zaninetti, 2006.

On assiste ces dernières décennies à l'avènement d'une toute "nouvelle maritimité" à travers l'évolution des mentalités et des pratiques (Claval, 1998). Les loisirs liés au littoral historiquement associés à des pratiques oisives, de longues heures de baignade ou de farniente, deviennent dans un élan généralisé de conscientisation vis-à-vis de la vulnérabilité environnementale des écosystèmes côtiers, empreintes de davantage d'intérêt pour l'écologie ou les traditions liées à la mer (Claval, 1998). Ainsi, on assiste depuis deux décennies à une transition vers un "tourisme de nature", basé sur l'éducation, les visites pédagogiques et l'initiation à l'observation naturaliste (Baron-Yelles, 2001). En parallèle, la démocratisation et la recrudescence des croisières, des animations récréatives et culturelles en complément d'une activité balnéaire dite "traditionnelle" ont contribué à créer de nouveaux modèles touristiques littoraux, modifiant le paysage (Lagéiste, 1998).

1.A.1.3. Le modèle balnéaire tropical : la perspective d'un Éden

Au début du 20ème siècle, un goût pour l'eau plus chaude émerge et "*l'hédonisme maritime se fait alors jour*" (Raffestin, 1986). La double révolution des transports aériens et des télécommunications va permettre pour un budget vacances constant (coût de déplacement + durée des vacances) l'extension des "ceintures touristiques" (Miossec, 1977). Le duo "plage de sable fin/cocotiers" n'a pas toujours bénéficié d'autant de succès, et l'on doit son succès actuel aux récits des navigateurs, à une recherche toujours plus croissante de différenciation et d'isolement, un phénomène émergent par la suite instrumentalisé par un siècle de publicité (Lagéiste, 2009 ; Dehoorne et Saffache, 2008). Aujourd'hui associés dans l'imaginaire collectif occidental à l'abondance, la frugalité, la "fécondité" du monde marin (David *et al.*, 2007), ces Édens du bout du monde bénéficient d'un succès toujours plus croissant de la part d'un Homme moderne en mal de nature vierge.

Lozato-Giotart (2008) qualifie l'île "d'image touristique caricaturale", avec l'atoll tropical exotique comme figure emblématique par excellence. Le succès des îles comme destinations de vacances est directement lié au mythe du Robinson qui habite l'imaginaire collectif, à une volonté d'isolement, tant et si bien que les littoraux les plus atypiques font l'objet d'une d'"héliolâtrie" (Raffestin, 1986). C'est réellement la plage qui est vecteur d'attrait dans les îles. Aussi, on peut noter le contraste étonnant qui peut exister entre l'imaginaire de la plage de sable blanc déserte, en partie véhiculée par les publicitaires, et une réalité dans laquelle il devient difficile, voire impossible de trouver un espace pour poser sa serviette. Pour autant l'image d'Épinal véhiculée depuis les débuts de l'héliotropisme n'a pas toujours été de mise comme a pu le souligner Vacher (2008) : "*Qu'il s'agisse du plaisir que l'on peut prendre à se baigner, ou de la connotation idyllique du bleu de l'eau, toutes ces descriptions sont absentes des écrits des premiers navigateurs. Il faudra attendre le début du 20ème siècle pour voir poindre les premiers récits valorisant ces traits qui contribuent aujourd'hui à forger l'image d'Épinal de la plage paradisiaque*". Dans les écrits des navigateurs c'est le mythe du bon sauvage, à l'image d'un Éden retrouvé qui est véhiculé et qui constitue le mythe premier attaché à l'île tropicale. Dans les faits, les territoires insulaires ont des problématiques de littoralisation exacerbées (Brigand *et al.*, 2008) en raison des nombreuses contraintes inhérentes au statut d'île : exiguïté du territoire urbanisable, éloignement, limitation de la ressource, dépendance aux imports.

La plupart des îles de la zone intertropicale sont d'origine volcanique, mais toutes ne sont pas au même stade de développement. Les îles jeunes dites "hautes" (La Réunion, Nuku Hiva sur l'archipel des Marquises ou Hawaï) possèdent un relief escarpé et ne présentent pas ou peu d'atouts remplissant les critères de l'image d'Épinal (sable noir, récifs jeunes, etc.). Au contraire, les îles plus âgées dites basses (île Maurice, Mayotte) présentent de meilleures conditions au développement d'activités balnéaires, mais disposent de paysages collinaires plus monotones. Ce milieu physique à l'instar du relief, et des caractéristiques morphologiques des côtes, va déterminer les lieux qui pourront être "élus par les sociétés" (Gay, 2000). Car comme aime à le rappeler C. Raffestin (1986), *"aucun lieu n'a de vocation particulière a priori" mais résulte " d'une intersection entre un milieu social et un environnement physique"*.

Si les premiers peuplements insulaires obéissent surtout à une règle de proximité à la ressource, les hautes densités de peuplement aujourd'hui observées sont le fait du développement touristique rendu possible par la révolution aéronautique (Gay, 2000). Les dynamiques de développement les plus courantes observables sur les îles intertropicales résultent donc de la combinaison de plusieurs facteurs : une nécessité locale d'accès à la ressource, une demande touristique forgée par l'image

d'Épinal et des contraintes physiques particulièrement présentes pour les îles dites "jeunes" en milieu Austral (Hawaï, Réunion, Sainte-Lucie). Ces dernières observent d'ailleurs une "dissymétrie" dans leur développement (Gay, 2000), causée par le régime d'alizés qui oppose une "côte au vent" à une "côte sous le vent", comme ce peut être le cas pour La Réunion (Figure 2).

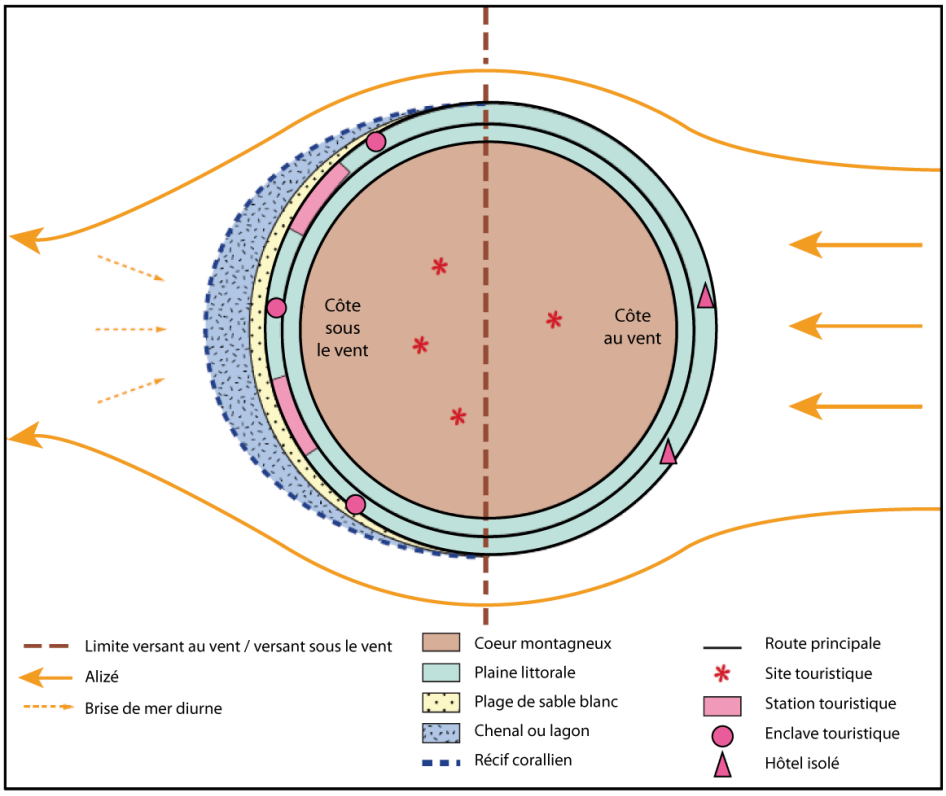


Figure 2- Le modèle de développement dissymétrique, caractéristique des îles en milieu austral. Source: Gay, 2000

1.A.2. Un littoral à forts enjeux

De par les nombreuses ressources qu'ils offrent, les espaces littoraux et les écosystèmes côtiers ont joué un rôle stratégique dans le fondement des sociétés humaines dès le 15ème siècle. Le concept de "ressources" dans son acception littéraire la plus basique se définit comme les "*moyens, possibilités qu'offre quelque chose*"[16]. Y. Veyret (2007) définit la ressource naturelle comme "*une matière première reconnue comme nécessaire aux besoins essentiels de l'activité humaine*". Parce que les océans sont vastes et ont longtemps été exploités sans limites, de nombreuses sociétés ont cultivé une vision infinie des ressources (Costanza, 1999), devenue aujourd'hui incompatible avec les réalités environnementales et économiques. Avec la Convention sur la Diversité Biologique (CBD)[17] promulguée en 1992, et la valorisation prônée d'une approche écosystémique des milieux, la ressource prend de plus en plus une acception écologique à travers la notion de "biodiversité" qui se substitue à celle de "diversité biologique". Cette notion nouvelle apparaît dans un contexte ou l'aggravation et la multiplication des crises environnementales font naître une demande sociale importante (Mathevet et Poulin, 2006), la faisant passer de la sphère des disciplines naturalistes à la sphère publique en tant que problématique environnementale. Le principe de maintien de la biodiversité mobilise en effet plusieurs enjeux qui sont i) d'ordre éthique, s'ancrant dans les valeurs

[16] Site internet du dictionnaire Le Larousse, www.larousse.fr

[17] Lien vers la Convention sur le Diversité Biologique: [URL: https ://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf]

du développement durable et de la notion d'héritage, i) d'ordre écologique, la diversité étant une condition au maintien des écosystèmes, iii) d'ordre économique, pour le marché pharmaceutique notamment et iv) d'ordre culturel, relatifs aux enjeux de préservation des savoirs des peuples autochtones en matière de biodiversité (Veyret, 2007).

1.A.2.1. Les écosystèmes marins côtiers, pourvoyeurs de ressources

Les océans abritent de nombreux écosystèmes marins qui s'appréhendent à différentes échelles qui s'emboîtent : les grands écosystèmes marins (zones océaniques relativement vastes, de 200 000 km² ou plus)[18] et les écosystèmes côtiers qui intègrent les écosystèmes estuaires, récifaux, à herbier et de plateau continental, tous interdépendants (Costanza, 1999). D'après la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), un écosystème est une unité fonctionnelle dynamique "*formée d'une communauté de plantes, d'animaux, et de micro-organismes et de leur environnement non-vivant*". E.P. Odum (1969) y apporte une dimension systémique qui vient appuyer les notions d'interrelation et d'interdépendance : *"The ecosystem, or ecological system, is considered to be a unit of biological organization made up of all of the organisms in a given area (that is, community) interacting with the physical environment so that a flow of energy leads to characteristic trophic structure and material cycles within the system"*[19].

Si on estime que les océans produisent plus de 35 % de la production primaire de la planète (Lalli et Parsons, 1993) les seuls écosystèmes côtiers apporteraient 95 % de la production marine totale[18]. Cette production relève plus spécifiquement des estuaires (Beck *et al.*, 2001), des mangroves, des herbiers et des récifs coralliens (Nagelkerken *et al.*, 2000) notamment parce qu'ils jouent un rôle de nurserie pour de nombreuses espèces de poissons commerciaux. La plupart des captures de poissons marins à l'échelle mondiale, soit 101,2 millions de tonnes[18] se feraient en effet dans la limite des 320 kilomètres de distance à la côte (Salm, 2000). En ce sens ils mobilisent de nombreux enjeux en contribuant de façon significative à la qualité de vie des sociétés, à la fois de façon directe et indirecte, et représentent par là une portion significative de la valeur économique totale de la planète (Costanza, 1999). En effet, alors que ces écosystèmes côtiers couvrent seulement 6,3 % de la surface mondiale, et contribuent pourtant à hauteur de 43 % au total de la valeur des écosystèmes mondiaux (Costanza *et al.*, 1997).

Les enjeux primaires liés à la préservation de ces écosystèmes côtiers sont de trois types : la sécurité alimentaire, le maintien de la biodiversité, l'économie. Afin de rendre la réalité de ces richesses plus tangible et appréhendable pour les décideurs et les politiques, des chercheurs se sont intéressés aux valeurs d'usage ou de non-usage[20] des écosystèmes côtiers, en chiffrant les biens et les services rendus aux sociétés par ces écosystèmes.

1.A.2.2. Écosystèmes côtiers et services écosystémiques

Ce sont les économistes les premiers qui dès les années 1970 vont initier, à partir de l'un de leurs concepts centraux, la "valeur", un concept clé de l'économie (Harribey, 1999), une nouvelle

[18] Site de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture [URL:http://www.fao.org/fishery/topic/3542/en]

[19] Un écosystème ou "système écologique", est une unité d'organisation biologique produite par tous les organismes sur un espace donné, qui interagit avec l'environnement physique si bien que le flux d'énergie produit mène à une structure trophique caractéristique et à des cycles de la matière au sein du système

[20] "La notion de valeur est souvent associée à celle de rareté reposant sur le principe selon lequel plus un bien est rare, plus il a de valeur" (Mirault, 2006).

dialectique qui permet d'intégrer la composante humaine à l'étude des écosystèmes récifaux (Mirault, 2006). On va désormais pouvoir évaluer la nature en termes de "valeur" et de "services" rendus à la société selon trois classes : écologique, socioculturelle et économique (De Groot *et al.*, 2002). La nature et ses biens ne sont alors plus envisagés comme un "dû" mais comme un "service" aux sociétés humaines. Ce nouveau concept de "service écosystémique" (encadré b.) qui se développe généreusement dans la littérature à partir des années 1990 doit pouvoir par ailleurs contribuer à rétablir le dialogue entre scientifiques et décideurs, à mieux accorder les temporalités[21] (Hernandez, 2002 ; David *et al.*, 2012). Les années 2000 ont vu la généralisation de cette nouvelle lecture des rapports nature/société, et les services écosystémiques font désormais l'objet d'une forte demande par les pouvoirs publics, car ils permettent d'"*intégrer la biodiversité dans le monde des décideurs économiques et des élus politiques*" (David *et al.*, 2012).

En 1997, l'article de Costanza *et al.* (1997) introduit la notion de "fonction écologique des écosystèmes" et de "services" rendus correspondants. Ces travaux marquent ainsi les débuts d'un nouveau champ de recherche à part entière qui implique de nombreuses disciplines (économie, géographie, écologie, etc.), mais souvent au service de la conservation (Armsworth *et al.*, 2007) : l'économie de l'environnement. Résultant d'une lente transition d'une conception économique originelle et classique des bienfaits de la nature en tant que "valeurs d'usage" à leur conceptualisation en termes de "valeurs d'échange", beaucoup d'études aujourd'hui mènent à la monétisation et la marchandisation des services (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010) et on assiste aujourd'hui à l'intégration de ces concepts dans les politiques environnementales ou agricoles comme un moyen de pression (Méral, 2012). Cette monétisation de la valeur qui est par ailleurs très controversée, permettrait de mieux cerner le coût élevé et l'impossibilité matérielle de substituer à ces services (Barnaud *et al.*, 2011).

Même si cette nouvelle approche ne fait pas consensus au sein de la communauté scientifique, car soulevant des problèmes essentiellement éthiques, selon lesquels il serait inapproprié de donner une valeur à des choses intangibles telles que la vie humaine ou l'esthétique, elles continuent d'être exploitées car les chiffres sont un langage universel. C. Barnaud *et al.* (2011) dénoncent comme d'autres les incertitudes liées à "*une métaphore*" devenue "*concept scientifique établissant une relation bijective entre les écosystèmes et les sociétés*" (Barnaud *et al.*, 2011). En effet, selon ces auteurs, les relations de causes à effets en jeu sont encore souvent mal connues et avérées au sein de la communauté scientifique. Par ailleurs, Lopes et Videira (2013) font remarquer que la démarche d'évaluation économique des écosystèmes marins et littoraux se confronte à la complexité et l'inaccessibilité de leurs biens et services, ce qui constitue un obstacle pour la sensibilisation et la reconnaissance de la succession de bénéfices qu'ils procurent (Lopes et Videira, 2013). Selon G. David *et al.* (2012), l'économie de l'environnement qui tend de plus en plus à se conformer aux logiques et aux théories de l'analyse financière, requiert davantage d'intégration d'autres disciplines telles que la sociologie, la géographie, afin de réduire ce risque de "découplage" entre l'écosystème et sa valeur dénoncé par les auteurs.

[21] Il est ici fait référence à la discordance entre la temporalité longue du chercheur qui s'ancre dans des processus longs, nécessaire à l'acquisition de résultats fiables, et la temporalité courte du décideur ancrée dans le processus court, les solutions immédiates.

Encadré b. La notion de service écosystémique

La notion de "service écosystémique" est définie par les auteurs comme "*the conditions and processes through which natural ecosystems, and the species that make them up, sustain and fulfill human life*" (Daily, 1997), "*the benefits human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions*" (Costanza *et al.*, 1997), ou de façon plus concise "*the benefits people obtain from ecosystems*" (MEA, 2005). De Groot *et al.* proposent en 2002 un cadre méthodologique permettant de mieux traduire la complexité amont des processus écologiques, qu'ils soient biotiques ou abiotiques en un nombre limité de fonctions écosystémiques, définies comme la "*capacité des processus naturels et de leurs composantes à pourvoir des biens et des services qui satisfont les besoins humains, de façon directe ou indirecte*" :

- La fonction de régulation qui réside dans la capacité des écosystèmes naturels et semi-naturels à maintenir un niveau de santé suffisant à garantir les processus écologiques et par là même, les services rendus à l'Homme (purification de l'air, eau et sol, etc.) ;
- La fonction d'habitat pour de nombreuses espèces animales et végétales, participant ainsi à la conservation de la diversité biologique et génétique et aux processus d'évolution ;
- La fonction de production de biomasse essentiellement, pourvoyant à de nombreux biens écosystémiques pour la consommation humaine, de la nourriture à la matière première ou les ressources énergétiques ;
- La fonction d'information, l'écosystème naturel remplissant une fonction de référence puisque s'agissant d'habitat "non domestiqué", et pourvoyant à des fonctions d'enrichissement spirituel, de développement cognitif, d'expérience esthétique, et de loisirs (De Groot *et al.*, 2002). Ces biens et services écosystémiques se déclinent en autant de points qu'il existe de fonctions et de sous-fonctions écosystémiques (23 selon la classification de De Groot *et al.*, 2002, adaptée de Costanza *et al.*, 1997).

1.A.2.3. Enjeux autour des écosystèmes côtiers à « haute valeur » : attractivité vs. vulnérabilité

Les récifs coralliens sont des écosystèmes marins possédant une très riche biodiversité, parmi les plus importantes de la planète (Roberts *et al.*, 2002 ; Wilkinson, 2008). Aussi, ils mobilisent des enjeux non négligeables, rendant aux sociétés humaines un panel de services et de biens écosystémiques aussi vitaux que variés (Costanza *et al.*, 1997 ; Moberg and Folke, 1999), allant de la valeur esthétique paysagère à la sécurité alimentaire des communautés côtières des pays en développement (David et Cillauren, 1992 ; David *et al.*, 2012). En outre, leur présence est souvent associée, telle un réseau, à celle d'autres milieux riches tels que les herbiers ou les mangroves, d'autre part parce qu'ils font office d'habitat ou de "nurserie" pour de nombreuses espèces de poissons tropicaux (Chaboud *et al.*, 2008b). Les récifs coralliens, au même titre que de nombreux autres écosystèmes, remplissent de nombreuses fonctions (Encadré b.) parmi lesquelles certaines procurent des biens et des services à la société[22] (Costanza *et al.*, 1997). Costanza *et al.* (1997) chiffraient le total des services écosystémiques produits pas les écosystèmes coralliens du monde à 375 milliards de dollars US par an, dont la moitié est imputable aux services de loisirs, et plus d'un tiers au service de régulation des perturbations (barrières contre les surcotes entre autres). Par ailleurs, la fonction de production de nourriture est évaluée à près de 220 dollars par hectare de récif

[22] Ce thème ayant par ailleurs fait l'objet d'une synthèse bibliographique très complète par E. Mirault (2006) dans le cadre de sa thèse portant sur les fonctions et enjeux des écosystèmes récifaux à La Réunion, nous reviendrons uniquement sur les points essentiels.

par an, ce qui en fait l'un des écosystèmes les plus productifs au monde. Malgré cela, les pêcheries des récifs comptent parmi les plus vulnérables à l'exploitation (Birkeland, 1997) et la disparition des récifs coralliens pourrait être lourde de conséquences, mettant "sur la sellette" plus de 500 millions de personnes dont la survie dépend de ces écosystèmes (Wilkinson, 2008).

1.B. Entre devoirs de protection et de valorisation

À la fin des années 1960, une poignée d'intellectuels dénonce les symptômes précurseurs d'une surconsommation : ce sont les débuts du mouvement écologiste. Quelques Organisations Non-Gouvernementales (ONG) créées au début des années 1970, dont Greenpeace en 1971, vont jouer un rôle fondamental en portant le message en place publique, initiant ainsi une prise de conscience globale. Les premières conférences et sommets de la Terre, dont le plus marquant, celui de Stockholm en 1972, vont finir d'ancrer ces valeurs et les asseoir en 1980 lors de la Stratégie Mondiale de la Conservation dans le concept de "développement durable" (IUCN, 1980) entériné plus tard dans le *rapport Brundtland* en 1987 (Brundtland, 1987). Si ces évolutions marquent une reconnaissance de l'interdépendance existante entre l'humanité et l'environnement, le concept de développement durable, lui, est parfois dénoncé comme un "concept impudemment anthropocentré" (Lee, 2000) ou comme un *statu quo* galvaudé et dépassé, nécessitant une réforme pour certains, une transformation pour d'autres (Hopwood *et al.*, 2005 ; Weaver, 2012). Cependant les *« problèmes de conservation de la biodiversité ne peuvent être résolus aujourd'hui sans intégrer et évaluer les dimensions sociales et éthiques des causes même de ces problèmes* « (Mathevet et Poulin, 2006).

1.B.1. De l'exclusion à l'intégration, les mouvements de la conservation

1.B.1.1. De la motivation esthétique au conservationnisme

Aux balbutiements des logiques de conservation, la question qui a toujours été de mise était de savoir s'il faut "protéger" la nature de toute atteinte, ou s'il faut la "conserver", c'est-à-dire la mettre en valeur tout en régulant son accès (Veyret, 2007). À aussi loin qu'il est possible de remonter afin d'identifier les premières mesures de protection ayant existé, nous avons identifié trois principaux paradigmes environnementaux, tels trois temps de la conservation, qui ont conditionné l'avènement et le développement des mesures de protection (Depraz, 2008 ; Rodary et Castellanet, 2003) : naturaliste, radical et intégrateur.

À la fin du 19ème siècle, il est question de mettre en protection des espaces naturels à forte valeur ajoutée à des fins esthétiques, de ressourcement et de contemplation. La nature sauvage, indomptée revêt une importance symbolique, les deux ingrédients principaux étant alors ce qui relève du "pittoresque" et d'"emblématique" (Depraz, 2008) ; c'est là le temps naturaliste de la conservation. Au cours du 20ème siècle, avec l'idée que le progrès s'accompagne irrémédiablement d'un phénomène de dégradation de la nature, et face au constat d'une démographie galopante faisant poindre une peur de l'inadéquation entre demande et ressources, on glisse peu à peu vers un paradigme plus radical. Basée sur des principes d'interdit et d'exclusion, cette mouvance cristallise la ségrégation Homme/nature à travers la mise en place de mesures exclusives de protection dont la plus radicale correspond aux réserves intégrales (aucune action de l'Homme n'est tolérée), véritables "îles" de nature sous cloche (David *et al.*, 2006). Or, certains anthropologues ont dénoncé dans les années 1970 les échecs de la conservation, qui se manifestèrent par des incidences sociales sur les populations locales.

1.B.1.2. Le tournant de l'intégration : les nouvelles valeurs de la conservation

La prise en compte progressive des enjeux sociaux dans la définition des modes de gestion, bien que tardive, marque les débuts du paradigme intégrateur qui consiste en "*un élargissement des objectifs de protection de la nature vers des considérations non écologiques et plus largement sociales*" (Depraz, 2008). L'essor du paradigme intégrateur force à repenser la gouvernance des espaces protégés. Le Congrès Mondial des Aires Protégées de Durban a par ailleurs permis en 2003 l'établissement des principes de "bonne gouvernance" reposant sur un principe de subsidiarité, à savoir que la conception, la gestion et la valorisation des espaces protégés doivent être effectuées par l'échelon politique situé au plus près des habitants (Depraz, 2008). Les démarches descendantes ou "*top-down*", modèles jusqu'ici largement répandu, laissent ainsi peu à peu la place aux démarches ascendantes ou mode de gouvernance "*bottom-up*" censées donner du poids aux communautés locales dans la gestion et les processus décisionnels. Le mode de gouvernance bottom-up se matérialise par un transfert de compétences ou "décentralisation" (Thomassin, 2011), tout en laissant au "sommet" (top) des possibilités d'incitation, notamment sur le plan financier (Veyret, 2007). Cette mutation qui répond aux exigences de justice sociale portée par les valeurs du développement durable se traduit à échelle locale par le développement des "*Community-Based Organisation*" ou CBO basées sur une gestion communautaire des ressources, plus généralement dans les pays en développement où à fort potentiel écotouristique (Agardy, 1993).

Ce nouveau type de gouvernance locale s'adosse à un nouveau concept né de l'Acte de la Gestion des Zones côtières (*Coastal Management Act*) de 1972 et qui tend à s'imposer en tant que nouveau mode de gouvernance à échelle internationale : la "Gestion Intégrée des Zones Côtières" ou GIZC (Cicin-Sain, 1993). Bien qu'âgé d'un demi-siècle, ce concept a mis du temps, et peine toujours, à se faire le filtre des programmes de conservation. Y. Veyret (2007) définit d'ailleurs comme "émergent", ce concept qui "*tend à considérer qu'on ne peut gérer le littoral si l'on ne considère pas qu'il s'agit d'un système dont tous les éléments sont, quelque part, solidaires*". La gestion des pressions humaines le long des zones côtières s'oppose au problème de la superposition des nombreuses échelles auxquelles se nouent les divers enjeux : physique, sociale, et législative (Creel, 2003). À cela viennent s'ajouter les enjeux économiques de secteurs variés tels que celui du tourisme, de la pêche, de l'agriculture, de l'immobilier, de la gestion des déchets, etc. Le développement incontrôlé, parfois observable sur ces espaces, s'explique par un défaut de gestion intégrée des différents secteurs, des lacunes que les valeurs de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GZIC) doivent palier en adoptant une démarche et une gestion transdisciplinaire, et intégrée. La finalité est de trouver un équilibre entre les usagers de l'eau et des ressources naturelles tout en assurant la santé et la productivité à long terme de l'environnement littoral (NOAA, 2003).

1.B.2. L'Homme et les espaces protégés : quelle intégration ?

Au cours des 30 dernières années, l'opposition existante entre les courants conservationnistes et développementalistes a contribué à cristalliser l'antagonisme entre la croissance économique et la protection des ressources naturelles (Sarrasin, 2007). Or de plus en plus d'espaces protégés s'établissent en milieu anthropisé par nécessité, et sont particulièrement attractifs. Aussi, cet antagonisme apparent pose la question de la compatibilité entre conservation et développement, par ailleurs formulée par C. Meur-Férec (2007a) " : *"Cet engouement pour les sites naturels littoraux soulève des questions de gestion liées au double objectif de conservation des écosystèmes et d'ouverture des sites au public. Dans quelle mesure ces deux orientations risquent-elles d'être antinomiques ?"*

1.B.2.1. Conservation et développement : deux dynamiques antagonistes?

E. Rodary *et al.* (2003) questionnent dans leur ouvrage la compatibilité entre le développement (et ce qu'il peut induire en termes de pressions, d'urbanisation, et de pollution) et la conservation dont l'efficacité repose sur une exclusion ou une régulation des actions de l'Homme sur l'espace protégé. S. Depraz (2008) considère que les espaces protégés, outils inventés par l'Homme, constituent "*la marque d'un degré supplémentaire d'intervention des Hommes sur le milieu pour en réguler l'évolution*". La création d'un espace naturel protégé ne résulte par forcément selon cet auteur dans un retrait de l'Homme et de ses usages, mais suscite une dynamique duale :

- d'une part elle induit une mutation économique, une transition lente d'un tourisme (parfois) de masse à un tourisme de nature souvent indissociable d'une valorisation du savoir-faire local, de l'artisanat. En effet, une stratégie de "*multiple-use planning*" peut être nécessaire pour éviter les conflits d'usages sur un nouveau territoire (Agardy, 1993). De ce fait, c'est toute une culture qui est valorisée en même temps que l'environnement (Weaver et Lawton, 2007) ;
- d'autre part elles impliquent une transformation des usages, une représentation sociale nouvelle, de nouvelles formes d'occupation de l'espace, processus qui résulte du précédent point.

Partout notable, il existe un intérêt collectif accru en faveur de l'environnement (Depraz, 2008), un engouement croissant pour les espaces de nature (Meur-Férec, 2007a ; Baron-Yelles, 2001). Le dilemme des gestionnaires et des scientifiques est de trouver des moyens durables de faire coexister l'attrait du public pour ces espaces et les objectifs de conservation. Aussi, les stratégies de mitigation de cette pression empruntent de nombreuses voies : i) des stratégies d'"empêchement" (établissement de zones "sanctuaires" dont l'accès au public est interdit) ; ii) des stratégies de "canalisation" du public sur des sentiers balisés (Baron-Yelles, 2001), la diffusion ayant pour effet la multiplication des sentiers informels et donc la fragmentation des habitats (Leung *et al.*, 2012) ; iii) des stratégies de déplacement des usagers des zones à usage intense à des zones moins fréquentées (Pigram, 1980) en passant par iv) des stratégies de sensibilisation prônées à travers un tourisme de nature, et une responsabilisation du public vis à vis des objectifs de conservation. Paradoxalement, les mesures de mitigation qui peuvent être mises en place afin de réduire les impacts du public (sentiers balisés, d'aires de pique-nique délimitées et aménagées, etc.) induisent une nouvelle organisation du territoire qui se traduit parfois par une artificialisation d'un espace initialement sollicité pour son côté sauvage (Dewailly, 1997). Les usagers ont par ailleurs du mal à comprendre et accepter l'artificialisation de l'espace naturel dont ils sont venus profiter (Meur-Férec, 2007a).

Dans certains cas, notamment dans les pays en développement, les auteurs ont rapporté des échecs de la mise en conservation d'espaces vierges par la suite devenus trop touristiques (Grenier et Miras, 1994) ou préalablement peuplés mais dont les stratégies de gestion trop intrusives ou "top-down" n'ont pas abouti à des résultats concluants (Agrawal et Gibson, 1999). Un échec que l'auteur attribue à l'incapacité des gouvernements à impliquer ses citoyens, en partie parce que de nombreuses ressources et de nombreux usages sont en jeu : *"The past several decades of planned development and top-down conservation practices have made one fact amply clear : the capacity of states to coerce their citizens into unpopular development and conservation programs is limited"*[23].

[23] "Les politiques de planification territoriale et les pratiques de conservation "top-down" de ces dernières décennies ont amené à un constat : celui de l'incapacité des états à convertir leurs citoyens à des programmes de conservation et de développement qui restent impopulaires"

1.B.2.2. Usagers et espaces protégés : des territorialités contraintes

Bien qu'ayant pour vocation première la préservation de la nature, les espaces naturels protégés sont également des lieux fortement attractifs. Pour N. Lahaye (2007), la création même d'un espace protégé est implicitement liée à une exploitation touristique "*lorsque le territoire se façonne autour d'un actif environnemental spécifique tel qu'un parc naturel, sa qualification est étroitement liée au processus de valorisation par le tourisme*". Mais, relève-t-elle encore, le fait même que se nouent sur ces territoires des dynamiques antagonistes de développement touristique et donc d'économie, et de conservation fait naître des conflits ; des conflits qui portent *"non seulement sur les usages de la ressource environnementale, mais aussi sur la valeur collective allouée à la ressource – valeur marchande, d'existence ou encore de legs"* (Lahaye, 2007). Malheureusement, il peut arriver que les politiques de valorisation empiètent sur les objectifs de conservation. Certains auteurs, à l'instar de S. Gössling (2001), ont par ailleurs mis en évidence les limites d'une exploitation touristique qui peut venir menacer l'usage durable de la ressource (ici la ressource en eau, en période touristique à Zanzibar, Tanzanie : Gössling, 2001) et donc de la qualité de vie des locaux.

Ce qui transparaît par ailleurs dans de nombreux cas, est la nature conflictuelle que revêt l'usage de la ressource, ou "conflit d'appropriation" au sein même d'une communauté comme entre communautés (Agrawal et Gibson, 1999 ; David *et al.*, 2006 ; Descola, 2008). Quel que soit le niveau de développement du pays concerné, le dénominateur commun à l'exploitation de la ressource est le risque de conflit d'usage. La mise en protection d'espaces anthropisés peut exacerber des conflits préexistants, ou en créer de nouveaux. Elle peut engendrer, par un défaut de concertation un sentiment de rejet, de désaveux chez les populations, se traduisant par un niveau bas d'acceptation du dispositif de protection (Thomassin, 2011). C. Chaboud *et al.* (2008b) remarque que les réactions de la part des communautés littorales sont plus exacerbées que celles des communautés terrestres, peut-être du fait que les densités humaines sont plus importantes sur les côtes, et que les ressources y sont plus importantes.

En somme, l'établissement de mesures de conservation, et par là même de nouvelles règles, pose la question de la concordance entre i) le territoire des usages et des pratiques des populations riveraines sur les ressources, ii) le territoire de la règle composé de zonages établis par le plan de gestion d'un dispositif de conservation, et iii) le territoire des représentations sociales (David *et al.,* 2006) (Figure 3). En outre, ce problème de territoire se pose également à l'échelle institutionnelle, puisque les documents de planification territoriale qui produisent un territoire de règle qui leur est propre se chevauchent souvent spatialement, marquant ainsi un "manque d'harmonie" (David *et al.*, 2006). Une bonne appréhension des concordances et discordances spatiales et temporelles entre ces divers territoires dans les choix de gestion par une bonne connaissance des dynamiques sociales à l'œuvre paraît incontournable pour limiter les conflits et mieux enraciner les stratégies de gestion aux principes de la GIZC (Figure 3).

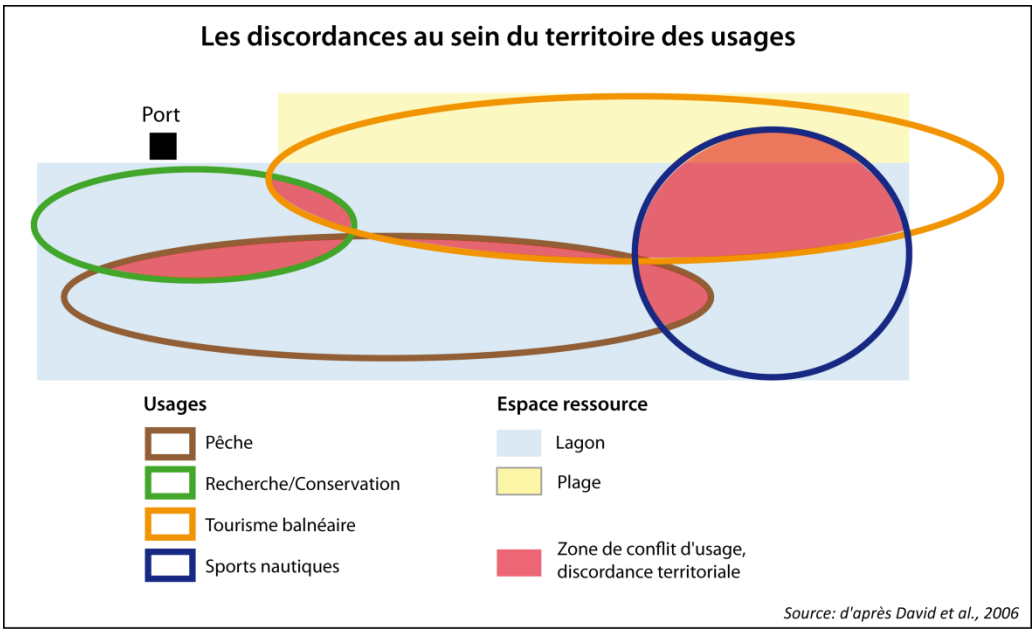


Figure 3– Les discordances au sein du territoire des usages en contexte littoral. Source : David *et al.*, 2006

1.B.2.3. Vers un business de la conservation ?

Les scientifiques et les gestionnaires sont en perpétuelle recherche de solutions pour parvenir à concilier conservation et développement. De façon systématique, la régulation et la limitation des usages sont de mise : "*Potential solutions include both indirect and direct management techniques, including the limitation and rationing of use*"[24] (Cole, 1995). Aussi, quelques auteurs évoquent-ils une solution payante, comme un moyen de régulation (Cole, 1995) ou encore un tourisme sélectif (Grenier et Miras, 1994). Nous l'avons vu, la nature peut être porteuse de valeurs monnayables (cf. 1.A.2.2.). H. Nicholls (2004) postule dans son article qui s'intitule "The conservation is business" que la biodiversité n'est autre qu'une marchandise qui peut être achetée et vendue[25] . C. Grenier et C. Miras (1994) affirment à propos des Galapagos que "*la conservation tire du milieu physique et biologique une valeur d'usage*". De là à la transformer en valeur d'échange, il n'y a qu'un pas : *"protecting biodiversity is no longer just about ethics and aesthetics ; the latest buzzwords are commodities and consumers*"[26] (Nicholls, 2004). Parce que la gratuité peut parfois faire craindre des comportements peu respectueux et consuméristes de la part du public (Meur-Férec, 2007a), la solution de l'entrée payante est parfois envisagée comme un frein efficace au "trop-plein". Reste le risque de discriminer une partie de la population qui ne peut ou ne souhaite pas payer ce "service".

La mise en protection de territoires terrestres ou marins a des répercussions sur l'économie locale, comme a pu le démontrer H. Nicholls (2004) pour le cas de Madagascar où l'établissement de deux parcs nationaux s'est traduit par une perte annuelle de 10 % des revenus des villageois. Une des meilleures façons d'optimiser la mise en place d'une aire protégée et de compenser les pertes est de se tourner vers le tourisme de nature ou écotourisme (Agardy, 1993). Selon T. Agardy (1993), ces espaces protégés agiraient comme un aimant sur un public touristique envieux d'apprendre

[24] "Les solutions potentielles impliquent des techniques de gestion à la fois directe et indirecte, y compris la limitation des usages"

[25] *"Biodiversity is a commodity that can be bought and sold ; conservation is business"* (Nicholls, 2004)

[26] "la protection de la biodiversité ne se limite plus aux questions d'éthique et d'esthétique ; les mots qui sont d'actualité sont "commodités" et "consommateurs""

l'écologie. Entre 1988 et 2003, la Banque Mondiale a financé 55 projets de développement portant sur l'établissement d'aires marines protégées en Afrique, dont 32 placés sous le signe de l'écotourisme (Nicholls, 2004). Dans les pays en développement, cet usage mercantile de la nature tend à se répandre sous le poids des politiques des ONG et notamment parce que le manque d'appui financier de la part des gouvernements les pousse à développer des stratégies d'autofinancement (Agardy, 1993 ; Dharmaratne *et al.*, 2000). Pourtant, les retombées sont disproportionnelles, voire ne sont pas toujours assurées si l'on en croit H. Nicholls (2004) qui évoque la possibilité d'un passage à un système de "paiement direct" aux locaux comme un moyen de rendre la conservation plus effective.

1.B.3. L'essor des Aires Marines Protégées : un réseau en expansion ?

1.B.3.1. Aires Marines Protégées : contours et enjeux

Une Aire Marine Protégée (AMP) est une "*zone géographiquement délimitée qui est désignée, ou réglementée, et gérée en vue d'atteindre des objectifs spécifiques de conservation*" selon la Convention sur la Biodiversité Biologique[27]. Pour l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), il s'agit d'"un espace géographique clairement défini, reconnu, spécialisé et géré par des moyens légaux ou d'autres moyens efficaces, visant à assurer la conservation à long terme de la nature et des services écosystémiques et valeurs culturelles qui y sont associés". Une AMP est une catégorie d'aire protégée qui doit correspondre à "*tout espace intertidal ou infratidal ainsi que des eaux sus-jacentes, sa flore, sa faune et ses ressources historiques et culturelles que la loi ou d'autres moyens efficaces ont mis en réserve pour protéger en tout ou en partie le milieu ainsi délimité*" (Kelleher et Kenchington, 1999). Aussi, on distingue trois types d'AMP, i) les AMP exclusivement marines, sans habitat terrestre, ii) les AMP qui contiennent des parties marines, intertidales et subtidales, et enfin iii) les AMP qui recouvrent des habitats terrestres et intertidaux (UNEP-WCMC, 2008).

1.B.3.1.1. Les Aires Marines Protégées : un outil de conservation multiple

Il existe des confusions autour de la notion d'AMP sans doute dues à la grande variété d'aires protégées, distinguables d'après leurs statuts juridiques, leur mode de gestion ou leurs objectifs (Thomassin, 2011). Aussi, de partout fleurissent les typologies élaborées par les institutions nationales ou internationales censées faciliter leur identification, mais qui souvent alimentent cette confusion (UNEP-WCMC, 2008).

La classification de l'UICN en 6 catégories fait office de classification de référence, pas seulement pour les AMP mais pour toutes les aires protégées. Elle se fonde sur les objectifs que le gestionnaire/la communauté s'est fixés (Tableau 1). La Banque Mondiale a élaboré une typologie (1 à 4) où les AMP se placent sur une échelle allant de la stricte protection (1) à la planification spatiale d'activités humaines (4) (UNEP-WCMC, 2008). De leur côté, en vue de mieux intégrer ces territoires de règles (c.f. 1.B.2.1) à l'environnement et au contexte politique et social, la Convention sur la Diversité Biologique et l'UICN ont encouragé la mise en place conjointe d'une gamme de degrés divers de protection au sein même d'une AMP, dont les deux plus répandues sont les aires de

[27] Lien vers la Convention sur le Diversité Biologique: [URL: https ://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf]

protection intégrales et les AMP à usages multiples. F. Féral (2011) identifie 3 variables qui jouent sur la perception et la définition d'une AMP, qui sont :

- bioécologique : efficacité de l'aire marine protégée sur l'état et l'évolution de la biodiversité, biomasse, effet de réserve ;
- socioéconomique : efficacité de l'aire marine protégée sur le maintien et la régulation des activités humaines ;
- juridique : efficacité des modèles de gestion dits de "gouvernance", de l'aire marine protégée.

Tableau 1- Les catégories de l'UICN. Source : Dudley, 2008

Cat. UICN	Définition
I	a. Réserve naturelle intégrale / Zone de nature sauvage : aire protégée gérée principalement à des fins scientifiques ou de protection des ressources sauvages
	b. Zone de nature sauvage : aire protégée gérée principalement à des fins de protection des ressources sauvages
II	Parc national : aire protégée gérée principalement dans le but de protéger les écosystèmes et à des fins récréatives
III	Monument naturel : aire protégée gérée principalement dans le but de préserver des éléments naturels spécifiques
IV	Aire de gestion des habitats ou des espèces : aire protégée gérée principalement à des fins de conservation, avec intervention au niveau de la gestion
V	Paysage terrestre ou marin protégé : aire protégée gérée principalement dans le but d'assurer la conservation de paysages terrestres ou marins et à des fins récréatives
VI	Aire protégée de ressources naturelles gérée : aire protégée gérée principalement à des fins d'utilisation durable des écosystèmes naturels

1.B.3.1.2. Missions d'une AMP

Bien que visant une finalité de conservation, une AMP est créée pour une raison ou une combinaison de raisons variées (Salm *et al.*, 2000) : la préservation d'un écosystème, assurer des pêcheries durables, une importante diversité des espèces, une attractivité touristique importante, des valeurs culturelles spécifiques, etc. Mais aujourd'hui de plus en plus d'AMP se fixent des objectifs multiples, dont les principaux consistent à :

- Limiter/réguler l'exploitation des ressources ;
- Protéger l'écosystème, notamment les habitats clés (récifs coralliens primaires, mangroves) ;
- Restaurer au mieux les conditions optimales des habitats et des stocks ;
- Valoriser certaines activités économiquement et culturellement importantes comme la pêche traditionnelle ou le tourisme ;
- Définir des niveaux durables d'usage et des structures de gestion appropriées ;
- Récolter et transmettre l'information à travers la recherche, l'éducation, et les programmes de sensibilisation.

Quel que soit le statut juridique d'une AMP, il existe 3 stratégies de gestion (Pomeroy *et al.*, 2005) : la gestion centralisée, la gestion communautaire et la gestion collaborative, qui impliquent des degrés

d'implication différents des parties prenantes. Le gestionnaire est tenu d'élaborer un plan de gestion fixant la stratégie de conservation à long terme (Salm *et al.*, 2000), lequel fournit un ensemble "*explicite de buts, d'objectifs et d'activités*" menés sur une période et une aire données (Pomeroy *et al.*, 2005). Ce dernier est souvent élaboré de concert avec les scientifiques qui travaillent par ailleurs à l'élaboration de guides méthodologiques dédiés, financés par des institutions internationales telles que l'IUCN, la WWF ou la NOAA[28], et destinés aux gestionnaires d'AMP (Pomeroy *et al.*, 2005 ; Hockings *et al.*, 2000 ; Salm *et al.*, 2000). Ces derniers ont pour vocation d'accompagner dans une démarche de "gestion adaptée"[29] (Pomeroy *et al.*, 2005 ; Hockings *et al.*, 2000) le gestionnaire dans la conception de son plan de gestion, la définition de ses objectifs et de ses indicateurs.

La France qui compte aujourd'hui plus de 366 AMP dont la surface cumulée couvre près de 307 000 km², soit 30 % des eaux sous juridiction française, reconnaît plus de 15 catégories d'AMP "aux objectifs propres, mais complémentaires"[30] (aires-marines.fr). En guise de relais entre les objectifs internationaux dictés par la Convention sur la Diversité Biologique et l'état français a été créé en 2006 l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP[31]), outil de tutelle des AMP françaises.

1.B.3.2. Accroissement du nombre d'AMP et structuration des réseaux

En 2011, on estimait à 5045 le nombre d'AMP dans le monde, couvrant 2,59 millions de km², soit 0,72 % de la surface océanique mondiale et 27 % des récifs coralliens mondiaux (Burke *et al.*, 2011). Les textes internationaux, à l'instar de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), encouragent tous à une densification de la couverture de la surface océanique mondiale en AMP. Le dernier comité des 193 pays signataires de la CDB, réunis à Nagoya (Japon) en Octobre 2010 a mis à jour les objectifs de 1992 portant à 10 % des eaux nationales les eaux devant être mises en protection d'ici à 2020. Ces recommandations sont souvent relayées par les états qui se fixent, via des institutions nationales chargées de la gestion des AMP des objectifs souvent plus ambitieux à l'instar des îles Fidji qui se sont fixé un objectif de protection à hauteur de 30 % de la superficie des récifs fidjiens d'ici à 2015 (UNEP-WCMC, 2008). En 2004, la France s'est dotée d'une Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB) qui fixe un cadre de mise en œuvre de ces objectifs. Le pays doit atteindre un objectif de couverture à 20 % des ZEE françaises d'ici à 2020, ce qui peut expliquer cet "activisme" de la part du ministère chargé de l'environnement à travers le classement en parc marin de 68 380 km² à Mayotte en 2010 (Féral, 2011).

1.B.3.2.1. Un accroissement partout notable

À partir des années 1970 le nombre d'AMP n'a cessé de croître pour passer de 33 491 km² de surface océanique mondiale en AMP à 8 106 430 km² en 2011, avec une explosion significative de 1200 % au cours de la décennie 1970[32] (Figure 4). Cette expansion concerne surtout les régions qui dépendent fortement ou exclusivement des ressources halieutiques pour leur survie, tels que les états et provinces insulaires qui abritent des habitats à la riche biodiversité mais dont les écosystèmes sont très vulnérables (Chaboud *et al.,* 2009). Sur les deux décennies 1990 et 2010, la surface des eaux

[28] National Oceanic and Atmospheric Administration qui est l'agence américaine responsable de l'étude de l'océan et de l'atmosphère.

[29] La gestion "adaptée" est un procédé de gestion qui se sert du retour d'expérience afin de mieux adapter et conduire les stratégies de gestion futures (Hockings *et al.*, 2000).

[30] Depuis la Loi n° 2006-436 du 14 avril 2006, du code de l'environnement, qui a permis d'élargir la notion juridique de Parc national, et de placer 9 catégories d'aires protégées supplémentaires sous la tutelle de l'AAMP en complément des 6 catégories originales (aires-marines.fr).

[31] Etablissement public sous tutelle du ministre chargé de la protection de la nature loi nº 2006-436 du 14 avril 2006 et le décret n° 2006-1266 du 16 octobre 2006. (articles L.334-1 et suivants et R .334-1 et suivants du code de l'environnement).

[32] Site internet sur les aires protégées, the World Database on Protecetd Areas mise en place par l'UICN et le PNUD ; www.wdpa.org.

territoriales en AMP a augmenté de 208,8 %. De même, dans l'ensemble des pays les moins avancés (PMA) cette expansion a également été très importante (133,6 %) (Tableau 2).

Tableau 2- Evolution des AMP en part des eaux territoriales entre 1990 et 2012. Source: World Database on Protected Area, www.wdpa.org

	Aires Marines Protégées en % des eaux territoriales				Taux de croissance decennal moyen 1990-2010 (%)
	1990	2000	2010	2012	
Monde	4,6	6,8	9,5	*9,7*	43,5
Régions développées	8,3	11,8	13,9	*13,9*	29,8
Régions en développement	1,6	3,0	5,8	*5,9*	88,6
Pays les moins développés (PMA)	0,9	2,1	4,7	*4,8*	133,6
Petits états insulaires en développement (PEID)	0,4	1,3	3,6	*3,6*	208,8

Cette intensification dans la création d'AMP et cette expansion sont aussi observables en France, notamment sur les territoires d'Outre-Mer (Chaboud *et al.,* 2008a). En 2012, suite aux efforts et aux stratégies nationales mises en place[33], le réseau français comptait en 366 AMP étendues sur 240 690 km² d'eaux territoriales et plus de 307 000 km² en surface cumulée (soit près de 30 % des AMP qui se superposent entre elles[34]). En 2002, la création du sanctuaire Pelagos dont la vocation est la protection des mammifères marins en Méditerranée, marque les débuts d'une conquête fulgurante des eaux territoriales. Plus récemment la création du Parc Marin de Mayotte en 2010 a largement contribué par sa grande taille qui équivaut à la ZEE mahoraise, à cette expansion (Figure 4). Pourtant, en domaine ultramarin, la part des eaux sous juridiction française couverte par une AMP est encore faible (1,15 %) au regard du potentiel patrimonial dont ces espaces regorgent.

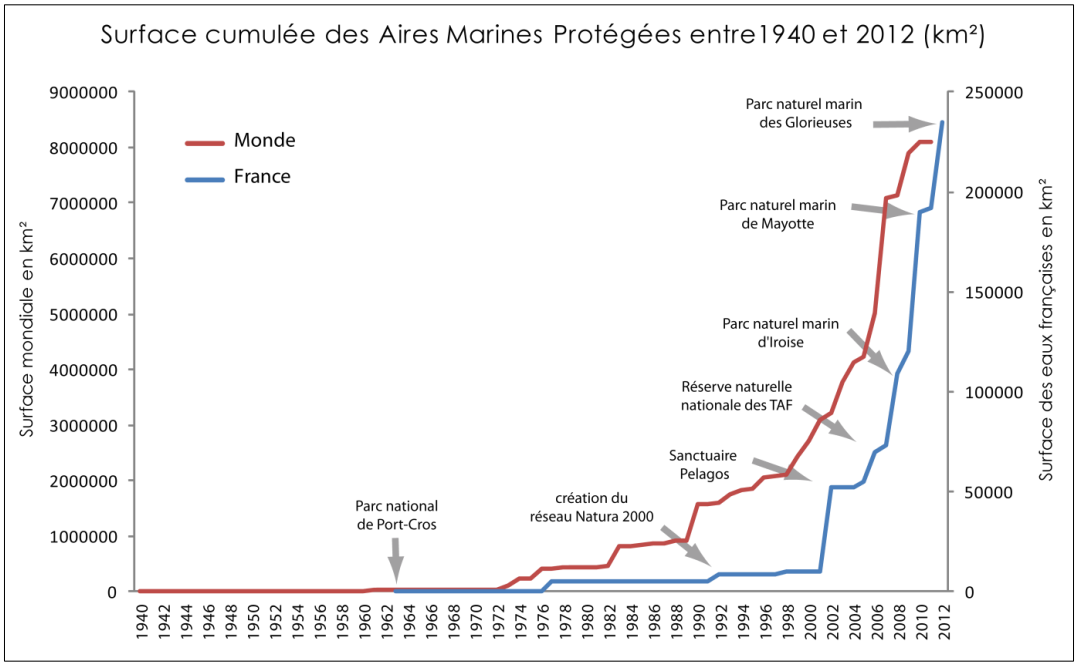


Figure 4 - Évolution historique mondiale et nationale des AMP en termes de surface océanique couverte. Sources: www.onml.fr, www.aires-protegees.fr

[33] Les stratégies de conservations dictées par la CDB sont relayées en France dans le cadre d'une Stratégie Nationale de création et de gestion des Aires Marines Protégées, régulièrement mise à jour, et plus récemment lors du Grenelle de la Mer en 2009. Cette Stratégie Nationale marque des engagements forts de la part de la France, par une volonté de classer 20 % des eaux françaises en AMP à l'horizon 2020 (dont la moitié en réserves de pêche).

[34] Site internet de l'Observatoire National de la Mer et du Littoral ; www.onml.fr

1.B.3.2.2. Des superficies en expansion

Cette expansion connaît depuis le milieu des années 1990 un "tassement" qui serait dû, selon E. Rodary et J. Milian (2003), à une remise en cause des politiques environnementales sur certains continents. Les dynamiques d'expansion se font effectivement "à moyens constants", à savoir que l'accroissement du nombre d'AMP se solde par une réduction des moyens et donc par une réduction de l'efficacité des dispositifs, notamment dans les pays en développement (David *et al.,* 2013). C'est pourquoi on observe une augmentation des Réserves Marines à Gestion Communautaires ("*Community-based Natural Resource Management*" ou CBNRM, et "*Local-Managed Marine Area"* ou LMMA) généralement gérées par des ONG ou des organismes indépendants (Agardy *et al.*, 2003) dont le principe est basé sur la gestion participative des espaces protégés.

On note par ailleurs une extension de la taille moyenne des AMP, une amélioration apportée afin de pallier les lacunes des petites AMP souvent pointées du doigt dans la littérature scientifique : absence de zones tampon pour protéger la zone cœur, exposition directe aux activités anthropiques pour les AMP côtières, principe d'adéquation, etc. (Epstein *et al.*, 2005 ; Allison *et al.*, 1998). En effet, si selon certaines études, la taille de l'AMP ne semble pas avoir d'effet sur les variables étudiées (Halpern, 2003 ; Lester *et al.*, 2009), d'autres estiment que la taille moyenne des AMP est trop petite au regard des problématiques de connectivité, de fragmentation des habitats naturels, d'atténuation des impacts, etc. (Epstein *et al.*, 2005 ; Allison *et al.*, 1998). Halpern et Warner (2003) proposent une uniformisation dans la conception des réseaux de réserve de taille modérée et d'espacement variable, comme une solution pour combler les besoins et accomplir les objectifs de la plupart des acteurs engagés dans la gestion des ressources marines.

1.B.3.3. Une volonté de mise en réseau

Cette volonté internationale d'augmenter la part des eaux nationales protégées est doublée d'une volonté de plus en plus affirmée d'une mise en réseau des AMP aux échelles nationale et régionale déjà formulée dans le rapport du Sommet de Johannesburg en 2002[35]. Des études de biogéographie et de génétique ont démontré que le système des "frontières tranchées" entre les zones protégées et le reste du monde ne servait pas la conservation (Rodary et Castellanet, 2003) puisque les frontières naturelles, lorsqu'elles existent, sont rendues perméables par les dynamiques de flux (migrations, dispersion larvaire) qui se jouent souvent à échelle régionale. C'est pourquoi il existe aujourd'hui autant d'études qui portent sur la connectivité des AMP, les corridors de biodiversité et que l'accent est mis sur la coopération d'AMP et la régionalisation des réseaux (Crochelet, 2015).

Cette notion de réseau est définie par la Commission Mondiale des Aires Protégées (CMAP) comme "une collection d'AMP ou de réserves qui opèrent en coopération et en synergie à des échelles spatiales variables et avec une gamme de niveaux de protection pensés pour atteindre des objectifs qu'une réserve isolée ne pourrait atteindre"[36]. En 2008, seuls 12,8 % des AMP faisaient partie d'un réseau, soit 0,08 % des océans mondiaux seulement (UNEP-WCMC, 2008). Cette "collection" d'AMP se fait sur la base de principes directeurs (UNEP-WCMC, 2008) :

[35] Le rapport prône l'établissement d'Aires Marines Protégées en cohérence avec les lois internationales et sur la base de connaissances scientifiques, et intégrant un réseau représentatif d'AMP à l'horizon 2012

[36] traduit de "*a collection of individual MPAs or reserves operating co-operatively and synergistically, at various spatial scales and with a range of protection levels that are designed to meet objectives that a single reserve cannot achieve*" [URL: www.iucn.org/wcpa]

- le principe de représentativité écologique qui garantit la présence au sein du réseau de toute la gamme qui constitue la diversité biologique caractéristique de la région, des particularités génétiques des espèces à l'écosystème ;
- le principe d'adéquation qui consiste à s'assurer que la taille des AMP qui constituent le réseau est suffisante et de forme appropriée pour le maintien de la viabilité écologique et de l'intégrité des populations et des espèces. Cette adéquation reste difficile à mesurer, et on observe l'apparition croissante d'AMP de grande taille, censées garantir ce principe ;
- le principe de résilience qui rappelons-le décrit la capacité à s'adapter à des catastrophes et impacts naturels ou anthropiques, mais dont la mise en application demeure partielle car la compréhension de cette dynamique reste incomplète ;
- le principe de connectivité qui se réfère aux liens inter-sites qui se créent à travers la dispersion larvaire, la migration des organismes et les courants marins. La fragmentation naturelle des écosystèmes doit être prise en compte lors de l'établissement d'une AMP ou d'un réseau d'AMP. Les écosystèmes émetteurs et récepteurs doivent être identifiés, au risque d'aboutir à une négligence de certaines dynamiques qui assurent la viabilité du système (Chaboud *et al.*, 2008b).

Ainsi depuis 2005, dans le sud ouest de l'océan indien un réseau régional d'AMP a été mis en place à travers le projet "Réseau des aires marines protégées des pays de la Commission de l'Océan Indien" (RAMP COI), mis en œuvre par la WWF[37] Madagascar et la West Indian Ocean Programme Office. Ce projet vise, à travers la réalisation de plusieurs objectifs[38] à l'intégration régionale des AMP de l'Ecorégion Marine de l'Océan Indien Occidental qui comprend les eaux marines et côtières des Comores, Seychelles, Madagascar, Maurice et de La Réunion.

L'un des habitats emblématiques de ces régions est les récifs coralliens, présents aux abords des côtes des cinq états membres de la COI, qui remplissent des fonctions variables selon les caractéristiques sociales, politiques et culturelles des pays. La surface en récifs coralliens des 5 états membres qui couvre près de 5072 km² est soumise à deux types de pressions : les épisodes répétés de blanchissement corallien[39] et les pressions humaines (Ahamada *et al.*, 2008). Aujourd'hui, on estime que 66 % des récifs coralliens de l'océan indien sont sous forte pression anthropique et hautement menacés (Burke *et al.*, 2011).

1.C. Le cas des littoraux coralliens : des écosystèmes sensibles sous pressions

Les récifs coralliens comptent parmi les écosystèmes côtiers les plus convoités mais également les plus sensibles au monde. Déjà fortement fragilisés par les changements climatiques, leur relative proximité à la côte les expose aux pressions humaines directes (interactions avec le milieu) ou indirectes (urbanisation littorale, problématiques de bassins-versants).

[37] World Wild Fund for nature, Organisation Non Gouvernementale créée en 1961 et dont les missions attraient à la protection de l'environnement et à la promotion du développement durable.

[38] Site internet de la Commission de l'Océan Indien ou COI ; www.commissionoceanindien.org

[39] Phénomène de dégénérescence et de rejet actif des zooxanthelles des tissus coralliens, privant ainsi le polype de la principale source de nutrition et de coloration (Birkeland, 1997)

1.C.1. Caractéristiques écologiques d'un récif corallien

Les récifs coralliens constituent un écosystème vulnérable qui repose en grande partie sur la santé des coraux, ou "polypiers" (Figure 5). Ces animaux sont les éléments clefs de l'écosystème corallien car bio-constructeurs des récifs. Par la complexité et la diversité de leurs formes (tabulaires, massifs, branchus), ils apportent un abri à une multitude d'organismes qui en retour interagissent entre eux pour créer l'écosystème corallien. Une grande partie des coraux bâtisseurs de récifs[40] est hermatypique, c'est-à-dire qu'elle résulte d'une symbiose entre un animal, le polype, et une algue unicellulaire, la zooxanthelle[41]. C'est l'association symbiotique avec les zooxanthelles qui leur permettent de remplir leur rôle de constructeur de récifs. Les algues symbiotiques utilisent le dioxyde de carbone libéré par le corail pour synthétiser des nutriments via la photosynthèse qui sont utilisés par l'hôte, le corail, notamment pour la calcification (Muscatine, 1990).

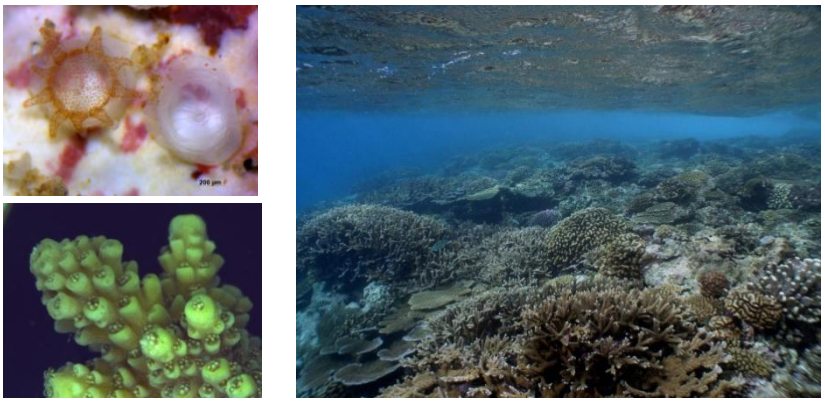


Figure 5 - Récifs coralliens, polypes et polypier (crédit photo : Lola Massé, ReefBase.org).

De par ses exigences environnementales, cet écosystème est en équilibre fragile et sensible aux moindres perturbations climatiques et environnementales. Les coraux sont la clé de voute de l'écosystème récifal, et sont particulièrement sensibles aux perturbations. Ces perturbations s'inscrivent dans un pas de temps long géologique (variations climatiques, acidification des océans), dans le pas de temps des sociétés (pressions anthropiques) ou se résultent d'événements météo-marins plus ponctuels (cyclone, anomalies pluviométriques). Néanmoins, les récifs coralliens connaissent un gradient de vulnérabilité aux contraintes extérieures, naturelles ou anthropiques. Ce gradient est fonction de la fréquence des pressions, si elles sont chroniques ou ponctuelles (Chabanet *et al.*, 2005), de la position géographique du récif (milieu plus ou moins anthropisé), mais il est également fonction de l'âge du récif, de sa configuration géomorphologique (récif frangeant, lagon, ou atoll), du contexte social environnant et de l'existence ou non de mesures de protection. Tous ces paramètres vont déterminer les capacités de résilience du récif face aux diverses perturbations d'origine naturelle ou anthropique.

[40] Six familles de coraux dominent dans la composition des récifs coralliens modernes à travers le monde : Acroporidae, Faviidae, Mussidae, Poritidae, Fungidae et Pocilloporidae. La première famille "Acroporidae" est la plus représentée, notamment les genres Acropora et Montipora qui sont les fasciès dominants dans la plupart des récifs de l'Indo-pacifique (Birkeland, 1997).

[41] Les zooxanthelles sont des algues unicellulaires pouvant vivre en symbiose avec un petit nombre d'animaux dont les bénitiers, certaines méduses et les coraux.

1.C.2. Les écosystèmes récifaux, entre pressions naturelles et humaines

1.C.2.1. Pressions naturelles "ponctuelles"

Les pressions naturelles se caractérisent par leur nature ponctuelle, inversement aux pressions humaines qui adoptent plus souvent une fréquence chronique (Chabanet *et al.*, 2005). Les principales menaces pour les récifs coralliens surviennent lors d'épisodes météorologiques exceptionnels, tels que :

- les surcotes associées aux tempêtes (cyclones, typhons, ouragans en fonction des bassins océaniques), aux houles saisonnières (houles australes à La Réunion) ou les tsunamis (Wilkinson, 2008) qui se traduisent essentiellement par des impacts mécaniques à savoir par la casse de colonies de coraux ou la sédimentation par remaniement du substrat et l'asphyxie des coraux ;
- une forte pluviométrie, qui va souvent de pair avec le point précédent. L'apport d'eau douce en trop grosse quantité induit des phénomènes d'eutrophisation ;
- les épisodes El Niño[42], qui impliquent souvent des perturbations à l'échelle mondiale et seraient à l'origine de taux records de mortalité (jusqu'à 90 % de mortalité en Indonésie suite à El Niño 1982 ; Brown et Suharsono, 1990). L'élévation des températures induite cause un blanchissement des coraux (Brown, 1997 ; Hoegh-Guldberg, 1999) suivi de la mort pour une bonne partie du récif (Brown et Suharsono, 1990) ;
- enfin, les invasions écologiques telles qu'*Acanthaster Planci*, étoiles de mer corallivores qui ingèrent les tissus coralliens et dont l'occurrence spatiale serait liée à la présence d'apports terrigènes (Glynn, 1981 ; Birkeland, 1982).

1.C.2.2. Pressions humaines

Il est difficile de déterminer avec certitude à l'observation d'un récif la part des dégradations et bouleversements imputables à l'Homme. N. Ban et J. Alder (2008) identifient trois catégories d'impacts pouvant être causés par les activités humaines qui sont d'ordre i) physique, relevant essentiellement de l'altération des habitats et du dérangement sonore causé par les activités de navigation, ii) chimique, liés à la pollution et iii) biologique, relevant des perturbations écologiques (surpêche, perturbation des chaînes trophiques, etc.), mais aussi de l'introduction de maladies ou d'espèces invasives.

Ces pressions peuvent encore être regroupées en deux catégories telles que proposée par Leung et Marion (2000) plus axée sur la nature de l'interaction entre l'Homme et son milieu :

- les impacts "directs" causés par un contact avec le substrat dans le cadre de pratiques de loisirs ou par prélèvement de la ressource, et qui se traduisent par des altérations mécaniques (altération du tissu corallien, cassage des branches), des prélèvements (surpêche, pêches destructrices (McManus *et al.*, 1997), commerce de coquillages ou poissons pour aquarium, matière première pour construction) ou un dérangement de la faune (Chabanet *et al.*, 1995).

[42] El Niño, ou "Oscillation australe" désigne un phénomène de régulation du système océano-climatique affectant les eaux littorales péruviennes autour de la période de Noël et intervenant à des intervalles de 4 à 7 ans (Trenberth, 1997). Ce phénomène aurait des répercussions sur l'équilibre océano-climatique des autres bassins océaniques du globe, affectant notamment la température de l'eau et favorisant le blanchissement corallien (Brown, 1997).

- les impacts "indirects" causés par les rejets des infrastructures urbaines (eaux usées) ou issues de l'agriculture, les apports turbides favorisés par l'imperméabilisation du sol, et les pollutions diverses telle que la crème solaire dont on pense qu'elle constitue une des causes au blanchissement corallien (Danovaro *et al.*, 2008), mais aussi les sources de pollution exceptionnelles et d'occurrence très faible (rejets d'usines ou essais nucléaires, extraction pétrolière off-shore, débordement de station d'épuration, etc.). Ce type d'impact, qui se traduit généralement par des dommages biologiques, présente souvent une inertie qui complique le diagnostic. Enfin, il a été démontré dans la littérature scientifique que les rejets humains (issus des eaux usées domestiques ou de l'agriculture) en mer comportaient des polluants qui favorisent l'apparition et dopent la fréquence des maladies coralliennes (Bruno *et al.*, 2003 ; Seré, 2014).

Dinesen et Oliver (1997) opèrent encore une autre classification des types d'impacts directs qui intègre, en sus des dommages écologiques, les impacts sociaux (en lien avec les aménagements, ou l'usage historique d'un espace par un autre groupe d'usagers) et les impacts culturels (affectant les valeurs et pratiques culturelles associées au milieu). La mesure de chacun de ces types d'impacts implique la mise en place de protocoles très différents allant d'une démarche purement quantitative pour les impacts écologiques à une démarche qualitative (à base d'enquêtes par exemple) pour les deux autres catégories sociale et culturelle.

Les activités humaines sur le récif réunionnais étant au cœur de notre problématique, l'accent est mis ici sur les impacts directs pouvant être induits par les interactions Homme-milieu. Une synthèse bibliographique des impacts potentiels directs par activité, qu'ils se traduisent par des perturbations écologiques (en vert) ou qu'ils se traduisent par des dommages dits "mécaniques" (en orange), a été réalisée et présentée dans le Tableau 3.

Tableau 3- Synthèse bibliographique des impacts directs des activités marines et plagiques sur les récifs coralliens.

Type		Effets/impacts types	Facteur aggravant	Bibliographie
Pêche	Toutes pêches	Piétinement et dégradation des habitats		Lloret et Riera, 2008 ; Dinesen et Oliver, 1997 ; Henriques *et al.*, 2013 ; Coll *et al.*, 2004 ; Nevill, 2005 ; Coleman *et al.*, 2004
		Impacts biologiques, effets sur la reproduction, la croissance, la biomasse, etc.		
		Disparition d'espèces		
		Pression sur les espèces cible (carnivores), structures des communautés tronquées en termes âge et taille		
		Érosion de la biodiversité		
	Pêche embarquée	Chocs directs sur par hélices sur substrat ou faune		Zieman, 1976 ; Hazel *et al.*, 2007
		Impacts des vagues générées sur l'habitat et des interactions proie-prédateur		Koch, 2002 ; Gabel *et al.*, 2011
		Turbidité accrue		Garrad et Hey, 1987
		Perturbation sonore des communications faune		Smith *et al.*, 2004 ; Becker *et al.*, 2013
		Pollution par déversement de carburant		English *et al.*, 1963 ; Clark *et al.*, 1974
		Vecteur d'espèces invasives		Johnson *et al.*, 2001
	Chasse sous-marine	Contacts et dérangement sonore de la faune		Nevill, 2005 ; Lloret et Riera, 2008
		Contacts avec le substrat, casse de corail, abrasion de coraux, arrachage d'algues		
		Remaniement sédiments		
Plongée sous-marine		Contacts avec le substrat, casse de corail, abrasion de coraux, arrachage d'algues	Degré de dégradation positivement lié au nombre de pratiquants, à la présence de plongeurs avec caméra, débutants. Les Hommes causent plus de dommages	Lloret et Riera, 2008 ; Hawkins et Roberts, 1992 ; Hawkins et Roberts, 1993 ; Riegl et Velimirov, 1991 ; Barker et Roberts, 2004 ; Luna *et al.*, 2009 ; Sala *et al.*, 1996 ; Harriot, 2002 ; Riegl et Cook, 1995 ; Dixon *et al.*, 1993 ; Nevill, 2006 ; Van Treeck et Schuhmacher, 1999
		Remaniement sédiments		
		Dégradation par ancrage (avant les 1980s)		
		Contacts et dérangement sonore de la faune		
		Modification dans communautés de coraux prédominance des colonies de coraux branchus		

		Augmentation de la vulnérabilité des coraux aux infections et maladies		
		Migration des espèces de leur habitat à des sites de conditions environnementales moins adaptées		
		Perte/altération des tissus coralliens		
Surf		Contacts avec le substrat, casse de corail, abrasion de coraux, arrachage d'algues	Débutants	Davenport et Davenport, 2006 ; Thurstan *et al.*, 2012
Activités nautiques et à la côte	PMT	Contacts avec le substrat, casse de corail, abrasion de coraux, arrachage d'algues	Les 10 premiers mètres de la zone baignade, eaux peu profondes, impacts plus important par les débutants et les touristes.	Allison, 1996 ; Hannak *et al.*, 2011 ; Riegl et Velimirov, 1994 ; Hannak *et al.*, 2011 ; Chabanet *et al.*, 2005 ; Valentine *et al.*, 2004 ; Chabanet *et al.*, 2005
		Remaniement sédiments		
		Contacts et dérangement sonore de la faune		
	Baigneurs	Piétinement et dégradation des habitats	Débutants	Rodgers et Cox, 2003 ; Liu *et al.*, 2012 ; Thurstan *et al.*, 2009 ; Nascimento Silva & Ghilardi-Lopez, 2001
		Remaniement sédiments		
		Contacts avec le substrat, casse de corail, abrasion de coraux, arrachage d'algues		
		Contacts et dérangement sonore de la faune		
	Plageurs	Dégradation de la végétation littorale		Dinesen & Oliver, 1997 ; Nascimento Silva & Ghilardi-Lopez, 2012 ; Monz, 1998 ; Pickering et Hill, 2007
		Erosion sédimentaire		

1.C.2.3. Les pressions liées aux changements globaux : les effets combinés Homme-nature

A l'échelle du globe, une grande partie des pressions que subissent les écosystèmes est généralement attribuée à un processus bien connu s'inscrivant dans un pas de temps long, celui du réchauffement climatique (Wilkinson, 2008). Les activités humaines contribueraient à hauteur de 80 % au phénomène, les 20 % restants résultant de phénomènes naturels (PCC, 2013). Les changements climatiques se traduisent localement par une diversité de phénomènes : recrudescence de l'intensité et de la fréquence des tempêtes et des précipitations, hausse des températures océaniques, élévation du niveau des océans. Dans un effet cascade, ces changements impactent les récifs coralliens en se manifestant par des phénomènes de blanchissement et d'eutrophisation des coraux, de recrudescence des algues, d'extinction d'espèces, etc. (Tableau 4).

Tableau 4 - Phénomènes majeurs de dégradation des écosystèmes coralliens, liés au réchauffement climatique.

Processus	Description	Effets	Bibliographie
Acidification de l'eau	L'océan "puits à carbone", absorbe près d'un quart du dioxyde de carbone (CO_2) présent dans l'atmosphère et émis par la combustion de carburants fossiles, la déforestation, et l'activité humaine dans son ensemble.	Réduction des taux d'accrétion calcaires (corail, crustacés, certaines algues) bioérosion accrue.	Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010 ; Hoegh-Guldberg *et al.* 2007
Hausse températures de l'eau	La température de l'eau est un élément indispensable au bon développement des coraux. Les coraux sont limités à un petit éventail de température de 25-30°C. Ils supportent très mal les hausses de température.	Blanchissement corallien (expulsion des zooxanthelles) et donc diminution du rapport photosynthèse/respiration, réduction de la vitalité corallienne, altération de la reproduction.	Grigg et Dollar, 1990 ; Hubbard, 1997 ; Burke *et al.*, 2011
Hausse fréquence et intensité tempêtes	Le réchauffement de l'atmosphère créée de la vapeur d'eau,. Le processus de condensation créée de d'instabilité. Réchauffement des eaux superficielles dans les bassins à cyclone, et recrudescence des phénomènes.	De fortes vagues causent d'importantes destructions mécaniques sur coraux, des perturbations sédimentaires, un accroissement de la turbidité de l'eau, d'une baisse salinité par l'apport d'eau douce (pluies).	Harmelin-Vivien, 1994 ; Stoddard, 1969 ; McClanahan et Obura, 1997
Elévation niveau océans	Dilatation par élévation température, fonte des glaciers	Erosion des plages, sédimentation et eutrophisation coraux, vitesse d'accrétion inférieure à la vitesse prédite de l'élévation du niveau des océans.	Paskoff, 1998 ; Buddemeier et Smith, 1988

Lors des diagnostics scientifiques, il est difficile pour les chercheurs de déterminer la part des impacts pouvant être imputée à l'activité humaine, d'autant que beaucoup de processus naturels et humains agissent en interdépendance. Par exemple, durant de fortes pluies, l'apport en sédiments dans le récif sera accentué par l'urbanisation qui a pour propriété d'imperméabiliser les sols. En outre, comme le rappelle P. Chabanet *et al.* (2005) certaines pressions sont chroniques (urbanisation du littoral), d'autres sont ponctuelles à chroniques (apports terrigènes, activités anthropiques) ou seulement ponctuelles (échouages, introduction d'espèces non indigènes). Ainsi, au-delà de la fréquence d'une pression, il est important de considérer son importance, en volume, en nombre, en densité, etc. Selon le type de pression en jeu, il convient également de considérer les deux paramètres de fréquence et d'intensité afin de mieux adapter les stratégies de réduction de la vulnérabilité.

1.C.3. Un éco-socio-système fragilisé : les enjeux du 21ème siècle

Les écosystèmes coralliens se montrent fragiles aux agressions extérieures qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique. On estimait en 1993 que 80 % de la pollution marine était d'origine terrestre (rejets d'eaux usées, effluents industriels et agricoles), les 20 % restants venant des sources atmosphériques (pluies acides), ou les déversements accidentels de pétrole (Cicin-Sain, 1993). Les dégradations auxquelles sont soumis les récifs se traduisent par une réduction de la surface de corail vivant, l'augmentation de la couverture algale, la réduction de la diversité des espèces, et une abondance en poissons plus faible (Burke *et al.*, 2011).

Le niveau de développement des pays est un facteur déterminant de leur vulnérabilité face aux changements climatiques et aux pressions. Dans les pays en développement et les pays les moins avancés (PMA), les enjeux sont d'autant plus importants qu'ils relèvent souvent de la sécurité alimentaire des communautés côtières, faisant ainsi primer sur le reste les fonctions de production et de régulation des récifs coralliens. Pour de nombreuses communautés, spécifiquement celles des états insulaires qui doivent assurer une certaine autonomie ou des littoraux des pays en développement, la pêche vivrière et la petite pêche commerciale revêtent une importance considérable pour la sécurité alimentaire des populations et des économies locales (Salvat, 1992 ; Jackson *et al.*, 2001 ; Cherubini, 2004). Ainsi, au Vanuatu, la production halieutique couvrait 16 à 18 % des besoins annuels en protéines de la population au début des années 1990 (David et Cillaurren, 1992).

Dans le rapport "Reef at Risk revisited"[43] datant de 2011, sur près de 110 pays disposant d'un linéaire côtier pourvu de récifs coralliens, 27 avaient été identifiés comme particulièrement vulnérables à la disparition des récifs car fortement dépendants d'eux économiquement et socialement (Burke *et al.*, 2011) (Figure 6). Parmi ces 27 pays, 19 sont des petites îles-état, appartenant pour la plupart à la catégorie des pays en développement, dont les plus vulnérables sont situées essentiellement dans le bassin pacifique (Philippines, Vanuatu, république des Kiribati, îles Fiji), mais aussi caribéen (Haïti, Grenade) ou l'Océan Indien (Comores, Tanzanie, île Maurice) (Burke *et al.*, 2011). Si à La Réunion les populations ne sont pas économiquement dépendantes du récif, il n'en demeure pas moins que la disparition de récifs aurait des conséquences désastreuses sur de multiples plans (social, touristique, culturel) et sur la sécurité d'une côte fortement urbanisée (rôle de la barrière contre les événements météo-marins et les tsunamis).

Un autre service écosystémique essentiel réside dans le rôle protecteur des barrières coralliennes contre les surcotes marines (tempêtes, typhons, tsunamis). En l'absence de barrière récifale, c'est plus de 150 000 km de linéaire côtier (Burke *et al.*, 2011) qui sont directement menacés par la submersion liée à l'élévation du niveau marin et l'augmentation de la fréquence des épisodes de surcotes marines (Nicholls *et al.*, 1999). Dans les pays en développement, les récifs coralliens sont pourvoyeurs de matière première par les grandes quantités de calcaire qu'ils produisent et qui contribuent à alimenter les stocks sédimentaires des dunes et plages. Au Sri Lanka près de 34 000 m^3 de sable sont prélevés sur les côtes chaque année (Birkeland, 1997). Aux Maldives, plus de 20 000 m^3

[43] Le projet "Reef at Risk", financé par le *World Resources Institute* produit des rapports d'évaluation et une cartographie mondiale de l'état des récifs coralliens, et des menaces pesant sur eux à partir des données récoltées auprès de nombreux organismes collaborateurs dont la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) CORDIO (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) ou l'IRD (Institut de Recherche et Développement).

de détritus de coraux ou de sable étaient encore prélevés annuellement au cours de la décennie 1990 pour construire (Cesar, 1996).

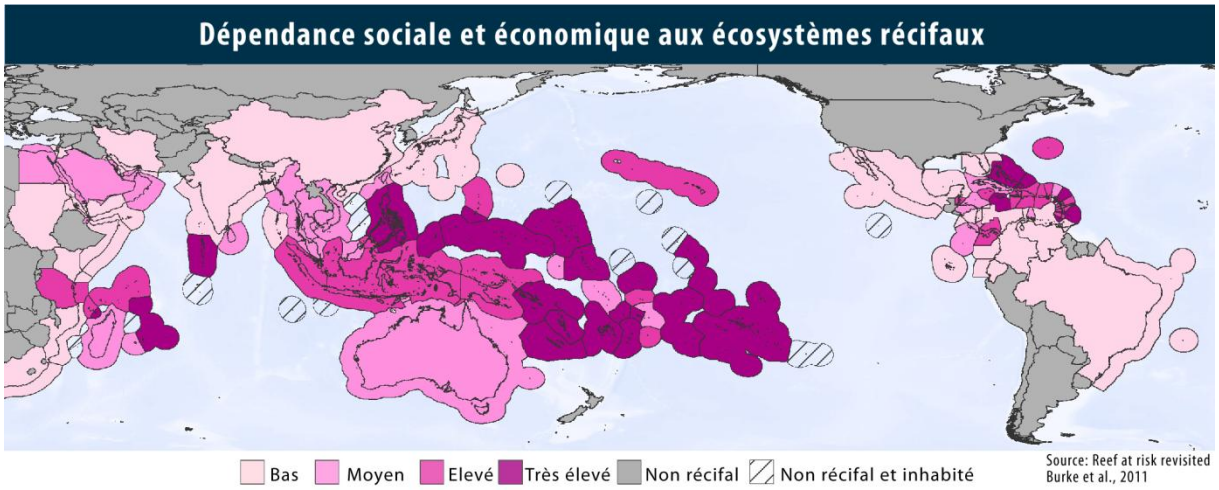


Figure 6 - Dépendance sociale et économique des écosystèmes récifaux mondiaux. Source : Burke *et al.*, (2011)

Aussi, les enjeux qui se nouent autour de la préservation des récifs coralliens sont nombreux, mais surtout très relatifs et fortement dépendants du contexte géographique, social et économique des pays concernés. En 2011, près de 276 000 personnes vivaient à moins de 30 km d'un récif selon L. Burke *et al.* (2011) dont la moitié en Asie du sud-est qui abrite par ailleurs près de 30 % de la superficie récifale mondiale. Cette région est également la plus menacée par les pressions liées au réchauffement climatiques et aux activités humaines (94 % des récifs menacés) (Tableau 5). À l'exception de l'Australie, plus de la moitié du "parc récifal" mondial est menacé de disparition à court terme, soit près de 40 % des récifs coralliens. Selon Wilkinson (2008) pour qui cette part est ramenée à 30 %, 15 % des récifs sont directement menacés dans les 10 à 20 prochaines années, et 20 % dans une période de 20 à 40 ans.

Tableau 5 - Répartition de la superficie récifale mondiale et pressions. Source : Burke *et al.*, 2011

Région	Superficie récifale (km²)	Part de la superficie récifale mondiale	Index intégré de pression					Populations littorales vivant à moins de 30 km d'un récif	Surface récifale protégée par une AMP (%)
			Bas (%)	Moyen (%)	Elevé (%)	Très élevé (%)	Menacé (moyen à très élevé) (%)		
Atlantique	25 849	10	25	44	18	13	75	42 541	30
Australie	42 315	17	86	13	1	< 1	14	3 509	75
Océan indien	31 543	13	34	32	21	13	66	65 152	19
Moyen Orient	14 399	6	35	44	13	8	65	19 041	12
Pacifique	65 972	26	52	28	15	5	48	7 487	13
Asie du sud-est	69 637	28	6	47	28	20	94	138 156	17
Total	249 713	100	39	34	17	10	61	275 886	27

Index intégré de pression comprend : développement urbain littoral, Pollution des bassins-versants, Pollutions et impacts marins, Surpêches et pêche destructive, Stress thermal historique

1.C.3.1. Les récifs coralliens, résilients ou altérés ?

En écologie, la résilience désigne la capacité d'un système à s'adapter aux changements et à se maintenir en modifiant certaines de ses composantes. Les récifs coralliens sont naturellement dynamiques et ont de tout temps subi des changements et des perturbations climatiques. Bien que fragiles, les récifs coralliens ont un potentiel de résilience (Holling, 1973). Les écosystèmes possèdent des "seuils environnementaux" au-delà desquels des changements dans les processus et la structure de l'écosystème peuvent s'opérer de façon plus ou moins durable. Généralement, toute perturbation pouvant causer la mort des coraux (ex. blanchissement) favorise le développement d'algues (MacClanahan *et al.*, 2002 ; McCook *et al.*, 2007). Si ce nouvel état perdure en impliquant des changements durables dans les mécanismes et la structure écosystémique, les algues empêcheront les coraux de recoloniser le substrat, car elles sont en compétition pour la lumière avec les coraux en piégeant les sédiments, en étouffant les larves et les coraux juvéniles, traduisant ainsi une faible résilience de la part du récif corallien (McCook *et al.*, 2007).

Depuis que les pressions d'origines anthropiques se sont faites plus prégnantes, de nombreux auteurs ont mis l'accent sur la plus faible réversibilité des impacts lorsqu'ils étaient d'origine humaine (Pearson, 1981). Ces derniers, en augmentant la fréquence, l'intensité, la durée et la répartition des signaux de stress, et altérant par là même les régimes naturels de perturbation (Nyström *et al.*, 2000 ; Intergovernmental Panel for Climate Change, 2001) perturbent les cycles perturbation/résilience qui ont cours naturellement depuis le Crétacé (Birkeland, 1997). Plus grave encore, l'action de l'Homme peut induire des transitions écologiques permanentes : la prolifération des proies au détriment des prédateurs surpêchés par l'Homme, le développement des macroalgues au détriment des coraux par un apport trop important de sédiments et de nutriments, etc. (McClanahan *et al.*, 2002 ; McManus et Polsenberg, 2004).

La résilience va être fonction de variables intrinsèques à l'écosystème, mais de nombreuses autres variables dépendant de l'action de l'Homme ont un rôle très important à jouer. Dans leur rapport, L. Burke *et al.* (2011) invitent les différents acteurs de la conservation à initier des politiques de mitigation :

- réduire les pêches non soutenables (surpêche, pêches destructives) ;
- promouvoir une gestion intégrée des zones côtières en prenant en compte les bassins-versants ;
- réduire la pollution issue des bassins-versants en améliorant agriculture, minimisant les rejets industriels et urbains, en restaurant la végétation des hauts de plage ;
- réduire la pollution marine, les rejets bateaux, former les usagers à des pratiques durables (plongée responsable) ;
- favoriser le développement d'AMP (Aire Marine Protégée).

1.C.4. Les mesures de conservation des récifs coralliens à l'international et en France

Face aux constats unanimes de dégradation du "parc corallien" mondial et en réponse aux perturbations croissantes auxquelles les récifs sont amenés à faire face, l'ICRI (*International Coral Reef Initiative*) est lancée suite à la conférence de l'ONU sur le développement durable des petites îles de la Barbade en 1994. Son objectif est de sensibiliser les communautés vivant à proximité des récifs coralliens, les instances institutionnelles et politiques, les utilisateurs et le public à la

conservation des récifs coralliens[44]. Issue d'un partenariat entre gouvernements, ONG et organisations internationales, elle implique 80 pays sur la centaine disposant de côtes récifales. Une déclinaison nationale de cette initiative, l'IFRECOR[45] (Initiative Française pour les REcifs CORalliens) a été instituée en 1999 par la France qui agit à travers elle pour garantir la gestion durable des récifs coralliens et écosystèmes associés (mangroves, herbiers, estuaires) dans les collectivités françaises d'outre-mer (www.ifrecor.org). Récemment, l'initiative CRISP (Initiative Récifs Coralliens dans le Pacifique), son équivalent dans le pacifique, a été mise en place et met l'accent sur une préservation des récifs coralliens par approche pluridisciplinaire et inter-institutionnelle régionale (www.developpement-durable.gouv.fr).

A une échelle locale, les mesures de protection se traduisent par la mise en protection des récifs : le lagon de Nouvelle-Calédonie inscrit au Patrimoine Mondial de l'UNESCO, le lagon de Mooréa en Polynésie labellisé par la convention de RAMSAR, ou encore l'archipel de Guadeloupe et l'atoll de Fakarava inscrits au titre du programme Man And Biospher (MAB) de l'UNESCO. En complément, ces dernières années ont vu l'établissement d'un grand nombre d'Aires Marines Protégées qui s'élèvent à ce jour à 392 AMP, réparties sur une surface de 390 809 km², dont 98 % se trouvent en Outre-mer[46].

Atteindre les objectifs de conservation nécessite la mise en place d'un réseau d'observation au cadre méthodologique commun des récifs coralliens afin de suivre leur évolution dans le temps, ainsi que leurs réponses aux mesures de protection (Tableau 6). Le *Global Coral Reef Monitoring Network* (GCRMN) est un réseau international d'observation qui fut lancé lors du premier rassemblement ICRI en 1995 à Dumaguete City aux Philippines[47]. Un autre réseau de suivi international "*Reef Check*"[48] est présent en France. Créé en 1996 par l'écologue G.Hodgson il s'agit d'une fondation impliquant des volontaires civils, des agences gouvernementales, des universités dans plus 90 pays pour le suivi de l'état de santé des récifs. Les objectifs de cette fondation sont la conservation mais également la stimulation par l'éducation et le décloisonnement entre scientifiques et "passionnés de la nature". En revanche, l'implication de civils dans les réseaux de suivi encourage en revanche peu les scientifiques à exploiter la donnée.

Tableau 6 - Réseaux internationaux d'évaluation de l'état de santé récifale présents en France

Intitulé du suivi	Objet du suivi	Période	Institution	Echelle
GCRMN (Global Coral Reef Monitoring Network)	Peuplements ichtyologiques et benthiques	1998 à aujourd'hui	ICRI	Mondiale
Reef check	Peuplements ichtyologiques et benthiques	2003 à aujourd'hui	IFRECOR-ICRI	Mondiale

[44] Site internet de l'Initiative Française pour les REcfis CORalliens ; www.ifrecor.org

[45] L'IFRECOR est une plate-forme de concertation des actions de gestion et de protection des récifs coralliens français. Son comité national qui rassemble élus, administrations, chercheurs, société civile et ONG, est doté d'un plan cadre d'action mis en œuvre par un comité local présent dans chaque collectivité d'outre-mer (8 au total) (http ://www.developpement-durable.gouv.fr/)

[46] Site internet de l'Agence des Aires Marines Protégées ; www.aires-marines.fr

[47] Site internet du Global Coral Reef Monitoring Network ; www.gcrmn.org

[48] Site internet du réseau d'observation Reef Check ; www.reefcheck.fr

Conclusion du chapitre 1

Fortement convoités pour leurs qualités paysagères et par les nombreuses ressources dont ils recèlent, les littoraux sont devenus des espaces densément peuplés aux cours du dernier siècle. Qu'il soit durablement installé face à la mer ou qu'il soit de passage, l'Homme s'approprie cette interface entre terre et océan dont la richesse et la vulnérabilité font naître de nouvelles problématiques liées à l'usage durable des espaces et des ressources. Ces dernières sont exacerbées à l'échelle des écosystèmes côtiers, notamment les récifs coralliens qui mobilisent de nombreux enjeux. Écosystèmes à la fois riches et très convoités, ils sont largement fragilisés par les changements globaux et la pression de l'Homme.

Outils de conservation en milieu marin, les Aires Marines Protégées se développent à partir des années 1970 pour contribuer à la régulation des activités humaines et limiter l'impact sur les ressources. Au sein de ces dispositifs sont menés de nombreux suivis en collaboration avec les chercheurs en vue de mesurer leur efficacité à atteindre les objectifs qui leur sont fixés de conservation de valorisation et de maintien d'usages anthropiques.

La France dispose d'un grand patrimoine marin avec plus de 10 000 000 km², soit 10 % des récifs mondiaux sous sa juridiction, plaçant ainsi d'emblée les problématiques liées à la mer, aux ressources halieutiques, à la biodiversité marine et à la vulnérabilité insulaire face au réchauffement climatique au rang des priorités. En 2012, près de 70 % des eaux territoriales étaient classées en AMP mais encore trop peu de territoires ultra-marins (1,15 %) sous juridiction nationale sont couverts par une AMP.

Chapitre 2. Un besoin de connaissance des pressions dans un contexte de gestion

La récente popularité des aires naturelles protégées auprès du public (Meur-Férec, 2007a), et l'avènement d'un tourisme d'un nouveau genre dit "vert" (Gagnon, 2007 ; Sarrasin, 2007), ont contribué à faire s'accroître les pressions sur les espaces reconnus comme vulnérables. Aussi, parce que les aires protégées marines et terrestres sont de plus en plus nombreuses et qu'elles se superposent quasi systématiquement à des territoires de pratiques préexistants (David *et al.* 2006), les objectifs de conservation ne peuvent plus être atteints sans l'intégration des problématiques socio-économiques.

Si les gestionnaires éprouvent encore quelques difficultés à considérer les disciplines du champ des sciences humaines comme un lien entre l'écosystème et l'Homme, la cantonnant exclusivement à un outil de gouvernance (Thomassin, 2011), les institutions nationales de conservation tendent à les promouvoir dans les programmes nationaux, conformément aux recommandations édictées par la Convention sur la Diversité Biologique. Aussi, au sein du réseau d'Aires Marines Protégées (AMP), afin de démontrer aux gestionnaires d'AMP que le travail sur la fréquentation maritime constitue un véritable enjeu de gestion, l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP) et le MEEDAT[49] ont lancé un vaste programme national de promotion des études socio-économiques à la fin des années 2000.

Dans ce contexte, les suivis de fréquentation en milieu littoral se sont multipliés dans un souci de faciliter la reproductibilité des protocoles en vue de leur intégration durable aux plans de gestion. Ayant donc vocation à constituer avant tout un outil de gestion à destination des gestionnaires, le protocole de suivi de la fréquentation est quasiment systématiquement développé en partenariat avec les scientifiques, ce qui contribue à en faire un nouvel objet scientifique à la croisée de nombreux thèmes et champs disciplinaires relevant essentiellement des sciences humaines.

[49] Ministère de L'Ecologie, l'Energie, le Développement Durable et l'Aménagement du Territoire

2.A. Les suivis de fréquentation en milieu littoral

Depuis une trentaine d'années que l'engouement du public pour les espaces de nature ne cesse de croître, on assiste à l'émergence d'un nouveau champ disciplinaire au carrefour de disciplines variées : les études de fréquentation des espaces naturels (Brigand *et al.*, 2008). D'abord associé à des programmes d'optimisation en termes de capacité et afin d'élaborer des scénarios prédictifs en contexte de camping en milieu forestier (Cole, 1995), ce type d'étude a peu à peu prouvé son utilité en contexte de gestion d'aires protégées.

2.A.1. L'essor des études de fréquentation sur les espaces naturels

2.A.1.1. De quoi est-il question ?

La "Fréquentation", définie comme "*l'action de fréquenter un lieu, en particulier du point de vue de la fréquence et du nombre des personnes*"[50] est un terme que l'on retrouve peu dans les dictionnaires de géographie, à l'exception du dictionnaire critique de Brunet *et al.* (2006) pour qui elle est l'« *utilisation d'un lieu, (la) présence répétée de personnes dans un lieu ou sur une voie de circulation. Elle se mesure en nombre de visites par unité de temps (annuelle, saisonnière, voire horaire)* ». Selon ces deux définitions, la fréquentation consisterait alors en un phénomène temporaire pouvant être "répété" à l'échelle d'un espace ("*lieu*") ou sur des axes linéaires ("*voies de circulation*"). Le terme "fréquentation" emprunte à la Géographie de nombreux concepts à l'instar de ceux de "territoire", de "temporalité" et de "spatialité". Ainsi, aspirer à mesurer une fréquentation donnée revient à étudier des dynamiques d'appropriation sur une échelle de temps et sur un territoire donné, ce qui place le concept dans une double dimension spatio-temporelle.

Par l'utilisation du terme indifférencié "*personne*" ou "*visiteur*", ces définitions suggèrent un traitement indifférencié de l'individu, quel que soit son statut ou ses motivations. Il peut s'agir, en fonction du contexte, de touristes, de vacanciers, de personnes dans une médiathèque, d'usagers publics sur une esplanade etc. En contexte "ouvert", comme les espaces naturels, protégés ou non, son étude mobilise bien des enjeux qui peuvent relever de la conservation, ou de l'optimisation des conditions d'accueil (équipement, sécurité, aménagement, surveillance, etc.).

2.A.1.2. L'avènement des suivis fréquentation : des campings aux grands espaces de nature

Les premières études portant sur la mesure de la fréquentation se sont déployées sur des espaces en forêt (Ballion, 1975 ; Poulin 1980), et avaient souvent vocation à optimiser et mieux orienter les politiques d'aménagement ou de gestion. Développées essentiellement dans le monde anglophone, elles ont généralement porté sur les espaces de camping, puisque leur succès grandissant a fait naître un besoin de mieux connaître les flux de campeurs afin de déterminer la capacité de charge des sites de camping (Monz, 1998 ; Cole, 1995). D'une façon générale, tout un pan de la recherche en écologie et en géographie a commencé à s'intéresser au "nombre de visiteurs" des espaces naturels, protégés ou non, formant des "*recreation ecologists*" (Hadwen *et al.*, 2008), ou "écologues des loisirs" dont l'objectif est d'établir des relations de cause à effets entre certaines activités et des paramètres écologiques variés (Leung et Marion, 2000 ; Hadwen *et al.*, 2008). Les pays à grands espaces naturels et à fort potentiel touristiques font figure de précurseurs dans le domaine, à l'instar

[50] Site internet du dictionnaire Le Larousse ; www.larousse.fr

du Canada ou de l'Australie[51]. Un champ de recherche dédié à l'étude des loisirs de plein air, l'"*outdoor recreation*" et leurs interactions avec le milieu est né au début des années 1990, rassemblant autour de ce nouvel axe des spécialistes de tous horizons, des écologues aux géographes en passant par l'ethnologie ou la sociologie. Le colloque international biannuel Monitoring and Management of Visitors (MMV)[52] entièrement dédié au thème de l'"*outdoor recreation*", de sa mesure et de ses impacts se tient tous les deux ans, et rassemble chaque année de plus en plus de chercheurs de tous horizons.

2.A.1.3. Des finalités, des méthodes

Pourquoi fait-on des suivis de fréquentation ? F. Breton *et al.* (1996) identifient deux types de démarches.

- L'une penchée sur l'évaluation de la vulnérabilité environnementale de certaines zones naturelles les plus fréquentées. La problématique est abordée en termes de capacité de charge (encadré c.) afin de répondre aux questions de type : y a-t-il trop d'usagers sur cet espace ? La fréquentation du littoral a-t-elle atteint un seuil critique dans certains secteurs ? Un indice Spatial de Fréquentation Touristique et un "indice de Linéarité" ont été élaborés à cet effet à la fin des années 1990 pour mesurer la "capacité de charge touristique territoriale" : au-delà de 500 personnes à l'hectare et à plus de 100 personnes par mètre linéaire de côte, on se retrouverait dans un contexte de plage saturée entraînant une surconsommation éventuelle d'eau potable, une gestion difficile des déchets, une dégradation paysage (constructions immobilières effrénées) (Lozato-giotart, 1998) ;
- L'autre est portée sur la fréquentation effective, la typologie des usages et leur répartition. Cette démarche s'inscrit davantage dans des objectifs plus généraux de développement durable, ou vise au développement harmonieux entre les activités (Le Corre *et al.*, 2011). La majorité de ces études résultent d'un besoin de connaissance de la part des parcs nationaux ou des réserves. Généralement, ces études de la fréquentation visent à s'appuyer sur des protocoles standardisés dans la perspective de dégager des cadres méthodologiques communs à l'ensemble des réserves (Brigand, 2008).

Les publications sur le sujet présentent une forte hétérogénéité thématique et disciplinaire (Brigand, 2008). À partir de la bibliographie portant sur les suivis de fréquentation mobilisée dans le cadre de cette thèse, nous avons identifié trois finalités majeures liées à l'existence de protocoles de suivis de la fréquentation : i) l'optimisation d'un site en termes d'aménagements et de commodités en réponse à des lacunes ou des demandes de la part du public, ii) l'optimisation de la gestion par une meilleure connaissance des usages et des pratiques et par l'apport d'indicateurs socio-économiques, et iii) l'optimisation des stratégies de conservation par l'identification des pressions et les zones de vulnérabilité, et l'élaboration d'indicateurs dans un contexte de gestion (Figure 7). L'exercice a été tenté de déterminer la vocation de ces études, sans qu'une catégorisation nette n'en découle. En effet, on observe que les objectifs, s'ils diffèrent d'une étude à l'autre, servent toujours les mêmes finalités. Dans une très grande majorité des références bibliographiques l'occurrence des termes "impact", "préserver", "durable", "gestion" ou "aménagement" est très élevée. Si les enjeux

[51] Les premiers travaux et rapports portant sur les usages sur les plages "*beach usage*", "*recreational uses*" datent des années 1970, mais sont très peu accessibles car sont publiés dans des revues nationales dont l'accès est restreint.

[52] Participation de l'auteure lors du colloque de 2012 (Lemahieu A., Pennober G., David G., Lavigne F., Pothin K., 2012 - Monitoring coastal uses of the Marine Reserve of La Reunion using aerial surveys, Reunion Island, France, West Indian Ocean, 6th international Management of Visitors Conference, Stockholm, Sweden, August, 21-24, 2012, pp.34-35)

primaires dans la plupart des études résident dans des problématiques de gestion d'une aire protégée ou d'un espace public, la cause environnementale est souvent la finalité servie.

La littérature grise montre que les champs d'application sont variés, mais reste donc en filigrane la question des impacts environnementaux et de l'exploitation durable des ressources. Aussi, on observe qu'une part non négligeable des quelques études menées par des biologistes marins sur les impacts physiques engendrés par l'Homme associe des études quantitatives de fréquentation. C'est le cas pour les problématiques d'impacts engendrés par l'activité de plongée (Rodgers et Cox, 2003 ; Zakai et Chardwick-Furman, 2002), par l'activité de baignade (Cambert *et al.*, 2007), par la pollution par les bateaux (Warnken et Leon, 2006) ou par l'ensemble des activités balnéaires (Liu *et al.*, 2012).

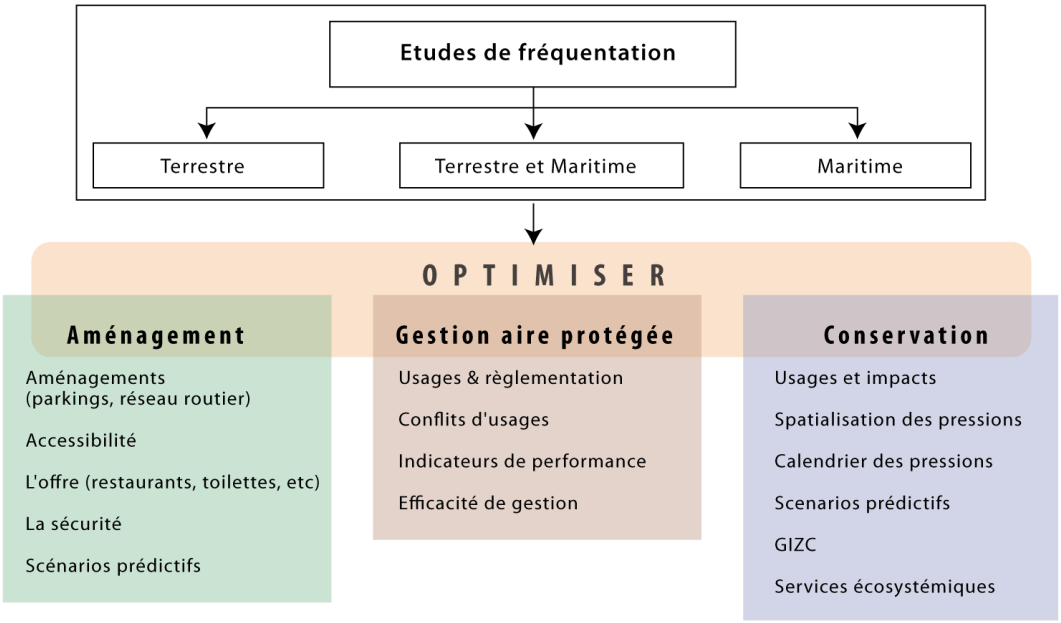


Figure 7 - Des données de fréquentation pour optimiser l'aménagement, la gestion d'une aire protégée et sa conservation.

En contexte d'espace protégé, la contribution à la gestion par l'élaboration d'indicateurs constitue également une problématique qui se trouve au cœur de ces suivis (Gamp, 2008 ; Lecomte, 2010 ; Veiga *et al.*, 2010 ; Fleury *et al.*, 2012 ; Alós et Arlinghaus, 2012 ; Smallwood *et al.*, 2012), de même que l'optimisation de la gestion d'espaces à fort potentiel touristique (Brigand *et al.*, 2005, Brigand et Le Berre, 2006 ; Robert *et al.*, 2008 ; Le Berre *et al.*, 2009 ; Peuziat, 2009 ; Guéguan, 2012), leur aménagement (Breton *et al.*, 1996 ; Dormois *et al.*, 2000) et plus rarement l'optimisation des services tels que la sécurité de la baignade (Dwight *et al.*, 2007 ; Harada *et al.*, 2011) ou la qualité de l'eau (Environment Protection Authority, 1994 ; James, 2000 ; Turbow *et al.*, 2003).

En fonction de la vocation de l'étude et des moyens qui lui sont alloués, divers types d'approches sont à considérer. Les chercheurs de L'UMR 6554 LETG, et de l'équipe Géomer en particulier, à l'instar de L. Brigand et S. Le Berre ont ainsi compartimenté l'approche des problématiques de fréquentation de façon tripartite (Brigand et Le Berre, 2006 ; Le Berre, 2008 ; Le Berre *et al.*, 2009) :

- l'approche quantitative qui se résume à dénombrer la fréquentation, acquérir la donnée sur une échelle spatiale et temporelle données, ce que les auteurs appellent « *le fond élémentaire*

d'informations ». L'information est généralement stockée dans une base de gestion de données laquelle est de plus en plus souvent spatialisée (Systèmes d'Information Géographique) en vue de leur cartographie ;

- l'approche qualitative qui s'appuie sur des entretiens et des enquêtes, en vue d'intégrer la dimension sociologique de la fréquentation, de cerner les préférences et les perceptions, données utiles aux aménageurs comme aux gestionnaires d'AMP en vue d'optimiser les stratégies d'aménagement et de gestion des usages ;
- l'approche comportementale qui vise à comprendre comment des usagers s'approprient un espace, à étudier leur mobilité et la perception qu'ils ont du site qu'ils fréquentent.

Selon qu'elles s'inscrivent ou non dans le cadre de la demande d'un gestionnaire d'espace protégée, et selon la finalité de l'étude, les méthodes d'acquisition des données vont être variables. Si les études ont vocation à améliorer des aménagements et les commodités (l'offre en services, les dispositifs de sécurité, etc.) (Breton *et al.*, 1996 ; Dormois *et al.*, 2000 ; Dwight *et al.*, 2007 ; Le Berre *et al.*, 2009 ; Harada *et al.*, 2011 ; Guégan C., 2012 ; Peuziat *et al.*, 2010), ou optimiser les stratégies de gestion (identifier les conflits d'usages, mesurer l'acceptation des usagers vis-à-vis de la règle, etc., Thomassin, 2011), il sera nécessaire de disposer à la fois de données quantitatives (le nombre de clients, de visiteurs, d'usagers) et qualitatives (perception et comportement des clients, usagers, visiteurs) afin de cerner au mieux les besoins et les habitudes. En revanche, s'il est question d'envisager la fréquentation sous l'angle des problématiques des pressions et des impacts liés, les données quantitatives sont primordiales pour apporter des réponses concrètes.

Encadré c. La notion de capacité de charge en filigrane

La capacité de charge, "carrying capacity" se réfère au "*nombre maximum d'individus d'une espèce qu'un territoire donné peut supporter*" (Veyret, 2007), "*sans qu'il en résulte une dégradation de l'environnement*"[53]. Pour N. Sayre (2008), la capacité de charge véhicule une notion de "calculable" ("*calculability*") qui vient enrichir celle de "durabilité" ("*sustainability*"). J.-M. Thurot (1980) ajoute la dimension sociale et économique au rang des enjeux en définissant la capacité de charge comme "*la capacité qui peut être atteinte […] sans dommage social/économique pour la communauté et la culture locales*". En outre, il ne limite pas le risque de dégradation au milieu naturel, mais évoque aussi le risque d'impact sur le milieu "artificiel" (Thurot, 1980), à savoir les aménagements et les commodités qui vont souvent de pair avec un lieu touristique. En matière de gestion dans un contexte d'aires protégées, la capacité de charge s'envisage comme un seuil, correspondant au nombre maximal d'usagers que le milieu puisse supporter, sans que cela nuise aux objectifs de conservation. Assez longtemps, la capacité de charge a été évaluée à travers les seuls paramètres écologiques et quantitatifs (O'Reilly, 1986 ; Ritchie et Goeldner, 1994). Progressivement, les aspects économiques et sociaux ont participé à l'évaluation d'une capacité de charge plus adaptée aux attentes des gestionnaires à travers les volets suivants (Hunter, 1995) :

- La capacité de charge physique qui définit la limite au-delà de laquelle des problèmes environnementaux vont apparaître ;
- La capacité de charge psychologique ou de perception qui est le plus bas degré de satisfaction que des touristes sont prêts à accepter avant de chercher une destination alternative ;
- La capacité de charge sociale qui est le degré de tolérance de la population hôte de la présence et du

[53] Site internet de la Banque Mondiale ; www.worldbank.org

comportement des touristes, et/ou le degré de concentration d'usagers que les touristes sont prêts à accepter des autres. E. Aubert de la Rue (1956) observait que le passage des touristes avait souvent pour résultat d'avilir l'art indigène de beaucoup d'îles ;

- La capacité de charge économique qui est la capacité à absorber les activités touristiques sans déplacer ou court-circuiter les petites économies locales.

Il est souvent reproché au concept de capacité de charge un manque de fondement scientifique et empirique (Sayre, 2008 ; Veyret, 2007). Sa légitimité scientifique relève pour certains d'une "évidence conceptuelle intuitive" ("*intuitive conceptual obviousness*" Sayre, 2008), à savoir que la notion de "seuil" véhiculée par ce concept est, bien que reconnue par la communauté scientifique, non générique (O'reilly, 1986). Il existe bien trop de contrastes à l'échelle mondiale dans les habitudes, de dynamiques naturelles variées et de paysages pour pouvoir aboutir à une standardisation de ce concept "élastique" (Pigram, 1980). Cette absence de généricité a contribué à une relative impopularité du concept au sein de la communauté scientifique, le restreignant à un outil d'aménageurs et de gestionnaires (O'Reilly, 1986). Pourtant, pour répondre à la demande des décideurs, il faut bien se positionner et adapter le concept aux spécificités locales. Il en résulte une multiplicité des méthodologies d'évaluation de la capacité de charge pour un lieu donné, mais avec toujours deux dénominateurs communs incontournables : l'acquisition de données quantitatives et qualitatives, et la prise en compte des variables physico-écologiques et socio-économiques.

2.A.2. Quels enjeux en milieu littoral ?

2.A.2.1. Un intérêt récent

En milieu littoral, le thème de la fréquentation ou du "*visitor monitoring*" chez les Anglo-saxons est relativement récent. L'un des premiers ouvrages que l'on ait pu identifier est anglophone et s'intitule "*Recreational uses of coastal areas"* (Fabbri, 1989). Il s'agit d'une contribution de plusieurs articles posant pour l'une des premières fois la question de la gestion de la fréquentation en zones côtières, avec les problématiques sous-jacentes de surfréquentation et d'impacts. À partir de 2005, le nombre de publications scientifiques[54] traitant de la question de la fréquentation en milieu littoral a connu une nette augmentation, même si ce nouveau champ reste peu représenté dans la production scientifique ou les colloques internationaux (Figure 8). En 2012, lors du 6ème colloque du Monitoring and Management of Visitors in recreationnal and protected areas (MMV) qui s'est tenu à Stockholm en Suède[55], 3 présentations sur plus de 150 portaient sur des problématiques de fréquentation littorale.

En France, quelques chercheurs se sont, dès les années 1990, illustrés dans la recherche sur les activités récréatives sous leurs aspects quantitatif et qualitatif en milieu littoral à l'instar de G. Richez et L. Brigand. L'un des premiers travaux menés par G. Richez (1990) portait sur la navigation de plaisance dans l'anse d'Elbu, dans un contexte d'aire protégée (la réserve naturelle de Scandola, Corse du Sud) et visait à mieux connaître les modes d'utilisation des lieux, les motivations et leur acceptation face aux règles fixées par la réserve. Les géographes bretons se sont très tôt positionnés sur cette problématique à l'instar des travaux du laboratoire GEOMER qui a fortement contribué à poser les bases théoriques d'un nouveau champ disciplinaire apparenté à la géographie (Brigand *et al.,* 2008). Ces travaux dans les îles et archipels métropolitains de 1994 à 2007 sur la thématique de la

[54] Sont considérées comme "publications scientifiques" tous les travaux académiques, rapports, thèses, mémoire, HDR, ce qui exclut les rapports des administrations, des collectivités ou des organismes privés tels que les bureaux d'étude.
[55] http ://www.mmv2012.se/

fréquentation ont permis de calibrer et tester différentes méthodologies (voie maritime, terrestre, au sol). Depuis la fin des années 2000, l'UMR Littoral ENvironnement et Sociétés (LIENSs) rattachés au CNRS et à l'Université de la Rochelle développent un axe de recherche sur les problématiques de fréquentation littorale au travers du projet "Observatoire des pratiques de tourisme et de loisir"[56] et dont les nombreuses productions sont à la fois quantitatives (état et évolution spatio-temporelle de la fréquentation des plages de Charente-Maritime de 2008 à 2012, Vacher *et al.*, 2014) et qualitatives (enquêtes sur les habitudes de fréquentation, Guais *et al.*, 2011).

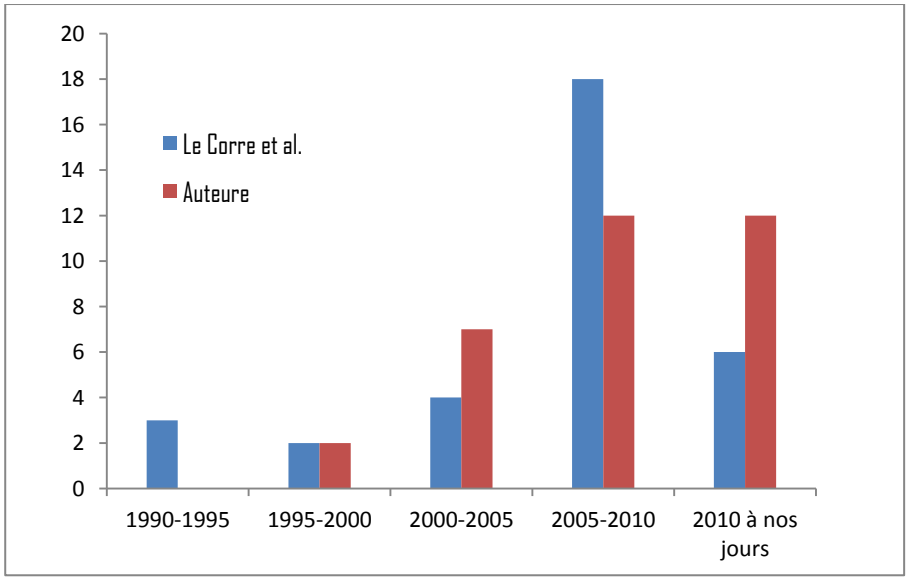


Figure 8 - Évolution du nombre de publications sur le thème de la fréquentation littorale (sources : synthèse bibliographique de Le Corre *et al.*, 2011 en bleu, et bibliographie de cette thèse en rouge).

Le déploiement de suivis de fréquentation en milieu littoral s'oppose à plusieurs spécificités qui relèvent:

- de la configuration géographique de l'espace étudié : la linéarité du littoral implique souvent un déploiement plus conséquent de main-d'œuvre. Une plus grande surface implique quasiment systématiquement un plus long linéaire, et des moyens plus importants. En outre, les activités pratiquées en mer sont d'emblée plus difficilement accessibles, et nécessitent des adaptations méthodologique et logistique ;
- de la multiplicité des usages qui y sont pratiqués, et de leur forte variabilité spatiale et temporelle ;
- de la superposition, qui tend à devenir systématique, entre les territoires de pratique préexistants et un territoire de conservation réglementé.

Il est donc essentiel de prendre en compte ces spécificités dans l'élaboration des protocoles, afin de les optimiser en termes de moyens et outils à mobiliser.

2.A.2.2. Les suivis de fréquentation en milieu littoral

Les travaux issus de l'école de L. Brigand constituent l'essentiel de la bibliographie scientifique française. Cette dernière s'appauvrit encore dès lors que l'on souhaite affiner les critères de sélection

[56] http://ecop.univ-lr.fr/Observatoire_des_Pratiques.htm

bibliographique afin de mieux correspondre au cadre méthodologique de la présente étude en sélectionnant :

- des études déployées en milieu littoral c'est-à-dire dont la fréquentation étudiée a une aire de répartition comprise dans la partie marine, la plage, le haut de plage ou les trois espaces combinés ;
- des résultats de nature quantitative afin de permettre une comparaison méthodologique ;
- des études qui recourent à des méthodes de comptage direct ;
- et dans la mesure du possible, intégrant une bonne représentativité des activités qui sont présentes dans la zone d'étude ciblée ;
- des études de nature scientifique si possible, à savoir des articles, rapports scientifiques ou documents académiques (thèse, mémoire).

Au regard de ces critères, une trentaine de références nationales (18 références dont 8 en Outre-mer) et internationales (12 références) a été identifiée (Tableau 7). Une grande partie d'entre elles a procédé à un suivi multi-usages. Les usages qui font l'objet d'un suivi ont généralement un potentiel impactant, soit parce qu'ils sont extractifs et puisent dans la ressource (pêche, chasse sous-marine) soit parce qu'ils occasionnent un contact avec l'environnement sous-marin et ont la caractéristique d'occasionner de fortes densités d'usagers (plage et plongée sous-marine).

L'approche comportementale est peu exploitée, essentiellement utilisée en France par les chercheurs qui ont été formés ou sont passés par le laboratoire Géomer. Sa logique d'utilisation n'est pas particulièrement dictée par l'objet de l'étude qui est variable : multi-usages, pêche, fréquentation touristique. En revanche on observe qu'une plus grande partie des études ayant eu recours à l'approche comportementale, avait vocation à contribuer à l'élaboration de stratégies d'aménagement et/ou de gestion touristique, ce qui signifie que ce type d'information est généralement associé à une demande des décideurs politiques et des aménageurs. Dans les DOM-TOM, les études identifiées sont souvent adossées à des problématiques de gestion d'Aires Marines Protégées (Tableau 7).

L'approche qualitative est particulièrement utilisée par les professionnels du tourisme car elle permet de cerner les attentes et les perceptions des usagers, et ainsi d'adapter leur « gestion qualitative de la fréquentation des plages » (Dormois *et al.*, 2000). Une approche quantitative présente une tout autre finalité, notamment « […] *si le but d'un protocole de suivi est de quantifier les interactions entre l'Homme et l'écosystème* » auquel cas « *le nombre total de personnes devra être comptabilisé, indépendamment des raisons de leur présence* » (Muhar *et al.*, 2002). Cette vision reste néanmoins réductrice : obtenir des données qualitatives sur un groupe d'usagers par l'observation ou en adressant des questionnaires sur leurs préférences permet aussi de mieux comprendre et d'anticiper, et donc d'améliorer l'élaboration de modèles prédictifs.

Tableau 7 - Synthèse des suivis de fréquentation cités dans cette étude, selon leur vocation, le type d'usages suivi et l'approche privilégiée.

Référence	Pays	Vocation	Nbre usages	Quantit.	Qualit.	Comp.
Audouit C., 2008	Métropole	Impacts	Plage			
Brigand et Le Berre, 2006	Métropole	Pression bateaux	Multi			
Cazes-Duvat & Pesmes, 2002	La Réunion	Capacité de charge	Multi			
Dormois *et al.*, 2000	Métropole	Tourisme/aménagement	Plage			
Gamp, 2008	Nlle- Calédonie	Indicateurs performance	Pêche			
Guégan C., 2012	Métropole	Tourisme/aménagement	Touristes			
Jollit, 2010	Nlle- Calédonie	Pression pêche	Pêche			
Le Corre N., 2009	Métropole	Impacts environnementaux	Multi			
Mirault, 2006	La Réunion	Services écosystémiques	Multi			
Peuziat I., 2009	Métropole	Impacts	Pêche			
Peuziat *et al.*, 2010	Métropole	Tourisme/aménagement	Multi			
Vacher *et al.*, 2014	Métropole	Tourisme/aménagement	Plage			
Alós *et al.*, 2012	Espagne	Efficacité de gestion	Pêche			
Bertrand, 2000	La Réunion	Effort de pêche	Chasse ss-marine			
Breton *et al.*, 1996	Espagne	Tourisme/aménagement	Plage			
Cambert *et al.*, 2007	La Réunion	Impact environnemental	Multi			
Coll *et al.*, 2004	Espagne	Effort de pêche	Chasse ss-marine			
Dwight *et al.*, 2007	USA	Tourisme/aménagement	Plage			
Fleury *et al.*, 2012	La Réunion	Pression pêche	Pêche à pied			
Harada *et al.*, 2011	Hawaii	Optimiser lifeguard	Plage			
Le Berre *et al.*, 2009	Métropole	Tourisme/aménagement	Multi			
Lecomte R., 2010	La Réunion	Gestion et impacts	Multi			
Liu *et al.*, 2012	Taiwan	Impacts	Multi			
Robert *et al.*, 2008	Métropole	Tourisme/aménagement	Plage			
Rodgers and Cox, 2003	Hawaii	Impacts	Plage			
Sala *et al.*, 1996	Espagne	Impact plongée	Plongée			
Smallwood *et al.*, 2011	Australie	Gestion durable usages	Multi			
Veiga *et al.*, 2010	Portugal	Pression de pêche	Pêche à pied			
Vivier M., 2002	La Réunion	Pression milieu	Plongée			
Warnken et Leon, 2006	Australie	Impacts	Pêche			
Zakai *et al.*, 2002	Israel	Impacts	Plongée			

On distingue deux méthodes d'acquisition de données quantitatives pour évaluer la fréquentation :

- L'une recourt au comptage indirect par le biais de l'exploitation de données secondaires, tels que les registres des maitres nageurs sauveteurs (Dwight *et al.*, 2007), ou encore les archives de compétition de chasse sous-marine (Coll *et al.*, 2004) des enquêtes par téléphone, mail, voie postale (Sidman *et al.*, 2004 ; Colson, 2006 ; Brigand et Le Berre, 2006) ou encore par l'inscription volontaire des usagers sur les registres (Muhar *et al.*, 2002), etc.
- La seconde procède par comptage direct, méthode qui présente l'avantage de mieux refléter la réalité du terrain (Le Corre *et al.*, 2011). Les premières études portant sur la mesure de la fréquentation quantitative ont été déployées sur des aires terrestres (Ballion, 1975, Poulin 1980), et avaient souvent vocation à optimiser et mieux orienter les politiques d'aménagement ou de gestion (DDE, 1982).

L'apparition concomitante du devoir de conservation des espaces et de l'engouement croissant du public pour ces types d'espaces (Cole, 1995) a donné une tout autre dimension aux études de fréquentation dont la vocation in fine devient l'analyse des interactions Hommes-milieu (Watson *et al.*, 2000) et des interactions entre usages (David *et al.*, 2006).

2.A.3. Une thématique résolument géographique

L'intérêt pour les mesures de fréquentation en sciences sociales est assez récent. Il est concomitant de l'attrait croissant des visiteurs, excursionnistes ou touristes pour les espaces naturels. La fréquentation de ces espaces naturels a été exacerbée par l'essor des sports de plein air et le développement du tourisme (Brigand, 2008). La bibliographie inventoriée par Le Corre *et al.* (2011) traitant, de près ou de loin, de la question de la fréquentation en milieu littoral (tout ou parties marines) s'est concentré sur la bibliographie francophone. Bien que volontaire, ce choix ne fait pas moins écho aux difficultés qui sont rencontrées à l'identification d'un vocabulaire anglophone générique relatif au thème de la fréquentation en milieu littoral. Le vocabulaire étant fortement variable d'une publication à une autre, nous avons pour notre part interrogé la bibliographie à la lumière de mots-clés tels que "*monitoring*", "*beach*" ou "*activities*" ce qui a permis d'élargir le champ de recherche de la littérature anglophone disponible se rapprochant de la thématique de la fréquentation.

S'intéresser à la fréquentation inscrit systématiquement l'étude dans un champ spatio-temporel. Dès lors qu'un protocole est reproduit plus d'une fois, les résultats seront à même de traduire des dynamiques spatio-temporelles de la fréquentation à l'étude. Indifféremment des méthodes, la temporalité que ces études engagent est duale ; elle comporte i) le temps nécessaire à l'acquisition qui peut varier de l'échelle horaire à l'échelle de la journée, et ii) la période couverte par l'échantillonnage (heure, semaine, mois, saison, année). Spatialité, temporalité, territorialité sont donc les concepts mobilisés par les problématiques de fréquentation qui, additionnées à la composante littorale dans son acception de "milieu" mobilisant des "enjeux", s'intègrent parfaitement dans le champ de compétences de la géographie. D'ailleurs, une simple recherche à partir du moteur Google Scholar® permet de rendre compte de la forte représentativité de la discipline dès lors que le terme "littoral" est associé à "fréquentation". Sans cette association, de nombreuses disciplines des sciences humaines sont représentées et la Géographie n'arrive qu'en 8ème position (Figure 9).

"Fréquentation"…

Discipline	Thème
Paléontologie	Fréquentation humaine
Démographie	Fréquentation scolaire
Sociologie	Fréquentation bibliothèque
Histoire	Fréquentation scolaire
Ethnologie	Fréquentation cafés
Sciences de l'éducation	Fréquentation scolaire
Sciences de l'éducation	Fréquentation scolaire
Géographie	Fréquentation forêt
Sociologie	Fréquentation forêt
Géographie	Fréquentation touristique
Archéologie	Fréquentation humaine
Géographie	Fréquentation touristique
Sociologie	Fréquentation santé
Lettres	Fréquentation équipements
Sciences techniques	Fréquentation muséale

"Fréquentation" et "Littoral"…

Discipline	Finalité de l'étude
Géographie	Aménagement
Géographie	Conservation
Géographie	Conservation
Géographie	Tourisme
Géographie	Conservation
Géographie	Tourisme
Géographie	Tourisme
Géographie	Conservation
Géographie	Tourisme
Géographie	Aménagement
Géographie	Conservation
Géographie	Tourisme
Géographie	Conservation
Ecologie	Conservation
Anthropologie	Comportement

Figure 9 - Les 15 premières occurrences pour les termes "fréquentation" et "littoral" dans le moteur de recherche Google Scholar du 06/06/2014. Une fois l'adjectif "littoral" ajouté au terme fréquentation, la géographie se positionne en discipline première (en surligné).

Aussi, une grande partie des études mobilisées dans le cadre de cet état de l'art théorique a abouti à une cartographie des usages, outil de représentation par excellence des phénomènes qui revêtent une dimension spatiale. Cet exercice en géographie ne se fait plus que très rarement sans un recours aux Systèmes d'Information Géographique ou SIG (entres autres, Brigand et le Berre, 2006 ; Mirault, 2006 ; Nardin *et al.*, 2008 ; Le Berre, 2008 ; Peuziat, 2009 ; Le Corre, 2009 ; Smallwood *et al.*, 2011 ; Guégan, 2012) puisqu'il permettent une bancarisation spatialisée et géoréférencée des données sous forme de Base d'information Géographique (BIG). En proie à de nombreuses définitions, un SIG est selon T. Joliveau (1996) plus qu'un logiciel, une interface, il s'envisage comme un "projet qui se déploie dans le temps", et dont "les composantes varient dynamiquement en fonction des objectifs successifs qui lui sont dévolus" (Joliveau, 1996). Dans le cadre d'une problématique de gestion environnementale amenée à mobiliser un grand nombre de jeux de données (les variables qui décrivent l'éco-sociosystème) la démarche est "territoriale", "*car l'espace est le support des milieux et des usages qui sont souvent spatialement exclusifs, et constitue le lieu des interactions multiples entre mécanismes naturels et activités humaines. On comprend bien dans ce cadre l'intérêt des SIG"* (Joliveau, 1996).

2.A.4. Des études souvent adossées à des plans de gestion

Dans la majeure partie de la littérature existante, la mesure de la fréquentation en zone littorale est fortement liée à l'existence d'un gestionnaire, de décideurs, d'aménageurs. Déjà, l'une des toutes premières études de fréquentation menée en France et dirigée par G. Richez (1990) portait sur la quantification de la navigation de plaisance dans l'anse d'Elbu et s'inscrivait dans le cadre de la gestion de la Réserve Naturelle de Scandola en Corse du sud. Dans le contexte actuel décrit dans le

chapitre premier de forte attractivité des marges littorales, les gestionnaires d'espaces protégés manifestent de plus en plus un besoin de connaissance des populations qui se rendent sur ces espaces, leur mode de visites, leur motivation et les impacts induits (Brigand *et al.*, 2008). L'objectif est de passer d'une politique d'ajustement à une politique de prévention, née d'une volonté de prévenir l'apparition d'impacts environnementaux ou sociaux (Brigand *et al.*, 2008). La demande des acteurs et des gestionnaires d'espace protégés se pose en termes d'optimisation des stratégies de gestion : missions de surveillance, réglementation, sensibilisation, maintien et régulation des usages, etc. Dans cette quête de connaissance des usages, de leur nombre, de leur répartition, se pose la question sous-jacente de la régulation et du « rééquilibrage ». En effet, il n'est pas dans le pouvoir du gestionnaire de limiter le flux de visiteurs, mais plutôt d'élaborer des stratégies visant à les redistribuer dans le temps et l'espace (Budowski, 1976).

Les protocoles de suivis des paramètres socio-économiques sont élaborés de concert par les gestionnaires et les scientifiques ou les bureaux d'étude (Brigand *et al.*, 2008) ce qui explique qu'une bonne partie des restitutions apparaissent dans un format de rapport non scientifique plus appliqué et opérationnel (Le Corre *et al.*, 2011), ou encore sous la forme de manuels génériques (par exemple : Watson *et al.*, 2000 ; Cessford et Muhar, 2003 ; Griffin *et al.*, 2010 ; Le Berre *et al.*, 2013, ou un manuel payant de l'ATEN[57]). La limite de ces protocoles réside dans leur difficile pérennisation (coûts, disponibilité de la main-d'œuvre, priorisation des actions) sans laquelle ne peuvent être mis au point des indicateurs de suivis pérennes.

Au sein de la littérature mobilisée pour cette thèse, très peu de travaux aboutissent à des protocoles pérennes. Les suivis se déroulent généralement sur de courtes périodes, de 1 an à quelques années. Pourtant les dispositifs pérennes ou "observatoires" sont les plus adaptés à un contexte de gestion, car plus à même de produire de l'information en continu et contribuer à l'évaluation de l'AMP. Dans leur état de l'art sur les dispositifs de suivis de fréquentation, N. Le Corre *et al.* (2011) identifiaient en 28 observatoires opérationnels, dont 14 se déploient à des échelles allant du département au territoire national et 14 à échelle locale. La difficulté rencontrée dans la mise en œuvre de ces dispositifs réside dans la multiplicité des compétences mobilisées, de la maîtrise de la logistique à la disponibilité des moyens financiers, en passant par la technicité nécessaire à l'acquisition, au traitement et à la bancarisation des données. La variabilité des ressources d'un observatoire à un autre induit une forte hétérogénéité, une faible coordination entre les réseaux, des niveaux d'intégration incomparables en termes de superficie, de fréquence de suivi, de validation scientifique, et de méthodes. De plus, la valorisation scientifique de résultats issus de ces dispositifs n'est pas systématique (Le Corre *et al.*, 2011). Elle n'est effective que dans le cas d'une collaboration du gestionnaire avec des scientifiques.

2.B. L'intégration des suivis de fréquentation dans la gestion des AMP

"Connaître, protéger, concilier, évaluer, partager" cinq mots, cinq missions en guise de page de garde du site internet de l'Agence française des Aires Marines Protégées (AAMP[58]). Au début des années 1970 naissent les premières Aires Marines Protégées (AMP) suite à la première Conférence Intergouvernementale sur la conservation et l'utilisation rationnelle de la Biosphère initiée par l'UNESCO en 1968. Au cours de ce rassemblement, une intervention du programme « l'Homme et la

[57] L'Aten est un groupement d'intérêt public créé en 1997 à l'initiative du ministère chargé de l'environnement [URL: http ://ct28.espaces-naturels.fr/]

[58] Site internet des Aires Marines Protégées ; www.aires-marines.fr

Biosphère » (Man And Biospher, MAB) va complètement restructurer les objectifs et les modes de fonctionnement des politiques de conservation (Aubertin et Rodary, 2008 ; Cazalet, 2010). Dès 1992 La Convention sur la biodiversité Biologique et les actions menées par les ONG internationales telles que la WWF et l'UICN valorisent une nouvelle approche dit "écosystémique" de la conservation (Aubertin et Rodary, 2008) dépassant ici le modèle du parc dédié à une seule espèce (Chaboud *et al.*, 2008b). Dès lors, afin de pouvoir garantir une approche systémique prenant en compte à la fois l'écosystème et le sociosystème, les stratégies de gestion des AMP se restructurent en intégrant la donnée manquante : l'Homme, ce qui rend par extension possible l'analyse de ses interactions avec le milieu. De nombreux experts issus de disciplines des sciences sociales (géographie, anthropologie, économie environnementale et écologique, etc.) sont désormais sollicités au sein de la sphère de la conservation pour contribuer à l'évaluation de la performance des AMP.

2.B.1. De l'évaluation des AMP : efficacité et performance

Afin de favoriser une gestion adaptée, et de juger de la capacité d'une AMP et de son mode de gestion à atteindre les objectifs fixés en amont, cette dernière doit sans cesse être évaluée. Une évaluation dans un contexte de conservation consiste en "*un jugement d'achèvement d'une série de standards et d'objectifs prédéterminés*" (Hocking *et al.*, 2000). Aussi, afin de réaliser une telle évaluation, des données sur l'environnement physique, social ou sur la gestion elle-même doivent être acquises de façon répétée dans le temps et l'espace : c'est le "*monitoring*" dans la littérature anglophone. Ce terme trouve plus souvent son équivalent en français dans "suivis scientifiques" ou "réseau de suivis". Ces réseaux de suivis servent à évaluer la capacité d'une AMP à atteindre ses objectifs de conservation, autrement dit à évaluer son efficacité (Pomeroy *et al.,* 2005).

Contrairement à la notion d'efficacité qui est généraliste, la notion de performance s'inscrit davantage dans celle de "gestion adaptative". Elle est toute relative en ce qu'elle est mesurée sur la base des objectifs que le gestionnaire se fixe lui-même au regard du contexte et des particularités de son AMP. C'est dans son plan de gestion que le gestionnaire consigne un ensemble d'objectifs à atteindre à plus ou moins long terme, lesquels sont mesurables en termes de résultats escomptés (Pomeroy *et al.*, 2005). Un ensemble d'indicateurs sont alors proposés en vue de mesurer ces résultats.

2.B.1.1. Des indicateurs pour évaluer la performance

Pour une gestion efficace d'une AMP, un retour permanent d'informations est nécessaire (Pomeroy *et al.*, 2005). Un indicateur est "*une unité d'information, mesurée en fonction du temps, permettant de démontrer l'évolution des attributs spécifiques de l'AMP*" (Pomeroy *et al.*, 2004). Tous les paramètres ou variables susceptibles de renseigner le gestionnaire sur l'évolution de son AMP sont ainsi synthétisés en marqueurs ou "indicateurs" permettant d'évaluer l'AMP et son projet. Il existe une batterie d'indicateurs relevant de disciplines variées, de l'écologie à l'économie en passant par la sociologie. Il est jugé pertinent[59] s'il autorise la construction d'une échelle de réponse pour en interpréter les variations dans le temps, et peut être intégré à un tableau de bord. Pomeroy *et al.* (2005) identifient 3 grandes familles d'indicateurs :

- les indicateurs biophysiques qui permettent de mesurer à la fois les écosystèmes naturels, à la fois certaines conditions socio-économiques et de gouvernance. Ils sont soit biotiques (abondance des espèces, structure des populations, etc.), soit abiotiques (qualité de l'eau) ;

[59] La pertinence d'un indicateur illustre le lien qui existe entre l'indicateur et l'effet qu'il est supposé indiquer (Pelletier *et al.*, 2005)

- les indicateurs socio-économiques qui influencent fortement la gestion et les performances des AMP (les AMP ont un impact sur les Hommes et inversement) et mesurent la perception des usagers, permettent la compréhension des jugements de valeur de l'écosystème et des connaissances, évaluent les aspects de la valeur économique totale et des coûts liés à l'AMP ;
- les indicateurs de gouvernance[60] qui renseignent sur les modalités de gestion, la capacité du gestionnaire à accomplir sa stratégie de gestion. Ces indicateurs peuvent questionner le système social, les systèmes de surveillance, de communication, juridique et participatif à travers des indicateurs de "processus" et de perception des usagers/parties prenantes. Bien qu'un grand nombre d'études porte sur l'évaluation des effets induits par la présence d'une AMP, notamment en termes de biomasse, peu visent à évaluer leur efficacité à accomplir les objectifs de gestion initialement définis (Pelletier *et al.,* 2005). Aussi, de plus en plus d'indicateurs visent à mesurer "l'efficacité de gestion", qui "*reflète dans quelle mesure les initiatives en matière de gestion permettent d'atteindre les buts et les objectifs d'une aire protégée*" (Pomeroy *et al.*, 2005).

Tous les indicateurs sont consignés dans des "tableaux de bord" censés faciliter la lecture et l'interprétation des résultats par des grilles de lectures (par exemple élaborées selon des codes couleurs dans le programme PAMPA ; Pelletier *et al.*, 2005).

2.B.1.2. De l'efficacité d'une AMP

Une AMP jugée "efficace" est une AMP qui a "impacté" positivement le milieu sur le plan biologique : augmentation de la biomasse, de la densité d'individus, de la taille moyenne, de la richesse spécifique[61]. Malgré une grande variabilité dans les réponses des variables biologiques aux dispositifs de protection (Lester *et al.*, 2009), de nombreuses études ont déjà démontré que les réserves intégrales de protection, au sein desquelles toute activité humaine est prohibée, étaient efficaces, la diversité des populations et la taille moyenne des individus y étant 20 % à 30 % plus élevées que dans des zones non protégées (Halpern, 2003). S.E. Lester *et al.* (2009) constataient, à partir d'une étude portant sur l'efficacité des réserves intégrales et menées sur plus de 124 réserves réparties dans 29 pays, qu'une bonne moitié des sites présentaient des augmentations de 200 % de la biomasse[62] et de 60 % de la densité de poissons (Figure 10 b.). Alors qu'un quart de la couverture corallienne mondiale est protégé par des AMP, il était estimé en 2011 qu'une bonne moitié d'entre elles s'avéraient inefficaces[63] dans la mission des gestionnaires en place de réduire les pressions de pêche, une inefficacité qui semble toucher davantage les bassins atlantique (61 %) et d'Asie du sud-est (69 %) (Burke *et al.*, 2011) (Figure 10 a.).

[60] La gouvernance des ressources selon Pomeroy, "consiste à gérer les utilisateurs et les intentions des utilisateurs par le biais d'un ensemble de droits et de règles." En contexte de gestion d'AMP à des fins de gouvernance des ressources, la "gouvernance" trouve son acception de finalité dans les termes "bonne gouvernance" régulièrement usités (David, 2011).

[61] Désigne le nombre d'espèces, faune et flore, qui constituent un écosystème.

[62] La biomasse est une mesure de la masse totale d'individus (poids) sur une surface échantillonnée.

[63] Sur plus de 2679 AMP identifiées, seule la moitié a pu être évaluée.

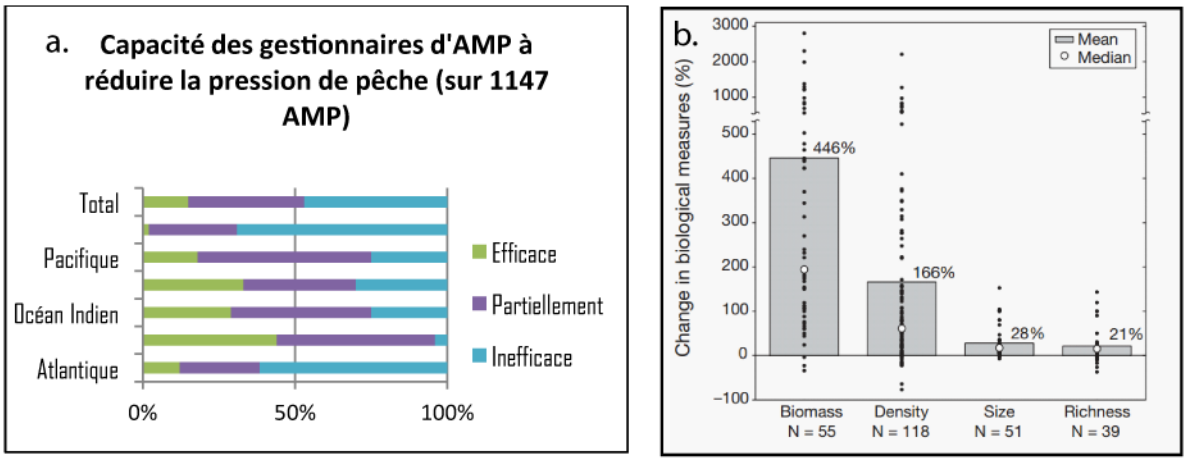


Figure 10 a. et b. - Efficacité des gestionnaires de 1147 AMP à réduire la pression de pêche (a., source : Burke *et al.*, 2011) et l'évolution positive des variables biologiques de biomasse, densité, taille et richesse spécifique des populations benthiques pour 124 réserves intégrales dans 29 pays (b., source : Lester *et al.*, 2009)

Une AMP doit également garantir la paix sociale par le maintien d'une bonne acceptation sociale de la part des groupes d'usagers (Thomassin, 2011), et une bonne cohabitation entre les groupes d'usagers. L'acceptation sociale est une mesure de l'appropriation du dispositif de conservation et de son cortège de règles par l'usager, qui fournit selon A. Thomassin (2011), une synthèse de l'état de l'ensemble des dynamiques sociales au sein des AMP. Certains auteurs ont mis le doigt sur un antagonisme récurrent opposant l'efficacité biologique et l'échec social au sein de certaines AMP, et la nécessité d'imaginer un système de suivi qui prenne en compte cette articulation complexe biologique/social (Christie, 2004).

2.B.2. L'intégration tardive des sciences sociales

L'évaluation des AMP s'est longtemps faite à partir d'indicateurs biophysiques uniquement, et les implications sociales de la mise en AMP d'un espace restent très peu documentées et comprises (Mascia, 2001). Longtemps les gestionnaires ont abordé les problématiques socio-économiques à partir d'approches *ad hoc*, sans les insérer dans des stratégies de gestion à long terme (Griffin *et al.*, 2010). En guise d'explication, C. Meur-férec (2007a) avance que la sensibilité des gestionnaires d'aires protégées est souvent liée à leur formation et que la très grande majorité d'entre eux sont biologistes, écologues ou ingénieurs agronomes, tout autre spécialiste issu des sciences humaines n'étant présent que lors des conseils scientifiques. Ce qui explique une orientation très naturaliste des gestionnaires dont la conception de la nature se fait par essence sans l'Homme, considéré plutôt comme un élément perturbateur du système littoral (Meur-Férec, 2007a). Une AMP est pourtant un éco-socio-système qui intègre à la fois les composantes humaine et biophysique (Corlay, 1995 ; Mirault, 2006 ; David, 2011), qui impacte l'Homme et inversement (Pomeroy *et al.*, 2005). Mener des suivis exclusivement sur l'une des composantes du système risque d'aboutir à une mauvaise interprétation des processus à l'œuvre. En outre, D. Pelletier *et al.* (2005) expliquent que les effets sociaux créés par une AMP, à défaut de constituer une attente, sont davantage vus comme une contrainte à l'achèvement des objectifs de gestion.

2.B.2.1. Une nécessaire intégration des sciences sociales

Alors que la communauté des gestionnaires a longtemps été préoccupée par les mesures institutionnelles de performance, et la communauté des sciences marines à construire des indicateurs de changement des écosystèmes marins, les relations entre les socio-systèmes et la

variabilité environnementale ont peu été étudiés (Bowen et Riley, 2003 ; Chaboud et Galetti, 2007). Longtemps définie dans ses objectifs comme un outil de régulation des pêcheries et de protection de la biodiversité (Halpern et Warner, 2003) il est aujourd'hui assumé que l'AMP vise également à maintenir les bénéfices que les écosystèmes procurent à la société (Mascia, 2001). Finalement, ne serait-on pas tenté d'adhérer à cette définition de G. David (2011a) qui prend en considération tous les éléments du système et les interactions produites : "*L'AMP est un éco-sociosystème qui intègre les composantes humaines autant que les composantes biophysiques. Dans ce contexte, il importe d'étudier les dynamiques des différents ensembles composant l'éco-socio-système, au même titre que l'écosystème et la gouvernance, sous-système qui fait le lien entre la structure de gestion de l'AMP et ses usagers*" (David, 2011).

La question de l'acceptation sociale par les usagers, de leur adhésion au projet, est incontournable en matière de gestion puisqu'elle est un indicateur de climat social et de risques de conflits d'usages. T. Agardy *et al.* (2003) l'estime même comme étant indispensable au succès d'une AMP, lorsque D. Gilmore (1997) la voit comme un pilier de la conservation, au même titre que la durabilité écologique et la faisabilité économique. De la répartition intra et inter-générationnelle et du critère d'équité dépendra le niveau moyen d'acceptation sociale par les différents groupes d'acteurs (Chaboud *et al.*, 2008b). De même, la méconnaissance du fonctionnement d'une AMP, le défaut de concertation, le sentiment de rejet, sont autant de défaillances qui peuvent conduire à un niveau d'acceptation sociale bas (Halpern et Warner, 2003). Or, sans une bonne acceptation sociale du nouveau dispositif de protection et de la réglementation, les objectifs de conservation risquent d'être entravés par un manque d'engagement des parties prenantes, un niveau de conflit élevé, et une remise en question du dispositif. Dans ses travaux de thèse portant sur la production d'indicateurs renseignant sur l'acceptation sociale des usagers, A. Thomassin (2011) a pointé du doigt les limites et les difficultés de mise en place inhérentes à leur relative impopularité (Pelletier *et al.*, 2005).

2.B.2.2. La production d'indicateurs socio-économiques

De l'existence d'un suivi de fréquentation reproductible va dépendre la production d'indicateurs de suivi. Ce type de résultat constitue l'une des premières attentes des gestionnaires vis-à-vis des suivis de fréquentation. Nous avons identifié et listé, à partir du set d'indicateurs génériques[64] proposé par R. Pomeroy *et al.* (2005) servant à l'évaluation d'une AMP[65] la nature des données requises pour leur production : données socio-économiques, données écologiques et données physico-chimiques (Tableau 8). Il apparaît que les données socio-économiques sont bien représentées au sein de toute la gamme d'indicateurs recensés. Selon qu'elles seront de nature qualitative ou quantitative, ces données s'avèrent à la fois nécessaires à l'élaboration d'indicateurs socio-économiques, de gouvernance, mais contribuent également à la production d'indicateurs biophysiques (Tableau 8).

Les indicateurs socio-économiques et de gouvernance sont produits essentiellement au moyen de données de perceptions, de comportement ou de relations entre acteurs, usagers et gestionnaires. Avant que ce type de données ne soit intégré aux plans de gestion, les gestionnaires se basaient sur leurs propres perceptions et étaient influencés par des pressions financières externes et des pressions politiques (Pitts et Smith, 1993 *in* Griffin *et al.*, 2010). Ces nouveaux modes de gestion et

[64] Même s'il ne fait pas consensus dans la communauté scientifique, le manuel de R. Pomeroy *et al.*, 2005 est l'un des seuls à proposer une série d'indicateurs génériques, par ailleurs repris par un bon nombre de gestionnaires.

[65] Ce set d'indicateurs a été réalisé à destination de "tous types d'AMP", de l'AMP sous tutelle d'un gestionnaire, ou de l'AMP gérée en local par la communauté.

l'intégration de démarches participatives ont réellement donné une voix aux usagers et aux acteurs. Les données de perception des usagers obtenues à partir de questionnaires ou d'entretiens permettent par exemple de répondre à de nombreuses questions relatives à la relation usagers-dispositifs et à l'impact du dispositif sur les usagers.

Certains indicateurs forcent la complémentarité des données socio-économiques et biologiques pour leur élaboration. L'indicateur de "type, niveau et rentabilité de pêche" proposé par R. Pomeroy *et al.* (2005), classé au rang des indicateurs biophysiques, témoigne de ce besoin en données de fréquentation et d'usages. Cet indicateur est censé renseigner sur la nature et de degré de la force d'extraction déployée lors des activités de pêche, en termes de technologie (techniques de pêche, outils) et de main-d'œuvre qualifiée. L'"effort de pêche" se mesure à travers le nombre d'individus ou le poids d'une espèce capturée par unité d'effort, soit par jour ou par heure et par personne ou équipe de personnes. C'est pourquoi les données de fréquentation quantitative (nombre total de pêcheurs sur la zone), qu'elles soient issues de méthodes de comptage direct (par un observateur) ou indirecte (registres, associations) sont nécessaires dans ce cas, au même titre que les données qualitatives (données d'observation ou de perception via des enquêtes) sur les techniques de pêche, les captures ou la durée de la pêche. Certains indicateurs classés en catégorie "biophysique", tels que le "Zones soumises à un impact humain nul ou limité" (Tableau 8) recourent même exclusivement aux données d'usages et de fréquentation.

Tableau 8 - Set d'indicateurs issus du manuel de S. Pomeroy "How is your MPA doing?", et identification des jeux de données à mobiliser. Source : adapté de Pomeroy *et al.*, (2005).

		Données socio-économiques			Données écologiques	Données physico-chimiques
		Données quantitatives sur les usages	Données qualitatives, comportementales ou d'observation	Données de gestion		
Indicateurs biophysiques	1. Abondance des espèces focales				X	
	2. Structure de population des espèces focales				X	
	3. Complexité et répartition de l'habitat				X	
	4. Composition et structure de la communauté				X	
	5. Succès du recrutement au sein de la communauté				X	
	6. Intégrité du réseau trophique				X	
	7. Type, niveau et rentabilité de l'effort de pêche	X	X		X	
	8. Qualité de l'eau					X
	9. Zone présentant des signes d'amélioration				X	
	10. Zones soumises à un impact humain nul ou limité	X	X			
Indicateurs socio-économiques	1. Modèles locaux d'utilisation des ressources marines	X	X			
	2. Jugements de valeur et croyances locales à l'égard des ressources marines		X			
	3. Degré de compréhension des conséquences de l'action de l'Homme sur les ressources		X			
	4. Perception de la disponibilité des produits de la mer		X			
	5. Perception des récoltes des ressources locales		X			
	6. Perception de la valeur non marchande et de non-usage		X			
	7. Mode de vie matériel	X	X			
	8. Qualité de la santé humaine	X	X			
	9. Répartition des revenus des ménages par source		X			

	10. Structure professionnelle des ménages		X			
	11. Infrastructure communautaire et activités commerciales		X			
	12. Nombre et nature des marchés		X			
	13. Niveau de connaissance des parties prenantes sur l'histoire naturelle		X			
	14. Diffusion des connaissances formelles à la communauté		X			
	15. Pourcentage de groupes de parties prenantes occupant des positions de leader		X			
	16. Changement des conditions des sites caractéristiques/monuments ancestraux historiques		X			
Indicateurs de gouvernance	1. Niveau de conflit sur les ressources	X	X	X		
	2. Existence d'un organisme de décision et de gestion		X	X		
	3. Existence et adoption d'un plan de gestion		X	X		
	4. Compréhension locale des règles et réglementations de l'AMP		X	X		
	5. Existence et adéquation de la législation habilitante		X	X		
	6. Disponibilité et affectation des ressources administratives de l'AMP		X	X		
	7. Existence et utilisation d'études et de contributions scientifiques		X	X		
	8. Existence et niveau d'activité des organismes communautaires		X	X		
	9. Degré d'interaction entre les gestionnaires et les parties prenantes		X	X		
	10. Proportion des parties prenantes formées à l'utilisation durable		X	X		
	11. Niveau de formation assuré aux parties prenantes en matière de participation		X	X		
	12. Niveau de participation des parties prenantes aux processus et activités de gestion et niveau de satisfaction associé		X	X		
	13. Niveau d'implication des parties prenantes dans la surveillance, le suivi et l'application		X	X		
	14. Procédures d'application clairement définies		X	X		
	15. Étendue d'application		X	X		
	16. Degré de diffusion des informations visant à encourager la conformité des parties prenantes		X	X		

2.B.2.3. Données quantitatives de fréquentation et indicateurs

Les données d'usages spatialisées et échantillonnées dans la durée permettent la production d'indicateurs offrant de grandes potentialités. S'ils sont reproductibles, les protocoles autorisent la mise en place d'une "veille" ou observatoire qui permettra un suivi soutenu. Nous avons identifié deux grands types d'indicateurs pouvant être produits à partir des données quantitatives de fréquentation, un premier ensemble répondant à des enjeux de gouvernance, le second s'inscrivant davantage dans la catégorie des indicateurs biophysiques :

- les indicateurs de conformité des pratiques au règlement. "*An MPA is a socially constructed set of rules that collectively govern human interactions within a specified area*" (Pomeroy *et al.*, 2007). Aussi, l'établissement d'une AMP se traduit par la mise en place d'un ensemble de règles spatialisées qui définissent explicitement ou implicitement "qui" peut faire "quoi", "où", "quand" et "comment" (Pomeroy *et al.*, 2007). C. Smallwood *et al.* (2012) rapportaient ainsi à partir de leurs données recueillies sur les usages dans le parc Ningaloo en Australie, un constat de succès dans la connaissance et le respect de la réglementation par la communauté de pêcheurs, ce qui n'a pas été le cas pour les visiteurs ponctuels, touristes de passage, chez qui cette connaissance

faisait défaut. Ce retour d'expérience permet de pointer du doigt les lacunes en matière de gestion, de surveillance ou de communication/sensibilisation.

- les indicateurs de pression directe. En fonction de la problématique posée par le gestionnaire ou les scientifiques, les données brutes ou les données rapportées à une surface seront exploitées selon que le zonage utilisé est constitué ou non de mailles de superficie équivalente ;
- les indicateurs d'évolution du paysage des usages, ce dernier évoluant avec la conjoncture touristique et politico-sociale, ou encore avec les tendances. L'apparition ou la raréfaction d'usages peuvent faire naitre de nouvelles problématiques économiques, sociales ou environnementales.

Les gestionnaires d'AMP sont de plus en plus tenus, par des impératifs de reporting, de produire des indicateurs qui s'inscrivent dans un cadre méthodologique commun. Si les conditions sociales et écologiques sont amenées à varier d'un site à l'autre posant ici les limites de la généricité des indicateurs (Pomeroy *et al.*, 2007), il existe des dénominateurs communs à toutes les communautés et sociétés littorales qui résident dans l'augmentation démographique, la croissance du tourisme et la multiplication des activités observables partout. Dans certains pays comme l'Australie, dont le succès lié à la grande barrière de corail pousse les acteurs à s'impliquer davantage dans les problématiques de gestion des visiteurs et des touristes, les problématiques de fréquentation et d'impacts sont portées sur la place publique résultant dans la production de manuels de standardisation des protocoles de suivis de fréquentation à destination des gestionnaires (Griffin *et al.*, 2010).

2.B.3. Vers une approche intégrée Homme-milieu au sein des plans de gestion et dans les programmes scientifiques

Les écosystèmes côtiers ont subi des dégradations parfois irréversibles. Les fonctions de ces écosystèmes, et par là même, les services rendus aux sociétés humaines, s'en trouvent forcément affectées (Rapport *et al.*, 1998). Dans un effet cascade, c'est tout l'éco-sociosystème qui subit des modifications. Un écosystème en "bonne santé" est défini comme "stable et durable", maintenant son organisation et son autonomie dans le temps et sa capacité de résilience aux sources de stress (Rapport *et al.*, 1998). De plus en plus d'écosystèmes sont des "*human-dominated ecosystems*" (Vitousek *et al.*, 1997), des écosystèmes dominés par l'Homme, et devenus dysfonctionnels. Evaluer la santé d'un écosystème revient donc à prendre en compte tous les paramètres du système et nécessite l'analyse des liens existants entre les pressions humaines sur l'écosystème et les paysages, l'altération des fonctions et structures écosystémiques, l'altération des services écosystémiques, et la réponse sociétale (Rapport *et al.*, 1998). La nature systémique de l'écosystème impose une approche intégrée, qui a pourtant tardé à apparaître dans les programmes scientifiques, ou les stratégies de gestion. Aussi, l'écosystème constitue l'échelle d'analyse toute trouvée pour le développement d'indicateurs intégrés prenant en compte à la fois les paramètres biophysiques et socio-économiques.

Pour atteindre ses divers objectifs le gestionnaire met en place un plan de gestion et s'arme donc d'une batterie d'indicateurs dont la production sollicite l'intervention d'experts de disciplines variées, scientifiques ou bureaux d'études. Les suivis se multiplient, beaucoup se chevauchent se répètent, et les différents indicateurs issus des différents domaines sont confrontés a posteriori, ce qui pose des problèmes de compatibilité et rend la comparaison difficile. Ces approches, assez répandues en matière de gestion d'AMP sont pluridisciplinaires, au mieux interdisciplinaires (Tableau 9). Trop

souvent compartimentées, elles privent le gestionnaire d'une vision transversale de l'état de santé ou de la trajectoire de l'éco-socio-système. Par ailleurs ces derniers sont confrontés aux exigences quotidiennes de leur travail, ce qui les empêche de prendre du recul et de réfléchir aux résultats cumulatifs de leurs efforts (Pomeroy *et al.*, 2005). Aussi, dans les protocoles et les programmes, l'accent est mis ces dernières années sur la nécessité de révolutionner l'approche systémique en passant d'une démarche pluridisciplinaire largement répandue, à une démarche transdisciplinaire plus difficile à mettre en place. Cette démarche qui vise à "transcender les disciplines" consiste à repenser les protocoles des diverses disciplines en amont de leur déploiement, en vue de leur intégration. En ce sens elle révolutionne les principes de la collaboration scientifique en produisant un nouveau savoir partagé, une nouvelle spécialité scientifique (Tableau 9).

Tableau 9 - Typologie de la terminologie de la collaboration disciplinaire selon le degré d'interaction et le potentiel d'intégration de la démarche. Source : Jakobsen *et al.*, 2004.

Terme	**Sens**
Disciplinaire	Disciplines individuelles en tant que source de connaissance
Multidisciplinaire	Implication de plusieurs disciplines, sans interaction ou intégration des connaissances
Pluridisciplinaire	Interactions non-coordonnées entre plusieurs disciplines, potentiel limité pour l'intégration des connaissances
Interdisciplinarité unidirectionelle	Interactions entre plusieurs disciplines, avec domination par une seule discipline, qui contrôle par ailleurs le potentiel d'intégration des connaissances
Interdisciplinarité orientée	Interactions coordonnées entre plusieurs disciplines, guidées par la nature de la problématique, potentiel d'intégration centré sur cette problématique
Transdisciplinarité	Interactions et intégration coordonnées entre plusieurs disciplines, résultant dans la restructuration du savoir disciplinaire, et la création d'un nouveau savoir partagé

2.B.3.1. Des programmes scientifiques dédiés

Les objectifs fixés par la Convention sur la Diversité Biologique de mise en réseau des AMP implique la production d'indicateurs génériques dans le cadre de programmes nationaux, régionaux ou internationaux dont les protocoles sont consignés dans des manuels pratiques destinés aux gestionnaires. Au cours des 10 dernières années, deux programmes notables impliquant la France, menés à échelles nationale et internationale, ont eu vocation à trouver un cadre commun d'évaluation des AMP et l'intégration d'indicateurs socio-économiques aux plans de gestion.

Le projet Liteau PAMPA (Indicateurs de la performance d'aires marines protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leurs usages) qui intègre dans son intitulé le terme d'"usage", marquant fortement son implication dans la production d'indicateurs socio-économiques. Financé dans le cadre du programme Liteau III du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, ce projet qui s'est déroulé sur 3 ans entre 2008 et 2011 avait pour vocation de tester et valider des indicateurs de performance des AMP et de produire un cadre d'évaluation commun aux AMP. Coordonné par l'IFREMER[66], il a impliqué 8 laboratoires et 8 AMP de métropole et d'Outre-mer, et marque un tournant dans l'intégration des

[66] Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

problématiques socio-économiques (d'usages et de gouvernance) et les démarches pluridisciplinaires en matière d'évaluation d'AMP. Trois ensembles de métriques ont été constitués :

- les métriques écologiques sur les thèmes de la Conservation de la biodiversité et la Préservation des ressources halieutiques ;
- les métriques sur les usages sur les thèmes de la fréquentation (tous usages), des captures et captures par unité d'effort (CPUE) pour les activités de pêche, et des tailles (longueur ou poids) des poissons capturés ;
- les métriques de gouvernance sur les thèmes de la gestion et de l'acceptation sociale.

Le projet MedPAN Nord qui rassemble 12 acteurs de 6 pays méditerranéens du réseau MedPAN[67], vise à améliorer l'efficacité de la gestion des AMP et des sites Natura 2000 en mer et contribuer à leur mise en réseau selon les recommandations de la CDB. Dans l'une des composantes du programme, "Gestion durable du tourisme", au sein duquel les problématiques de fréquentation sont la clé de voûte, les laboratoires spécialisés à l'instar de Géomer (LETG UMR 6554) contribuent à l'élaboration d'indicateurs de suivis de la fréquentation.

[67] MedPAN est une association de gestionnaires d'AMP en méditerranée, elle est composée de 46 membres et 31 partenaires de 18 pays méditerranéens (http ://www.medpan.org)

Conclusion du chapitre 2

Dans un contexte général de forte occupation des espaces littoraux où l'établissement d'une Aire Marine Protégée tend à se superposer à des territoires de pratiques existants, des voix s'élèvent pour dénoncer le manque d'intégration des données socio-économiques aux plans de gestion des AMP. Pourtant structurants à l'échelle d'un territoire, les usages par l'Homme et les interactions Homme-milieu ne sont pas suffisamment pris en compte en amont des processus de mise en réserve des espaces marins, mettant ainsi en péril le succès de ces dispositifs. Au regard de ces nouveaux enjeux, des études de fréquentation, à l'accoutumée déployées dans des espaces fermés à des fins d'optimisation des stratégies d'aménagement, ont commencé à être déployées sur les espaces récréatifs. En milieu littoral, les premières études menées en France remontent au début des années 1990, et ont très tôt été adossées à des dispositifs de conservation.

Lancé en 2010, un vaste programme national de valorisation des études socio-économiques visant à repositionner les sciences humaines au cœur de la gestion des AMP a été lancé en France, visant à impulser des suivis de fréquentation et à asseoir les observatoires déjà existants. Souvent menés en collaboration avec les chercheurs, ces types de suivis contribuent, à la condition qu'ils soient pérennisés, à la production d'indicateurs socio-économiques intégrables aux plans de gestion. Ces derniers permettent de mesurer l'efficacité de l'AMP en termes de gouvernance, et lorsque la donnée quantitative est disponible, ils contribuent bien au-delà des enjeux purement socio-économiques à engager le dialogue avec les écologues sur le thème des interactions Homme-milieu et les problématiques d'impacts encore trop peu étudiées.

Chapitre 3. Le récif réunionnais entre conservation et pressions

Comme tout espace insulaire, La Réunion est le théâtre d'un fort endémisme. En 2010, 117 400 hectares étaient protégés car classés en réserves naturelles[68] (4 %), en réserves biologiques (28 %), en espaces protégés et inscrits (1 %), et en espaces remarquables du littoral (9 %). Près de 90 % des espaces protégés relèvent du Parc national, inscrit depuis juillet 2010 au titre de patrimoine mondial de l'Unesco. Parallèlement, La Réunion qui comptait selon les estimations de l'INSEE, 841 000 habitants au 1er janvier 2013, a connu un essor démographique dès la période post-départementalisation, au début des années 1980. Par un "effet de façade" caractéristique des îles australes favorisant un climat chaud et sec à l'ouest et pluvieux et humide à l'est, et du fait d'un relief très contraignant, le peuplement s'est établi principalement sur les côtes Nord, Ouest et Sud. La côte Ouest qui offre un climat plus clément, est longée par une ceinture discontinue de récifs coralliens qui participent à former un cadre privilégié pour le développement des activités nautiques et balnéaires.

Les Réunionnais étant traditionnellement assez peu tournés vers la mer, c'est l'arrivée de métropolitains venus participer au développement dès les années 1960 et l'avènement du tourisme facilité par la révolution des transports aéronautiques qui ont contribué à la naissance et à l'évolution du paysage des usages en lien avec l'écosystème récifal, et de la côte Ouest plus généralement. Dès lors, la société réunionnaise évoluant vers ce modèle héliotropique générique a vu une forte urbanisation côtière s'amorcer, colonisant jusqu'aux arrières-plages, privant ainsi parfois les usagers d'un accès aisé à la mer (Moya, 2000).

Au même titre que de nombreuses îles, La Réunion correspond à un territoire où les problématiques d'impacts liées aux interactions Homme-milieu sont donc naturellement plus exacerbées. En 2007, une AMP de type Réserve Naturelle Marine, la Réserve Naturelle Marine de La Réunion (RNMR) a été établie pour préserver le littoral récifal ouest. Sur cet espace se nouent des dynamiques antagonistes de développement (urbanisation, démographie et tourisme en hausse) et de conservation d'un milieu dont les premières dégradations sont rapportées depuis les années 1970 (Ribes, 1978 ; Bouchon, 1978). S'inscrivant dans

[68] En application de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 (art. L.241-1 et suivants du Code rural), les réserves naturelles sont des territoires classés pour la conservation de la faune, de la flore, du sol, des eaux, des gisements de minéraux et de fossiles, et en général, du milieu naturel.

une dynamique plus globale à l'échelle du réseau d'AMP français, le gestionnaire de la RNMR s'oriente peu à peu vers des démarches transdisciplinaires intégrant nécessairement les sciences humaines afin d'atteindre ses objectifs de conservation (GIPRNMR, 2012).

3.A. Un milieu récifal jeune et fragile

Par sa jeunesse, sa proximité à la côte et ses propriétés géomorphologiques, le récif frangeant que La Réunion abrite sur sa côte Ouest est à la fois riche, et fortement exposé aux pressions.

3.A.1. Contexte géomorphologique et climatique

La Réunion est une île volcanique de 2512 km² qui a émergé il y a 2,1 millions d'années, et s'est formée au cours des éruptions successives des massifs du Piton des Neiges (5 millions d'années) et du Piton de la Fournaise (530 000 ans). Comme pour le modèle Hawaiien, l'archipel des Mascareignes qui regroupe les îles de La Réunion, de Maurice, et de Rodrigues est issu d'un volcanisme de point chaud. La Réunion correspond au stade le plus jeune de ce processus géologique, et en tant qu'"île jeune", elle présente des reliefs abrupts et abrite un récif corallien essentiellement de type frangeant dont l'édification aurait commencé il y a 8 000 B.P. (Montaggioni, 1978).

3.A.1.1. Genèse et caractéristique des récifs frangeants

C. Darwin a identifié dès 1842 que les récifs frangeants correspondaient à un stage primaire d'évolution des récifs, auquel succèdent les stades plus avancés de récifs barrière, puis d'atoll (Figure 11 a.). Il a associé la naissance et l'évolution des récifs coralliens à la genèse et l'évolution îles volcaniques. Correspondant au stade dit "jeune" de l'évolution de l'île volcanique, le récif frangeant est soumis, corrélativement à l'île auquel il est attenant, à un phénomène de subsidence de double origine : une subsidence induite par l'affaissement de l'île sous son propre poids, et une subsidence inféodée aux processus tectoniques de subduction (Figure 11 a.). C. Darwin avait en revanche sous-estimé le rôle des variations du niveau de la mer et des héritages géomorphologiques dans les processus d'accrétion récifale[69]. À chaque fois que le niveau de la mer outrepasse les bordures d'un plateau continental sous les latitudes tropicales, un récif corallien se forme (Hubbard, 1997) si la vitesse d'accrétion du récif (taux de croissance des animaux bâtisseurs, les coraux) n'excède pas celui de la remontée du niveau des eaux. Bien que des variations géographiques existent de par la différence qui peut exister entre les variations de niveau de la mer durant l'Holocène et les différences de substrat, la plupart des récifs frangeants ont connu une période active de 7 000 à 5000 ans B.P., durant laquelle ils ont produit l'essentiel de leur structure.

Un récif frangeant se compose de trois ensembles : la pente externe, le front récifal, et l'arrière-récif. Le seuil de différenciation entre récif frangeant et récif barrière se joue sur la profondeur de l'arrière-récif ; dès lors que la profondeur excède 10 mètres, on applique le terme "récif-barrière" (Milliman, 1974) (Figure 11 b.). Les récifs frangeants existent sous différentes formes de transition, généralement identifiés sur la base de l'existence d'un chenal d'embarcation ou "*boat channel*" dans la littérature anglo-saxonne, identifié pour la première fois par A. Guilcher (Guilcher, 1988 ; Kennedy et Woodroffe, 2002). Ces chenaux d'embarcation sont généralement peu profonds (< 2 m), mais peuvent être plus importants dans un contexte où la zone intertidale est plus large et le marnage plus important (Guilcher, 1988), se traduisant parfois par des formes de type retenues d'eau épi-récifale (Figure 11 b.).

[69] L'accrétion récifale désigne le taux de croissance d'un récif corallien, lequel est fortement dépendant de plusieurs paramètres, géologique et météorologique, et plus particulièrement les variations du niveau de la mer.

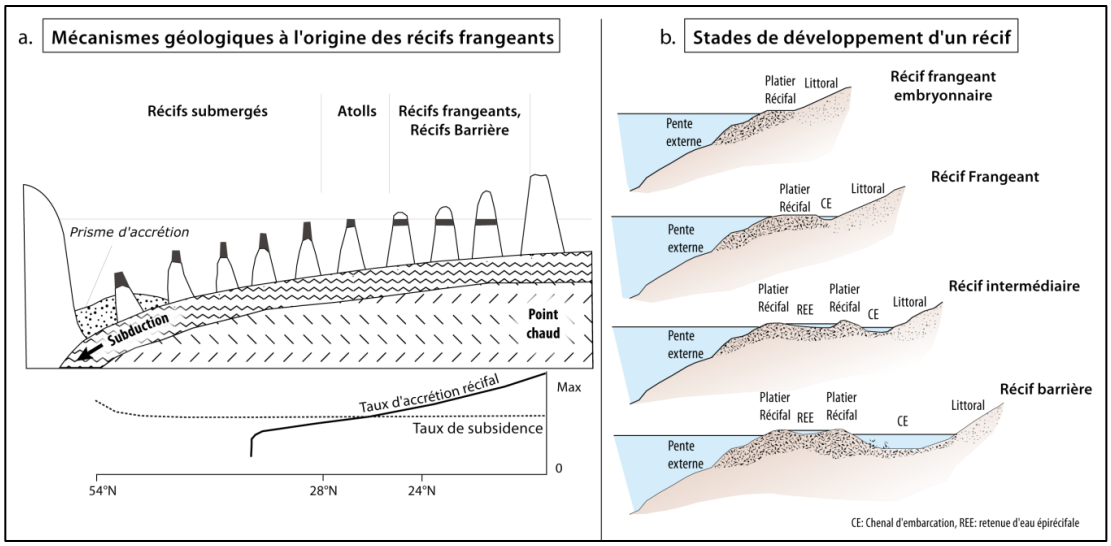


Figure II a. et b. - Mécanisme géologique à l'origine de la formation des récifs frangeants (a.), et stades de développement d'un récif (b.) (d'après Battistini *et al.*, 1975)

3.A.1.2 Les formations récifales réunionnaises

A La Réunion, les édifices récifaux se répartissent sur la côte Ouest abritée pour former une "ceinture" discontinue d'une longueur cumulée de 25 km. Du fait de l'étroitesse du plateau sous-marin inhérent à la nature volcanique de l'île, la profondeur limite à laquelle les coraux peuvent se développer est rapidement atteinte, ce qui se traduit par une faible largeur des édifices récifaux, de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres (Faure, 1982). La superficie totale couverte par des récifs est ainsi de l'ordre de 12 km², et l'indice récifal[70] est de 0,005 contre 0,15 pour Maurice ou 4 pour Mayotte (Tessier *et al.*, 2008). L'étroitesse du plateau sous-marin à l'est de l'île et le nombre et la fréquence des cônes alluvionnaires n'ont pas permis l'implantation des récifs (Faure, 1982).

On retrouve à La Réunion trois types de formations récifales (Montaggioni et Faure, 1980 ; Faure, 1982) (Figure 12 et Figure 13) :

- les plates-formes récifales caractérisées par une étroitesse de l'édifice (< 100 m), un platier récifal en continuité avec les formations littorales ou "frontolittorales", une absence de dépression d'arrière-récif. Elles correspondent au "récif frangeant embryonnaire" (ex : Grand-Fond, Souris-Chaude, Pointe des Châteaux). Elles occupent une surface de 85 ha et se localisent à Saint-Gilles nord, Cap Champagne, la Souris-Chaude, la Pointe des Châteaux, Colimaçons, Terre-Sainte au sud de Saint-Pierre, Grand-Bois et Grand-Anse.
- les récifs frangeants, plus larges, avec une différenciation morphologique du platier plus accentuée et la présence d'une dépression d'arrière-récif (DAR). Ils représentent 50 % des formations bioconstruites à La Réunion, dont les deux tiers sont le fait des complexes récifaux de l'Ermitage et de la Saline. Deux autres complexes de moindre ampleur se localisent à Saint-Leu, Saint-Pierre (environ 40 ha chacun) et l'Etang-Salé (30 ha).
- des bancs récifaux, correspondant à des dalles individualisées, "surfaces structurales de coulées volcaniques en position immergée" secondairement colonisées par les coraux, qui sont généralement de faible extension (2 à 5 m de large pour 10 à 30 mètres de long). Ils occupent

[70] Rapport entre la surface couverte par les récifs coralliens et la surface de l'île

une superficie de 130 ha répartis entre le Cap la Houssaye, Trois-Bassins et les Colimaçons à Saint-Leu (Figure 12 et Figure 13).

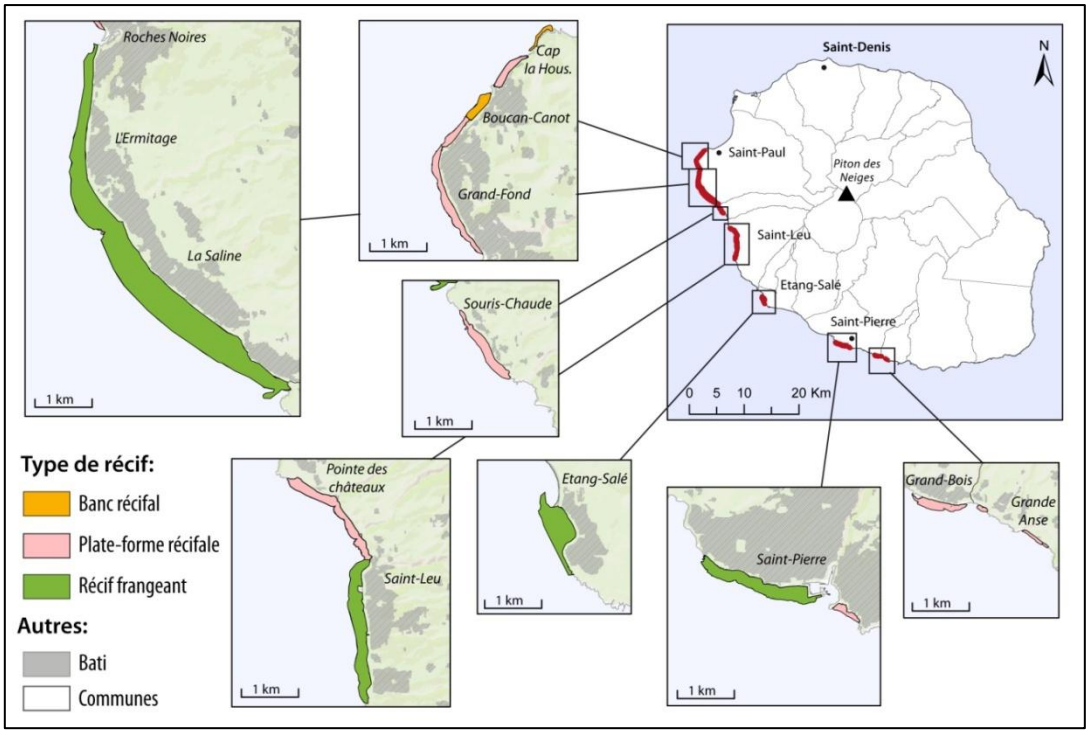


Figure 12 - Répartition des récifs coralliens de La Réunion et types morphologiques en présence.

Figure 13 - Passe de l'Ermitage et récifs frangeants de l'Ermitage et de la Saline (a., cliché du 19/01/2012), Bassin Pirogue ou le récif frangeant de l'Etang-Salé (b., cliché du 16/04/2010), plate-forme récifale de Grand-Fond (c., cliché du 2/07/2012) et banc récifaux de Boucan-Canot (d., cliché du 17/07/2012)

Quatre principaux édifices coralliens (Montaggioni et Faure, 1980 ; Faure, 1980) se distinguent en ce qu'ils sont homogènes sur le plan morphologique (récifs frangeants) et sur le plan des processus écologiques : les complexes récifaux de l'Ermitage-Saline, de Saint-Leu, de l'Etang-Salé et de Saint-Pierre.

3.A.1.2.1. Une zonation transversale

De la côte au large, des modifications d'ordre morphologique, biologique et écologique s'opèrent. Compte tenu des implications sur les plans scientifiques et de la gestion, une zonation transversale d'après des critères d'homogénéité morphologique et biologique a été proposée dès 1980 par L. Montaggioni et G. Faure à partir d'éléments de terminologie géomorphologique de Battistini *et al.* (1975) et largement reprise depuis par le corpus scientifique et les gestionnaires de l'AMP. Cette zonation se fait selon 4 grands ensembles décrits ici du large à la côte (Figure 14) :

- l'ensemble fronto-récifal ou pente externe, correspondant à la partie distale du récif en avant de la zone de déferlement, et formée d'éperons et de sillons. Formée par des constructions coralliennes et des dépôts sédimentaires à dominance bioclastique, elle s'étend jusqu'à -30 m et sa pente est variable en fonction des secteurs ;
- l'ensemble épi-récifal qui, émergé aux basses mers de vives-eaux, abrite une grande partie des constructions coralliennes. Il est sous-découpé en 2 parties :
    - Le platier externe qui correspond à la portion en avant du front récifal,
    - Le platier Interne situé en arrière du front récifal ;
- l'arrière-récif ou ensemble post-récifal que forment les accumulations sédimentaires des premiers mètres de la "dépression d'arrière-récif" ou chenal d'embarcation, et les constructions organiques éparses qui prennent le relais jusqu'aux 300 mètres de la ligne de rivage. Sa profondeur maximale est de 1,50 mètre et les colonies coralliennes y sont peu abondantes ;
- l'ensemble frontolittoral formé par les accumulations sédimentaires (les plages coralliennes), non bioconstruites et émergées aux basses mers, dont la largeur moyenne est de 200 mètres (Figure 14).

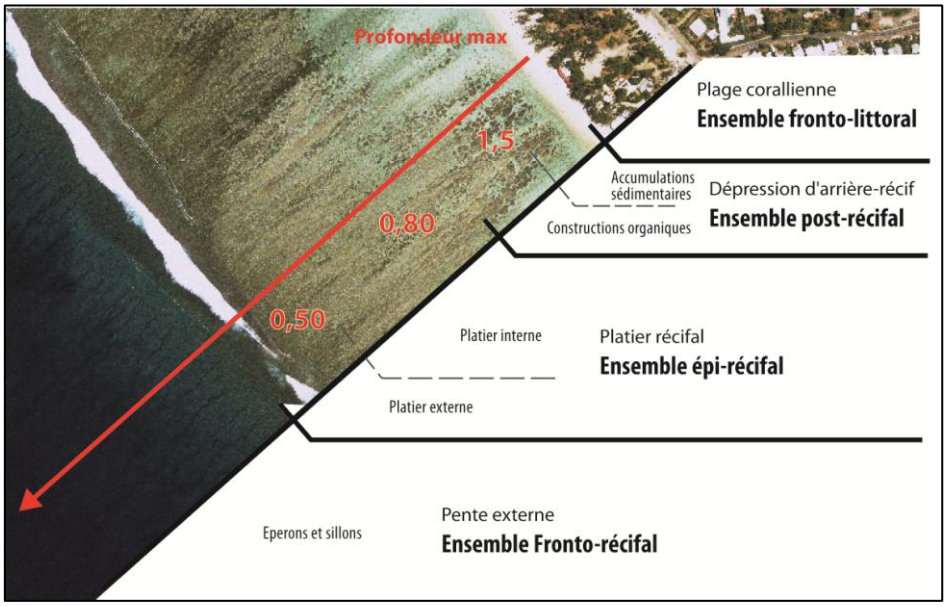


Figure 14 - Zonation transversale du récif frangeant réunionnais. À partir de Battistini *et al.*, 1975.

Ce découpage transversal se montre pertinent sur le plan biologique car il existe un gradient côte-large en termes de densité d'individus, de diversité et de richesse spécifique. Il est également pertinent sur le plan de la gestion puisque le gradient de profondeur et de densité des habitats contraint les usages, et n'implique par les mêmes enjeux en termes d'impacts. En effet, le platier se trouve à une faible profondeur d'eau, le rendant plus vulnérable aux impacts que dans des conditions de récifs-barrières où la profondeur est plus importante (jusqu'à 90 m pour le récif barrière de Mayotte). Les pentes externes, situées derrière le front récifal sont généralement plus épargnées par les pressions anthropiques car moins accessibles et plus profondes. À ce titre, elles sont un lieu privilégié de recrutement larvaire (Massé, 2014), et constituent des sites pilotes plus représentatifs pour étudier les impacts du changement climatique seul.

3.A.1.3. Morphologie côtière

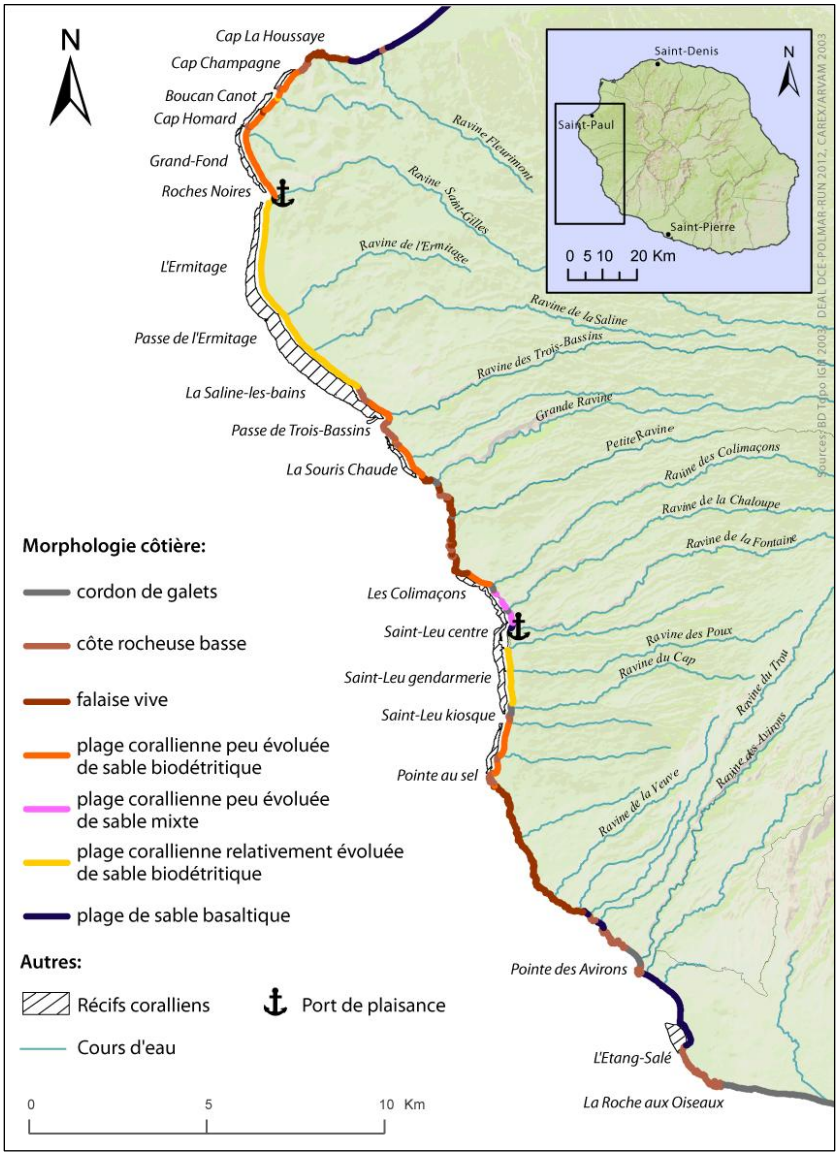


Figure 15 - Nature morphologique du linéaire côtier ouest.

Une assez grande variété de morphotypes de succèdent pour former le linéaire côtier ouest (Figure 15). Près de 45 % de la côte Ouest correspond à des plages de sable, tantôt peu évoluées (21 %) c'est-à-dire mélangées à des galets et de granulométrie importante, tantôt évoluées de type biodétritique, ce qu'on appelle aussi "plage corallienne" (17 %), ou encore des plages de sable basaltique noir (7 %). Ces plages sont entrecoupées entre elles par des portions relativement importantes de falaises vives (27 %) dont la plus importante s'étend entre la Pointe au Sel et les Avirons, et de côte rocheuses basses (22 %) notamment au sud de l'Etang-Salé ou au sud de Saint-Leu sur une faible portion.

Enfin, une infime portion du linéaire est formée de plages de cordons de galets (2 %) (Figure 15).

3.A.2. Un écosystème récifal en équilibre fragile

3.A.2.1. Un écosystème riche… mais fragile

Les récifs coralliens sont caractérisés par une grande richesse biologique mais reposent sur un équilibre subtil dicté par les conditions environnementales et biologiques spécifiques (Pothin, 2009). Bien que Doumenge (2000) affirme que les récifs frangeants se caractérisent par un peuplement marin pauvre aussi bien en espèces (diversité) qu'en individus (abondance) il serait impropre de parler de "pauvreté". En effet, comme tout récif, le récif frangeant remplit les mêmes fonctions vitales pour la faune et la flore. De nombreuses espèces commerciales de poissons se reproduisent au sein de l'écosystème récifal pour ensuite essaimer vers la pente externe où les ressources halieutiques sont assez limitées du fait de l'étroitesse du plateau continental et des dimensions réduites des zones récifales. C'est pourquoi on parle du rôle important de « nurserie » des formations récifales (Nagelkerken *et al.*, 2000).

De nombreux paramètres conditionnent l'établissement et le maintien en bonne santé d'un récif corallien (Tableau 10). Tout d'abord, la répartition des coraux à l'échelle du globe est contrainte à l'intérieur des isothermes allant de 18° à 36°C, avec une gamme optimale de 26°-28°C (Hubbard, 1997). Un certain seuil de salinité est également requis pour leur développement à savoir 3,3 à 3,6 %, et une oxygénation continue procurée en grande partie par l'action des vagues. L'hydrodynamisme influence par ailleurs fortement le recrutement corallien en imposant une sélection naturelle parmi les organismes et en fonction de leur capacité à survivre à des conditions turbulentes et par là même la zonation benthique à l'intérieur d'un récif (Hubbard, 1997). La lumière est également un paramètre important. Toutes ces contraintes impliquent que la répartition des récifs coralliens est circonscrite à la zone intertropicale entre les latitudes 35° nord et 32 ° sud (Birkeland, 1997).

Tableau 10 - Paramètres nécessaires à l'élaboration d'un récif. À partir de Birkeland (1997)

Température	> 20°C - optimum entre 25°C et 30°C pour permettre la calcification - maximum toléré 36°C.
Éclairement	Suffisant pour permettre l'activité photosynthétique mais pas trop élevé cependant
Profondeur	Fonction de la transparence de l'eau, limite inférieure de 50 m environ.
Mode	Nécessité d'un renouvellement des eaux (alimentation, respiration, dispersion des larves)
Salinité	De 35 pour mille (normale), maximum de 40, la dessalure est mal tolérée (apport d'eau douce).
Turbidité	Influe sur l'éclairement : des eaux claires sont nécessaires / l'apport de particules (hypersédimentation) étouffe les colonies coralliennes.
Substrat	Nécessité pour se fixer d'un substrat solide et stable et d'une surface suffisante.

En 2003 à La Réunion, un long travail de recensement commandé par le conseil régional a permis l'identification de 2832 espèces (Bourmaud *et al*, 2005) évoluant en milieu récifal dont :

- 160 espèces de coraux ;
- 1 000 espèces de gastéropodes ;
- 200 espèces de crustacés ;
- 60 espèces d'échinodermes ;

- 650 espèces de poissons.

Parmi elles, 209 espèces sont inscrites dans les diverses conventions internationales et régionales :

- 374 espèces sont sur la liste rouge de l'UICN (39,2 %)
- 18 espèces sont considérées comme en voie d'extinction régionalement (1,9 %)
- 115 espèces sont en danger (11,9 %) et 160 sont vulnérables (16,6 %).

La vulnérabilité des espèces précitées est accrue dans un contexte géomorphologique frangeant dès lors qu'elles évoluent dans un milieu de faible profondeur et à proximité à la côte, donc plus exposé. Les principaux phénomènes naturels et anthropiques pouvant porter atteinte à l'écosystème réunionnais (David, 2000 ; Gabrié, 1997 ; Pothin, 2009) sont, à échelle locale :

- les événements météo-marins paroxystiques associés ou non à un phénomène cyclonique/tempête, à savoir i) les fortes précipitations exceptionnelles qui présentent un danger par l'apport d'eau douce et la mobilisation des sédiments accumulés, et sont particulièrement importantes en milieu tropical durant la saison humide, soit l'été austral, et ii) les surcotes et décotes marines liées à des régimes de houle locales, au régime de marée ou à des phénomènes cycloniques qui peuvent affecter la structure récifale et les plages ;
- les élévations de la température qui résultent d'épisodes d'anomalies climatiques (El Niño). Elles provoquent le blanchissement lequel donne suite dans une majeure partie des cas à une forte mortalité du corail, ci ce dernier se prolonge ;
- Les invasions biologiques, mais dont l'ampleur reste faible ;
- les impacts de l'Homme, qu'ils soient directs (activités nautiques, prélèvement dans la ressource, etc.) ou indirects (urbanisation, rejets d'eaux usées, apport de nutriments des bassins-versants, etc.).

À échelle régionale :

- se produit, des effets combinés Homme-nature, un réchauffement de la température de l'atmosphère et de l'eau du fait des changements climatiques globaux, qui menace à long terme la survie des coraux qui auront vraisemblablement des difficultés à s'acclimater au rythme séculaire de 1°-2°C d'élévation de température (Hoegh-Guldberg, 1999 ; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007) ;
- se nouent des problématiques d'acidification des océans liées à l'absorption du CO^2 émis par les activités humaines (combustion de carburants fossiles, déforestation, etc.) qui affecte les organismes calcifiants (coraux durs) en les privant de minéraux de carbonates (Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique, 2010), phénomène auquel La Réunion n'échappe pas.

3.A.2.2. Contexte hydroclimatique et risques associés

Pour les îles australes et tropicales, le poids hydroclimatique est fort. Elles sont soumises à de grands phénomènes zonaux atmosphériques et océaniques, produites par le phénomène de redistribution de l'excédent énergétique accumulé aux basses latitudes. Les cellules dites de "Walker" qui régissent la circulation océano-atmosphérique en zone intertropicale produisent le système des vents d'alizés qui induisent une dichotomie caractéristique de ces zones : du fait de son relief caractéristique des îles jeunes et à partir de 1600 m, on assiste à un "effet de façade" qui aboutit à une différence entre deux régions pluviométriques, l'une humide (région au vent) et l'autre plus sèche (région sous le

vent) (Robert, 2003). La façade Ouest est donc de ce fait moins arrosée, et c'est à Saint-Gilles-Les-Bains qu'il pleut le moins : 525 mm/an (Soler, 1997).

Si l'apport en eau douce est donc peu important en termes de fréquence dans la région Ouest, le moindre épisode de fortes pluies a des implications sur le récif. En effet, le sol peu végétalisé et une urbanisation devenue importante (cf. chapitre 3.B) induisent des capacités de rétention et d'absorption faibles, et donc un apport d'eau douce important en aval. Par ailleurs, compte tenu de la rareté des précipitations, les sédiments s'accumulent dans les bassins-versants, ce qui résulte dans un apport terrigène important à la première pluie, ou par infiltration d'eaux souterraines (Join *et al.*, 1988). Facteurs d'eutrophisation des coraux[71], ces apports en eaux douces chargés en particules fines induisent une recrudescence des algues et une réduction de la calcification des coraux (McLaughlin *et al.*, 2003 ; Fabricius, 2005 ; MacClanahan et Obura, 1997). En outre, le dégorgement des ravines a un impact non négligeable sur l'érosion des plages (Gabrié et Montaggioni, 1985).

L'été Austral qui s'étend de novembre à avril correspond à une période de forte activité cyclonique, et par sa position, La Réunion est souvent effleurée par les cyclones en "fin de course océanique" (4 alertes cycloniques entre 2012 et 2015 : Béjisa, Felleng, Dumilé, Bansi). Aussi, les cyclones dommageables ou destructeurs sont peu nombreux, causant néamoins des fortes précipitations ainsi que des forts vents. Des effets indirects mais non moins dommageables sont induits par les fortes pluies dont l'apport d'eau douce modifie les propriétés physico-chimiques des eaux marines et provoquent l'asphyxie des coraux. Les cyclones ont également des répercussions écologiques, impliquant des changements dans le peuplement, la composition des communautés, notamment dans un contexte où des espèces se montrent plus opportunistes que les autres et progressent plus vite (Naim *et al.*, 2000 ; Gardner *et al.*, 2005).

En somme, La Réunion est soumise de par sa position en zone tropicale à des événements météo-marins paroxystiques liées au risque cyclonique, aux fortes houles et aux surcotes marines. Dans tous ces cas, des événements ont des implications pour la vie récifale, impactant soit sa structure (fortes houles cassant les colonies coralliennes), soit affectant les paramètres environnementaux déterminant leur survie (salinité, luminosité, oxygénation, etc.).

3.A.2.2.1. Régimes de houle

Trois régimes de houle existent à La Réunion, dont les impacts peuvent être conséquents sur la structure du récif comme pour les plages. D'après Troadec (1991), on distingue :

- les houles d'alizés qui sont les plus fréquentes, davantage présentes pendant la saison hivernale, d'avril à octobre. Elles touchent essentiellement le quart sud-est de l'île et leur influence sur les zones coralliennes est faible ;
- les houles australes de très grande longueur d'onde liées au passage de dépressions polaires lointaines, et qui abordent l'île par le quart sud-ouest. Elles peuvent de façon exceptionnelle avoir un effet néfaste sur les structures coralliennes ;
- les houles cycloniques qui peuvent avoir un effet catastrophique sur les structures récifales et par l'apport en eau douce et en matière turbides induites par les fortes pluies qui l'accompagnent et dont la récurrence est de l'ordre de 1 à 3 fois par an (Faure, 1982).

[71] Phénomène qui résulte de l'apport en excès de substances nutritives (azote et phosphates) depuis les bassins versants ou les rejets d'eaux usées

Les houles engendrées par les cyclones induisent des impacts qui sont principalement d'ordre mécanique. Comme démontré par M.L. Harmelin-Vivien et P. Laboute (1986) qui rapportent 50 à 100 % de pertes suite à la série de 6 cyclones qui ravagèrent la Polynésie Française entre 1982 et 1983, les impacts croissent avec la profondeur à laquelle sont implantées les communautés de coraux, ce qui explique que les habitats situés en pente externe sont souvent plus impactés que les habitats de platier récifal.

3.A.2.2.2. Marées exceptionnelles et risques d'exondation

Figure 16 - Le récif de l'Ermitage sub-affleurant lors de l'épisode de marée basse exceptionnelle du 5 mai 2013.

La Réunion est soumise à une marée semi-diurne, avec une inégalité diurne. L'amplitude des marées est assez faible, de 0,1 en mortes eaux à 0,9 m en vives eaux, bien que des phénomènes de surcotes puissent survenir exceptionnellement (Cordier, 2009). Ces marnages sont caractéristiques des îles océaniques.

Le risque d'exondation à La Réunion existe, davantage du fait de la faible profondeur du platier que par l'amplitude locale du marnage. Si l'écosystème est habitué à subir de telles variations, il n'est en revanche pas adapté aux phénomènes de piétinement que les marées basses exceptionnelles favorisent (Hannak *et al.*, 2011). Un récif "à nu" est en effet pour de nombreux usagers, une invitation à l'exploration (Leujak et Ormond, 2008) (Figure 16).

3.A.2.3. Un milieu sous contrainte en contexte de changements climatiques

En complément des risques précités, les coraux réunionnais sont en proie à un stress lié à la variabilité climatique, notamment l'élévation de la température de la mer, estimée à 0,08° C en moyenne sur la décennie 2000 (Conand *et al.*, 2007). La température de l'eau est un élément indispensable au bon développement des coraux. Des changements drastiques dans la température peuvent induire une réduction de la vitalité corallienne, et donc le blanchissement, l'inhibition reproductive, l'extrusion des zooxanthelles et du mucus et une diminution du rapport photosynthèse/respiration, voire dans des cas plus extrêmes à la destruction totale d'un complexe récifal (Grigg et Dollar, 1990 ; Hubbard, 1997 ; Burke *et al.*, 2011).

Bien que les coraux de La Réunion aient été peu touchés par l'épisode ENSO 1997-1998, comparés à ceux de Mayotte et des Seychelles, ils ont blanchi de façon récurrente depuis 2001. De tels épisodes ont été rapportés en 2001, 2003, 2004, 2005, 2009 (Turquet *et al.*, 2001 ; Turquet *et al.*, 2003 ; Nicet et Turquet, 2004 ; Guillaume *et al.,* 2005 ; Nicet *et al.*, 2009) et 2012. Dans le dernier rapport du Groupement International d'Experts sur le Climat (GIEC), les prévisions sur l'élévation du niveau marin ont été revues à la hausse, de +26 à +82 cm d'ici à 2100. D'après les modèles, les températures devraient augmenter sur une fourchette comprise entre 0,3°C et 4,8°C[72]. Ces changements devraient se traduire par une augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements météo-marins paroxystiques et donc une plus importante récurrence des épisodes de blanchissement et une

[72] Site internet du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ; www.ipcc.ch

érosion accrue des plages (Petit et Prudent, 2008). Certains évoquent même la disparition probable des récifs coralliens dans l'Océan Indien d'ici 20 à 30 ans (Sheppard, 2003).

En outre, le risque d'acidification se trouve accru en cas d'élévation de la température. L'océan joue le rôle d'un puits à carbone, en absorbant près d'un quart du dioxyde de carbone (CO^2) émis dans l'atmosphère par la combustion de carburants fossiles, la déforestation, et l'activité humaine dans son ensemble, ce qui a pour effet de modifier l'équilibre chimique des océans en les rendant plus acides, ce qui a pour effet de perturber le cycle du carbone et d'empêcher la synthétisation du calcaire, processus à l'origine de la croissance du corail. Cette acidité s'est accrue de 30 % depuis la révolution industrielle, 250 ans en arrière, et pourrait atteindre les 150 % d'augmentation d'ici à 2050 (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010).

3.A.3. Un écosystème déjà dégradé

Le récif réunionnais comporte plusieurs types d'ensembles bioconstruits, dont la sensibilité est variable. Dans les années 1980, C. Gabrié (1989) identifiait 3 niveaux de sensibilité intrinsèque au milieu récifal :

- les zones "peu sensibles" regroupant les zones "reliques" où la bioconstruction n'est plus active ;
- les zones dites "sensibles" appartenant à l'ensemble épi-récifal (improprement appelé "lagon"), la bioconstruction est active mais son rôle n'est pas essentiel ;
- les zones "très sensibles" à protéger en priorité, essentielles pour la vie récifale, à la forte vulnérabilité et à la faible résilience, incluant les herbiers, les platiers compacts, à éléments jointifs et les pentes externes.

On enregistre dès les années 1970 à La Réunion les premiers signes de dégradation du milieu récifal. C. Bouchon (1978) relate dans sa thèse d'Océanographie les premiers signes de dégradation biologiques sur le complexe récifal de la Saline. Au début des années 1980, les premières voix s'élèvent pour alerter sur une baisse notable de la couverture corallienne, et leur supplantation par des algues et des peuplements opportunistes (Faure, 1982). Dans le même temps, alors que l'urbanisation de la côte Ouest se fait croissante, le manque d'un plan d'assainissement et de stations d'épuration commence à se faire sentir, et les premières études portant sur l'étude des processus d'eutrophisation sont lancées (Naïm *et al.*, 1988). La petite taille des récifs réunionnais et leur proximité à la côte, les exposent tout particulièrement aux pressions anthropiques. Une fréquentation balnéaire toujours plus croissante, la forte urbanisation du littoral, le déversement de polluants liés à l'agriculture ainsi que l'absence d'un système d'assainissement adapté contribuent à la dégradation de ces structures récifales fragiles (Tessier *et al.*, 2008). Ahamada *et al.* considéraient que la moitié des récifs coralliens de La Réunion étaient dégradés au début de la décennie 2000, et que le recouvrement corallien avait diminué d'environ 55 % à 32 % entre 2000 et 2007 (Ahamada *et al.*, 2008).

De la même façon, les ensembles fronto-littoraux à savoir des plages et arrière-plages subissent les effets des changements globaux et des pressions locales. Depuis quelques décennies, les experts observent un recul effectif du trait de côte, un phénomène visible à l'affleurement des grès de plage, à l'affouillement des murs ou la mise à nu des systèmes racinaires des arbres. Selon R. Pedreros *et al.* (2002), 21,6 % des plages de l'ouest seraient en érosion faible et 11,8 % en érosion prononcée, près de la moitié des plages affichant une certaine stabilité et la partie restante étant en transition. L'OSU-R (Observatoires des Sciences de l'Univers de La Réunion) a investi la thématique à travers sa station

côtière, afin de normaliser et pérenniser le suivi des plages et du trait de côte en intégrant en 2012 le Système d'Observation et d'Expérimentation au long terme dédié à la Recherche en Environnement (SOERE) « trait de côte » dédié au suivi des plages et labellisé par AllEnvi (Alliance nationale de Recherche en Environnement). Les plages de la Saline et l'Ermitage ont par la suite en 2014 été labélisées par l'INSU[73] dans le cadre du Service National d'Observation : SNO-Dynalit).

3.B. Un littoral récifal fortement anthropisé

Déjà, au début des années 1950, certains auteurs avaient su reconnaître le potentiel attractif de l'île de La Réunion. Longtemps enclavée, isolée de la métropole, cette colonie française devenue Département d'Outre-Mer en 1946 a connu un développement fulgurant à partir des années 1970. La révolution aéronautique qui a marqué la décennie 1970 a contribué par un raccourcissement des distances-temps à l'intégration progressive sur les plans économique (tourisme) et politique de ces espaces français ultramarins à la métropole et à l'Europe. Le développement a été marqué par une urbanisation intensive des marges littorales, notamment la côte Ouest par ailleurs fortement attractive pour ses atouts balnéaires. Les récifs coralliens ont donc dès cette époque été confrontés à deux types de pressions : les pressions anthropiques indirectes issues des bassins-versants dont les propriétés se sont vues modifiées sous les effets de l'urbanisation, et les pressions anthropiques directes exercées à même le récif (David *et al.*, 2006 ; Mirault, 2006 ; David *et al.*, 2009)

3.B.1. Un développement dissymétrique hauts/bas et est/ouest

3.B.1.1. Contexte socio-économique général : une dissymétrie est-ouest

Au 1er Janvier 2011, 828 600 habitants vivaient à La Réunion. Sur le plan démographique, ce DOM-TOM est aujourd'hui très exactement la 3ème région française la plus dynamique après la Guyane et la Corse. Ainsi, la population moyenne augmente de 1,2 % chaque année depuis 2006. Cette croissance est le fait d'un solde naturel qui fait croître la population de 1,3 % par an et compense un solde migratoire légèrement négatif (-0,1 %)[74]. Cette prévalence des départs sur les arrivées est le fait d'une partie jeune de la population qui rejoint la métropole pour se former, voire pour y travailler et s'installer. Ces dynamiques démographiques ne sont pas homogènes à l'échelle du territoire réunionnais. A l'échelle des micro-régions, on constate un accroissement plus important dans l'Ouest (+1,2 %), l'Est ou le Sud (+1,4 %) par rapport au Nord (+0.8 %)[74]. Certaines communes enregistrent des taux de croissance très importants, les plaçant en tête des communes les plus dynamiques de France, telles que la Possession, la Plaine-des-Palmiste ou les Avirons.

Fonctionnant à l'époque coloniale par une économie primaire essentiellement basée sur la culture de la canne à sucre, La Réunion a connu une transition du secteur primaire au secteur tertiaire avec la départementalisation en 1946. Ce passage à une économie de services est soutenu par la consommation toujours plus croissante des ménages (Doumenge, 2000), et La Réunion connait depuis les années 1970, un développement économique très dynamique. Ce dernier s'est réalisé essentiellement sur les franges littorales de l'île opérant ainsi une dichotomie économique hauts/bas. L'implantation historique des réseaux de communications on principalement profité aux côtes Ouest et Nord. Aussi, on observe en matière d'urbanisation, de peuplement, et de dynamisme économique de façon plus générale, une dissymétrie Est/Ouest.

[73] Institut National des Sciences de l'Univers, CNRS.
[74] Site internet de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques ; www.insee.fr

Le tourisme à La Réunion a été relativement tardif. Il a fallu attendre l'amélioration de l'industrie aéronautique pour que l'industrie touristique commence, elle, à se développer. Dans années 1950 rares étaient ceux qui se rendaient dans "cette île fortunée", puisqu'à un mois de mer de l'Europe, et située très à l'écart des grandes lignes du trafic maritime mondial, handicapant ainsi longtemps l'île de La Réunion sur le plan touristique (Aubert de la Rue, 1956). Ces dernières années, malgré les quelques fluctuations imputables aux crises du chikungunya en 2006, le tourisme à l'île de La Réunion est en constante augmentation. Bien qu'essentiellement d'origine métropolitaine et affinitaire (de 30 % en 1998 à 53 % en 2009), il tend à se diversifier, l'année 2010 ayant été marquée par une augmentation de 12 % de la fréquentation par touristes en provenance de l'Union Européenne. Au premier semestre 2013, la fréquentation touristique affichait un retrait de 10 % par rapport au premier semestre 2012, imputable pour certains à la crise économique qui touche la métropole, mais aussi à la suppression de plusieurs dessertes au départ de La Réunion. Pour d'autres, ce recul du tourisme serait imputable à la "crise requin"[75] qui touche l'île depuis la fin 2011. Cette attractivité touristique profite surtout à la région ouest qui concentrait en 2010 près de 50 % des chambres d'hôtel à La Réunion (TER, 2011). Bien qu'à La Réunion 7 des 12 principaux lieux de visite fréquentés par au moins un tiers des touristes non-résidents se situent dans les hauteurs de l'île, 80 % d'entre eux se sont se sont rendus à la plage au moins une fois pendant leur séjour (Mirault, 2006).

3.B.1.2. Une ouverture culturelle tardive sur la mer

Il est une expression bien connue des Réunionnais, un constat longtemps avéré par ailleurs, consistant à dire des Réunionnais qu'ils "tournent le dos à la mer". Selon Doumenge (1984a) c'est le cas pour beaucoup de sociétés insulaires. Cette désaffection pour la mer et son exploitation trouve ses origines dans l'histoire politique et coloniale de l'île, mais également dans les caractéristiques physiques hostiles du milieu littoral au plateau continental étroit offrant peu de points d'ancrage, étant en proie à la forte houle (Mirault, 2006). Le fait que La Réunion a beaucoup tardé à se doter d'un port y est peut-être aussi pour quelque chose. A en croire C. Wanquet cité par R. Lucas (2004), cette absence a fait durablement "*percevoir la mer à La Réunion, plus comme un obstacle qu'une ouverture*", renforçant par là un sentiment d'hostilité. À l'époque coloniale, la mer a non seulement constitué une porte d'entrée mais également de sortie pour les esclaves fuyards, forçant les colons à les tenir éloignés du littoral et des rares barques (Mirault, 2006).

En tant que côte abritée des alizés, la côte Ouest offre un climat et un cadre attractifs qui rendent propices la pratique d'activités balnéaires. Elle polarisait en 2006 tous les centres d'activité de plongée sous-marine, avec 66 % d'entre eux implantés sur les deux seuls sites de Saint-Gilles-les-Bains et Saint-Leu en 2006 (Mirault, 2006). Historiquement, les relations qu'entretiennent les Réunionnais avec la plage et le récif sont culturellement ancrées dans les pratiques de pêche traditionnelle à pied de pique-nique dominical en arrière-plage. Dans une île où le taux de chômage est 3 fois supérieur à la moyenne nationale, (27,2 % contre 9,1 % en 2009)[76] aller à la plage est le moyen le moins cher pour une partie des classes sociales basses et moyennes de passer un dimanche d'été (Breton *et al.,* 1996). À partir des années 1960 avec l'arrivée des premiers VATS (Volontaires à

[75] La crise requin est le nom donné au climat social et politique qui s'est installé suite à une augmentation soudaine de la fréquence des attaques de requins dès le premier semestre 2011. L'attaque qui a couté la vie à Mathieu Schiller le 19 septembre 2011 marque le début de la crise avec la naissance des premiers arrêtés préfectoraux et municipaux de baignade et une crise économique touchant les commerces balnéaires.

[76] Tableau Economique de La Réunion, (TER, 2011)

l'Aide Technique), les nouvelles pratiques et une utilisation plus récréative des côtes récifales s'instaurent et se démocratisent.

Dans le même temps, le développement économique et l'amélioration du niveau de vie ont favorisé l'installation des premières villégiatures, marquant a commencé ce que certains auteurs ont qualifié de "ruée vers l'ouest" (Mirault, 2006). Cette revalorisation tardive des atouts balnéaires a impliqué une organisation de l'espace "sauvage" reflétant les modes d'occupation spécifiques à une population fortunée d'origine métropolitaine pour la plupart : grandes villas, espaces privatisés (parfois abusivement), servitudes et lotissements privatisés (Moya, 2000). Les constructions ont grignoté année après année le haut de plage, faisant du linéaire côtier du lagon un mur d'urbanisation opaque et impénétrable, réduisant l'accessibilité des plages à peau de chagrin.

3.B.1.3. Le 20ème siècle marqué par le début de l'urbanisation littorale

La Réunion est une île qui a été très tôt aménagée, au point qu'en 1956 déjà, E. Aubert de la Rue dans son ouvrage sur les îles tropicales, fait l'apologie de l'île Bourbon, en mettant en avant "les prodiges d'adresse" des Hommes à l'instar des "routes excellentes", et du fait qu'il est déjà possible à l'époque de rallier Salazie, Mafate ou Cilaos "en auto" (Aubert de la Rue, 1956). Les contraintes physiques dictées par le relief escarpé de l'île ont largement déterminé un développement sur les franges littorales. En 1854 sont lancés les travaux de la première route du littoral sous tunnel qui sera remplacée par le tracé actuel de la route du littoral longeant la falaise et livrée en 1963. La construction d'un chemin de fer est entreprise pour rallier Saint-Benoît à Saint-Pierre, et achevé en 1882, desservant 8 gares sur 125 km de voies. Son tracé privilégiant la côte Ouest, aura un effet déterminant sur l'organisation future du territoire, conditionnant l'emplacement du futur réseau routier primaire. La première route nationale venue supplanter le chemin de fer au début du 20ème siècle longe le littoral créant ainsi d'emblée une coupure physique entre la mer et l'arrière-pays.

Aujourd'hui à La Réunion, on peut parler de littoraux densément peuplés. On y assiste, comme partout ailleurs, à cette course effrénée pour une proximité à l'océan, quitte à parfois privatiser de façon abusive (Moya, 2000). La densité de population y atteignait 344,5 hab/km² en 2006[77], laquelle est plus prégnante sur sa côte Ouest, le long des récifs coralliens. Cette pression démographique localisée s'est accrue depuis 25 ans du fait des effets combinés d'une forte attractivité due à des conditions climatiques favorables (faible pluviosité et fort ensoleillement) et à ses atouts balnéaires (David, 2000). En 2004, 75 % des populations étaient établies sur le littoral (Cazes-Duvat et Paskoff, 2004). Ces changements de pratique, cette attractivité nouvelle et les nouveaux enjeux économiques qui l'accompagnent ont insufflé la mise en place de nouvelles politiques de gestion destinées à rendre plus accueillant le littoral récifal ouest. Le Comité du Tourisme de La Réunion (CTR) créé en 1989 initie le programme de calibrage des plages qui vise à ôter les débris coralliens grossiers et les enfouir, afin de mieux répondre aux standards de l'image d'Épinal de la plage tropicale. Ces mesures contribueront d'ailleurs grandement à l'érosion constatée des plages (Gabrié et Montaggioni, 1985). Finalement, au début des années 1980, de nombreux rapports commencent à relever la forte occupation du littoral, la course effrénée à la mer qui induit des pollutions diverses et une ségrégation sociale territoriale (Anonyme, 1980).

[77] Institut Français de l'ENvironnement. Densités calculées à partir des populations des communes littorales, [URL: http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/]

3.B.2. Problématiques de bassin-versant : approche intégrée

Du fait que La Réunion est une île jeune, et du fait de son relief abrupt, elle est le théâtre d'importantes dynamiques de surfaces. La côte Ouest sous le vent qui est plus particulièrement en proie aux épisodes répétés de sécheresse, a également connu ces deux dernières décennies une urbanisation importante et l'augmentation des terres mises en cultures. Tous ces changements impliquent des modifications dans la nature des écoulements aux premières pluies (turbidité accrue, modification des lits, etc.), fortement chargés en particules (Figure 17). Comme évoqué en partie 3.A.2., un apport trop important en matières terrigènes et en eaux douces peuvent causer la mort par asphyxie des coraux. C'est pourquoi il a été intégré aux principes de la GIZC qu'on ne peut envisager d'élaborer des plans de gestion, et assurer le maintien des écosystèmes sans intégrer les bassins-versants aux suivis (David, 1998 ; Meur-Férec, 2007b ; David *et al.,* 2009).

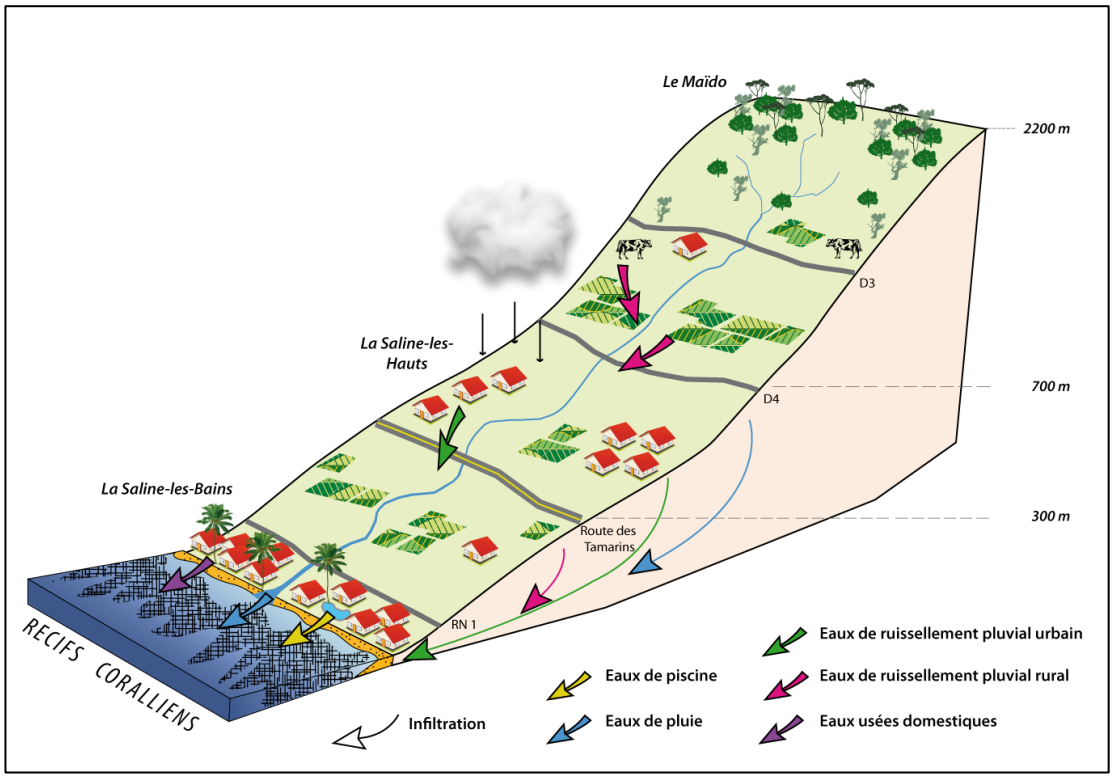


Figure 17 - Illustration schématique des pressions en provenance du bassin-versant. Coupe le Maido/la Saline-les-Bains.

3.B.2.1. Une urbanisation progressive du bassin-versant

On assiste depuis la fin de la départementalisation en 1946 à l'accélération des dynamiques urbaines à La Réunion. Ces dernières sont liées à l'augmentation démographique, une croissance et une tertiarisation de l'économie. L'attachement à la "caze", maison individuelle et son carré de jardin, explique en partie que la ville réunionnaise soit peu dense (Lajoie et Hagen-Zanker, 2007). Selon Lagabrielle *et al.*, (2007) dont l'étude a permis de fournir des données quantitatives sur les processus d'urbanisation, la tâche urbaine s'est accrue de 157 % entre 1989 et 2011 (Figure 18). Cette croissance s'est localisée à proximité des axes de circulation primaires (routes départementales et nationales).

Alors que l'île comptait 828 600 habitants au 1er Janvier 2011 et qu'elle était estimée à 840 000 au 1er Janvier 2013[78], et les projections planchent sur 1 061 000 d'ici à 2040 (TER, 2011). D'après l'INSEE (TER, 2011), Saint-Paul arrivait en tête des communes en termes de croissance démographique avec 15 400 habitants supplémentaires entre 1999 et 2008. Pourtant il semblerait que la contribution de la micro-région ouest à l'étalement urbain à La Réunion depuis 1989 n'est pas significative, les bassins Est et Sud contribuant plus fortement à cet étalement urbain. (Lagabrielle *et al.*, 2007). Le modèle de croissance urbaine développé par G. Lajoie et A. Hagen-Zanker (2007) planche sur une croissance de la tâche urbaine de 60 % d'ici à 2030 d'après le scénario de l'"urbanisation contenue", et de 30 % dans le scénario de la densification, une projection venant accroître davantage l'effet d'imperméabilisation des bassins-versants. Rappelons ici que les effets d'imperméabilisation associés à une densification et une extension de l'urbanisation se traduisent par un taux d'absorption réduit et par une augmentation de l'importance et de l'occurrence des flux et inondations (Hollis, 1975).

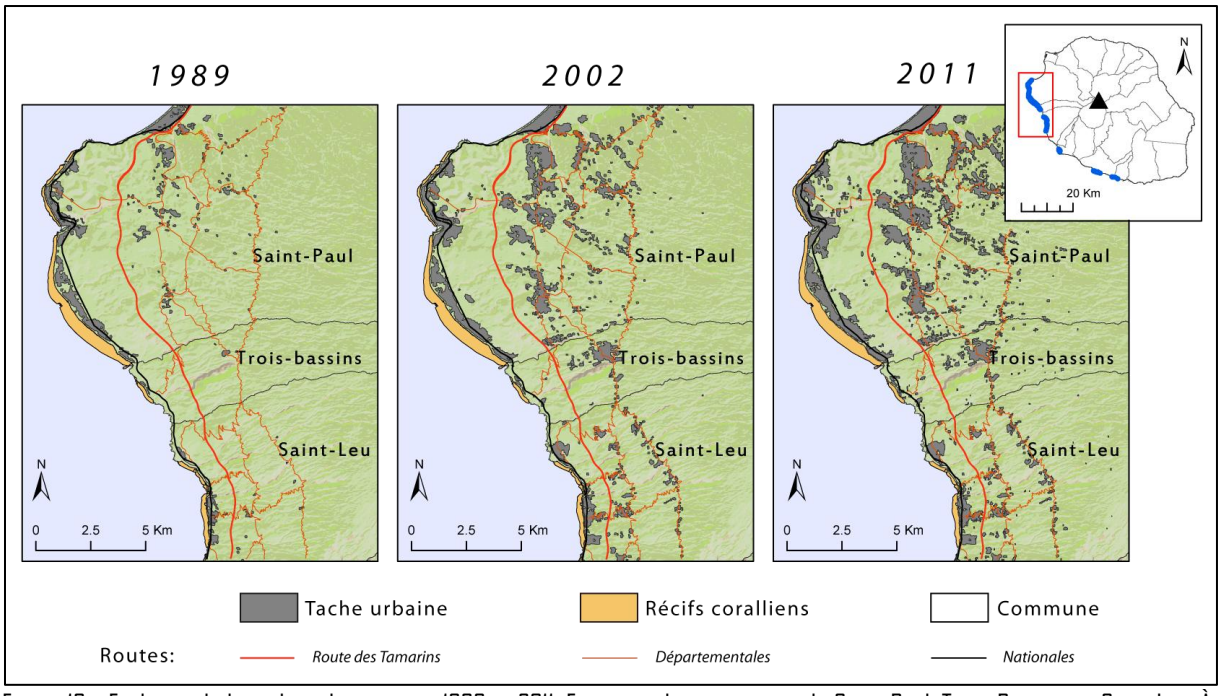


Figure 18 - Evolution de la tâche urbaine entre 1989 et 2011. Focus sur les communes de Saint-Paul, Trois-Bassins et Saint-Leu. À partir de Lagabrielle *et al.*, 2007

3.B.2.2. Pressions liées aux activités agricoles

À La Réunion, où le relief est contraignant, la surface agricole utile occupe 18 % du territoire, une part qui décroit peu à peu sous la pression foncière (TER, 2011). Comme il a été décrit précédemment, le relief prononcé de La Réunion a favorisé une opposition Est-Ouest dans le bilan pluviométrique. Aussi, afin de combler ce déséquilibre pluviométrique, le transfert des eaux d'est en ouest pour la mise en valeur agricole de la côte sous le vent a toujours été une priorité des politiques publiques dont les objectifs affichés sont un soutien au secteur agricole, la relance de la production de canne à sucre et la promotion de cultures de diversification (Fusillier et Saqué, 2003). Progressivement les communes de l'Ouest récifal que sont Saint-Paul, Trois-bassins, Saint-Leu, les Avirons et l'Etang-Salé, se sont pourvues de terrains cultivables pour atteindre 21,67 % de la surface

[78] www.insee.fr , "La Région et ses départements" [URL: http://www.insee.fr/fr/regions/reunion/reg-dep.asp?theme=2]

communale cumulée en 2012. La commune qui possède la plus grande surface de terres agricoles est Saint-Leu, avec 31,12 % de sa surface en culture en 2012 (Figure 19).

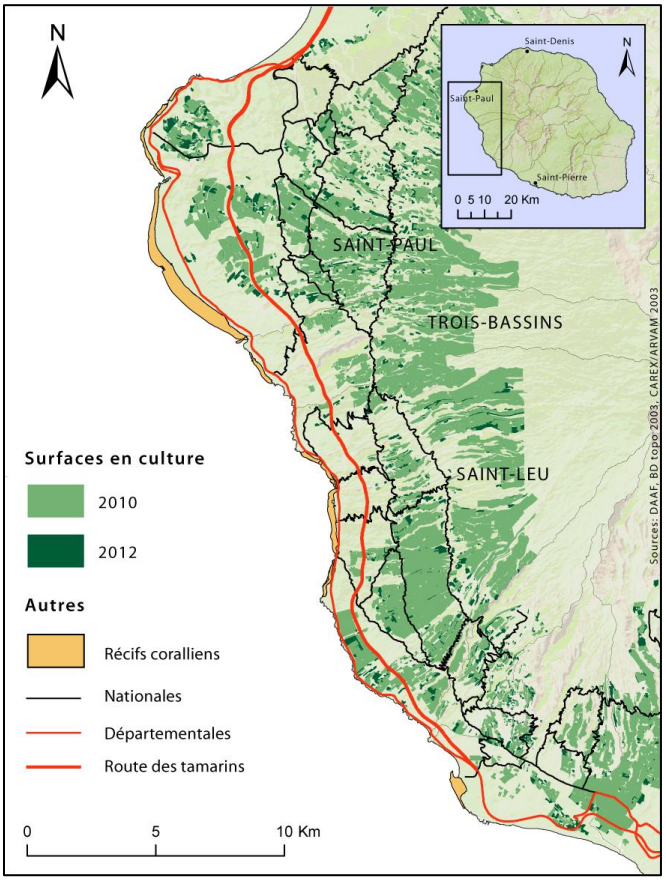


Figure 19 - Surface en culture sur la zone ouest de La Réunion et son évolution entre 2010 et 2012

Selon le type d'exploitation agricole, les risques d'impacts seront plus ou moins néfastes pour le milieu marin. Les effluents résultant de l'activité de production animale sont riches en azote et phosphore présents en quantité dans les fumiers, purins et lisiers. À La Réunion, les pollutions des eaux souterraines par les éléments nutritifs sont causées essentiellement par les effluents issus d'élevages ou les eaux domestiques (Rogers *et al.*, 2012). Les terres cultivées apportent dans les cours d'eaux des matières en suspension (MES), des produits phytosanitaires, des matières organiques et des fertilisants (nitrates, phosphore) qui sont drainés jusqu'à la mer. Ces enrichissements en éléments nutritifs qui parviennent à l'écosystème récifal principalement par voie souterraine consistent en des quantités significatives d'azote et de phosphate (Cuet *et al.* 1988, Naïm *et al.* 2000), qui se soldent par une recrudescence des peuplements algaux, notamment durant la saison chaude et humide. L'un des premiers effets constaté sur le milieu marin est un phénomène d'eutrophisation du milieu corallien (Lapointe et Clark, 1992 ; Wolanski *et al.*, 2009). Entre 1998 et 2009, il a été observé une augmentation importante de la couverture algale sur une grande majorité des sites échantillonnés dans le cadre du suivi GCRMN[79] (Bigot, 2008), questionnant ainsi la probable recrudescence des pollutions en provenance du bassin-versant.

À ce jour, très peu d'agriculteurs demeurent à ce jour engagés dans une démarche d'agriculture raisonnée et on peut s'attendre avec la livraison du projet ILO (Irrigation de la côte Ouest) à une recrudescence des pressions liées aux effluents agricoles (DIREN, 2011).

3.B.2.3. Les rejets urbains

3.B.2.3.1. Rejets et pollution marine

L'Agence pour l'Eau classifie les pollutions de l'eau en deux catégories : les pollutions ponctuelles et les pollutions diffuses. Parmi les pollutions ponctuelles on distingue 3 origines possibles : domestique

[79] Global Coral Reef Monitoring Network, réseau international de suivi de l'état de santé des récifs coralliens [URL: http://www.icriforum.org/gcrmn]

(assainissement imparfait, rejets en mer), industriel (rejet des grosses installations) ou agricole (rejets d'effluents d'élevage et de cultures). Les pollutions diffuses sont, elles, essentiellement d'origine agricole et domestique, et sont plus difficiles à réduire car elles impactent de vastes zones, causant des désordres écologiques[80].

En l'absence d'assainissement ou en cas de pollution ponctuelle, les rejets urbains sont vecteurs de plusieurs menaces qui ont été identifiées dans un guide méthodologique dédié (Andral *et al.*, 2013) :

- une charge en matière particulaire organique (DBO5, DCO) mais qui tend à se réduire avec l'amélioration des rendements d'épuration et l'augmentation des capacités. D'ici à 2015, de nombreux projets de remplacement, de construction ou d'extension de nouveaux systèmes de traitement des eaux usées devraient voir le jour ;
- une charge nutritive, comprenant l'azote, du carbone et du phosphore ;
- des contaminants chimiques, organiques et minéraux, dont les détergents et les molécules "émergentes" issus de composés de synthèse et des produits pharmaceutiques ;
- et enfin, des germes microbiens relevant des rejets sanitaires.

Toutes ces pressions ont pour effet de contaminer l'eau, la matière vivante et les sédiments, causant ainsi non seulement une altération des peuplements naturels, notamment pour le benthos et la macrofaune (coraux) mais aussi faisant craindre un risque sanitaire lié à une insalubrité des eaux de baignade (EPA, 1994 ; James, 2000) mais aussi à la consommation de produits de la mer (Andral, *et al.*, 2013). La variabilité intrinsèque du milieu marin (milieux ouverts, semi-fermés, et fermés) et les paramètres de courantologie dont la connaissance à La Réunion reste sommaire (Cordier, 2007) conditionnent par ailleurs leur vulnérabilité face à la pression liée aux rejets urbains. De la même façon, le procédé d'épuration, la configuration spatiale du rejet (rejet à la côte ou au large) détermineront le niveau de pression.

3.B.2.3.2. Les pollutions touchant la côte Ouest

Figure 20 - Rejets liés au débordement d'une station d'épuration à Saint-Leu. Cliché du 7 mars 2012

Au regard de l'accroissement démographique et du développement urbain en cours, La Réunion accuse un large retard en matière de gestion des déchets et de traitement des eaux usées. Parmi les 5 communes limitrophes de la Réserve Marine, seules 4 disposent de stations d'épuration. Les stations de Saint-Paul et de l'Etang-Salé doivent être mises aux normes et agrandies d'ici à 2020[81]. Pour certaines communes, les moyens restent insuffisants, en témoigne l'incident daté du 5 février 2012 où un épisode prolongé de fortes pluies avait mené la station d'épuration de Saint-Leu au débordement, causant la mort par asphyxie une grande partie des coraux du récif frangeant, et une pollution prolongée par les matières organiques (*ichia coli* (e.coli) et d'entérocoques) (Figure 20 ; annexe 1). Une 5ème station est en cours de construction sur le territoire de Saint-Leu afin de couvrir les besoins d'une partie de la commune et de la commune des Avirons.

[80] www.reunion.eaufrance.fr

[81] Site de l'Institut d'Emission des Départements d'Outre-Mer (IEDOM) [http://www.iedom.fr/IMG/pdf/ra2013_la_reunion_avec_liens_sommaire.pdf]

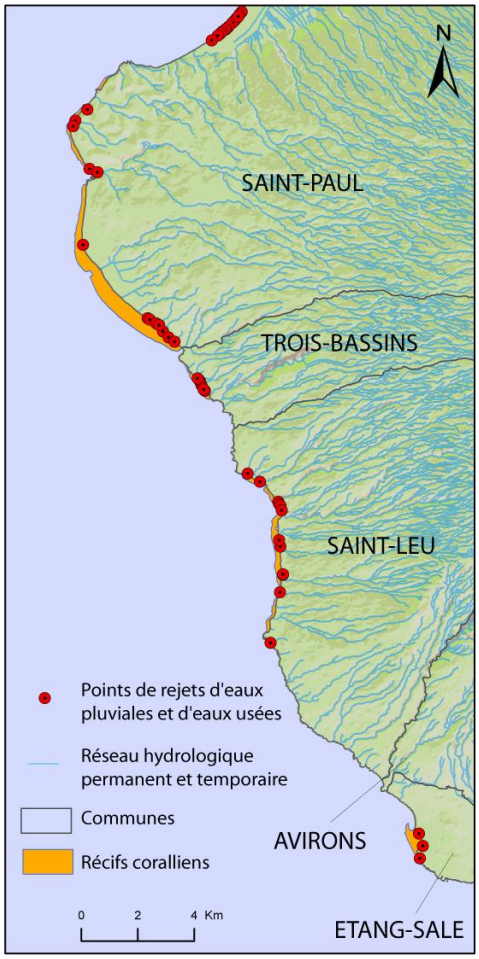


Figure 21 - Cartographie des effluents pluviaux et d'eaux usées. Sources : DCE-POLMAR, 2012

L'inventaire des points de rejets des eaux usées domestiques, pluviales et industrielles a été réalisé à trois reprises entre 2005 et 2012, montrant des résultats très disparates. La première étude a été réalisée par le consortium de bureaux d'étude (CAREX et ARVAM, 2005) dans le cadre de la cartographie du récif a permis d'identifier 71 points de rejets, tous types confondus (Figure 21). Une seconde étude a été réalisée à l'échelle de la réserve en collaboration avec la Cellule Qualité des eaux de la DDE et les écogardes de la réserve (Pellet, 2008), laquelle a permis de recenser tous les points ponctuels de pollution le long du littoral. Entre Saint-Paul et l'Etang-salé, 16 rejets d'eaux usées, 56 rejets d'eaux pluviales et 106 piscines localisées en bord de plage contribuent à polluer les eaux du récif en bouleversant les propriétés physico-chimiques des eaux et favorisant leur eutrophisation (Pellet, 2008). Récemment, dans le cadre de la réalisation de l'atlas POLMAR[82] Réunion par le laboratoire GEOMER, une mise à jour des données spatialisées de rejets a été réalisée laquelle répertorie toutes les sources potentielles de pollution marine sur la côte Ouest. À l'échelle des 5 communes de l'ouest jouxtant les récifs coralliens, 49 points de rejets ont été identifiés.

3.B.3. Un récif, des usages

Si certaines activités telles que la pêche à pieds sont des pratiques anciennes associées à un héritage traditionnel, d'autres se sont implantées dans l'île beaucoup plus récemment. Ces pratiques arrivées tardivement ne sont pas toutes sans conséquence pour l'écosystème, de nombreux auteurs ayant mis en évidence leurs impacts sur les constructions coralliennes. Le milieu récifal est un écosystème particulièrement sensible aux pressions, d'une part parce que les animaux qui le constituent, les polypes, sont très sensibles aux moindres changements et sont exigeants en matière de qualité des paramètres environnementaux, d'autre part parce que leur "accessibilité" relative (par rapport au domaine hauturier) et leur faible profondeur moyenne les rendent plus sensibles aux atteintes environnementales par l'Homme.

Les informations consignées dans cette partie sont issues essentiellement des travaux de thèses de E. Mirault (2006) et A. Thomassin (2011) au sein desquelles il est question des usages soit à travers la question de la valuation économique, soit au travers de la question de l'acceptation sociale. En complément, des rapports, mémoires portant sur l'un ou plusieurs des usages étudiés ont été sollicités. Enfin, afin de mettre à jour les données, les sites internet des clubs ou associations, de même que des entretiens non officiels ont permis d'obtenir des chiffres sur le nombre de pratiquants

[82] POLlution MARine, plan d'intervention national en cas de pollution marine.

lorsque ces derniers ne sont pas officiellement fournis par le biais des fédérations ou présents dans la littérature scientifique.

3.B.3.1. Un paysage d'activités varié

On observe selon Chaboud *et al.* (2008 b) le passage d'un tourisme essentiellement balnéaire à un tourisme nouveau associant activités balnéaires et activités plus sportives et/ou de découverte. Qu'ils soient motorisés ou non, on a assisté durant cette dernière décennie à un défilé de planches et autres engins qui deviennent vecteurs de loisirs sur l'eau. Selon E. Mirault (2006), on doit en grande partie à la départementalisation et l'arrivée de métropolitains l'apparition de ces nouvelles activités (cf. 3.B.1.2.).

Selon l'objet de l'étude, quelques auteurs se sont prêtés à l'exercice du recensement des usages marins pratiqués à La Réunion et de leur classification. Au total, ce sont plus d'une quinzaine d'usages pratiqués sur ou aux abords du récif qui ont été identifiés. A. Thomassin (2011) a dans le cadre de sa thèse, regroupé les différents usages en huit "communautés" d'usagers, consistant ainsi en une approche thématique :

- Les pêcheurs professionnels, inscrits maritimes pratiquant la petite pêche côtière ;
- Les pêcheurs plaisanciers embarqués, pratiquant le même type de pêche mais n'étant pas affilié à la Sécurité sociale maritime ;
- Les pêcheurs traditionnels à pied, pratiquant des pêches à pied depuis la côte, dans le lagon ou derrière la barrière telles que la gaulette, la pêche au poulpe, la pêche à la senne, etc. Y sont inclus des pêcheurs de subsistance comme des pêcheurs uniquement récréatifs ;
- Les chasseurs sous-marins, pêchant en apnée et équipés d'un fusil ou harpon ;
- Les pratiquants de sports de glisse, surfeurs, kitesurfeurs, windsurfeurs ;
- Les plongeurs en bouteille, résidant ou de passage, et les gérants des clubs de plongée ;
- Les usagers de la plage et les baigneurs, incluant les touristes et les résidents ;
- Les activités de découverte du milieu marin et récifal, telles que les bateaux à fond de verre ou les sociétés proposant des promenades en mer.

E. Mirault (2006) dont les travaux ont porté sur les fonctions et enjeux socio-économiques des écosystèmes coralliens à La Réunion a réalisé la première cet inventaire des usages "liés à l'écosystème récifal" par le biais d'observations directes répétées sur le terrain. Ce travail a abouti à la classification en trois grandes catégories d'usages :

- les usages directs regroupant les usages dépendant exclusivement de la présence des récifs ;
- les usages semi-directs qui dépendant des caractéristiques physiques générées par la présence des récifs ;
- les usages indirects, les pratiques "*n'émanant pas directement de l'écosystème corallien, mais de la présence d'autres usages*" (Tableau 11).

Les typologies sont variées et dépendent de la finalité de l'étude engagée. La classification élaborée dans le cadre de la présente thèse s'est faite d'après des critères méthodologiques (contraintes inhérentes aux survols en ULM) et géomorphologiques (platier, pente externe, etc.) et sera présentée plus tard en partie 2. Nous recourons ici à la classification de E. Mirault pour présenter les différentes activités, car elle se trouve adaptée pour traiter de la question des usages à travers le prisme des impacts, en distinguant les usages qui ont un lien direct avec les récifs et sont de nature

extractive, de ceux qui entrent en interaction physique avec eux ce qui peut occasionner des contacts (les usages semi-directs). Par ailleurs cette classification est largement usitée par le corpus scientifique, comme par les gestionnaires de la réserve marine (Pothin, 2009).

Tableau II - Classification des usages liés à l'écosystème récifal d'après les travaux d'E. Mirault (2006)

Nature du lien usage-écosystème		Usage	
Usages directs	Extractifs	Pêche embarquée	Professionnelle
			Plaisance
		Pêche à pied	A la main
			A la ligne
			"bat do lo"
			" a la trempe"
			"zourit"
		Chasse sous-marine	
	Non extractifs	Plongée sous-marine	
		Palmes-masque-tuba (PMT)	
		Découverte du milieu marin	
		Photographie sous-marine	
Usages semi-directs		Activités nautiques	Pédalo
			Kayak
		Sports de glisse	Surf
			Kitesurf
			Windsurf
			Paddle
		Plage-Baignade	
		Urbanisation en front de mer	
Activités indirectes		Plagistes	
		Clubs et associations de pratiquants	
		Hôtellerie	
		Commerces spécialisés	
		Restauration	
		Recherche scientifique	

3.B.3.2. Les usages "directs" et leurs potentiels d'impacts sur le milieu

La catégorie des usages "directs" tels que décrits par E. Mirault dans sa thèse (2006) regroupe les usages qui tirent directement un profit de la présence des récifs coralliens, qu'ils soient de nature extractive (pêche) ou non (plongée sous-marine). Pour certains usages qui n'avaient pas été identifiés dans l'étude, à l'instar du paddle ou du kitesurf, le choix a été fait de les intégrer au sein de catégories au regard du critère d'homogénéité dans la logique de répartition spatiale et non pas de leur rattachement à une même fédération sportive.

3.B.3.2.1. Activités de pêche et de chasse

L'activité de pêche à La Réunion est multiple. Elle se pratique à pied depuis la côte ou les pieds dans l'eau sur le récif, depuis un bateau (pêche embarquée), ou en apnée (chasse sous-marine). Au sein des typologies existantes, une distinction est faite entre pêche à pied et pêche sous-marine et une catégorie tierce regroupe les types de pêche "hybride", ou pêche "combinée" (annexe 2) (Mirault, 2006 ; Thomassin, 2011). Dans le cadre de cet exercice, et étant donné que chaque activité est abordée succinctement, la typologie de base a été enrichie des techniques de pêche embarquée, qu'elle soit plaisancière ou professionnelle, résultant dans un tableau synthétisant toutes les activités de pêche pratiquées sur et aux abords du lagon (annexe 2).

3.B.3.2.1.1. La pêche embarquée

Tel que le rappellent C. Cabanne *et al.* (1999), la pêche en milieu littoral insulaire relève de "la petite pêche de proximité" dont le système halieutique est réduit (moyens techniques modestes, boucle ressource-consommateur simple) ou de la "pêche artisanale de proximité" dont le système halieutique est plus complexe (unité plus forte, aménagements de pêche au port, transformation). Compte tenu de la méthodologie déployée, et de l'impossibilité inhérente de distinguer la nature professionnelle ou amateure des flottilles observées, l'activité de pêche embarquée est envisagée ici indépendamment de son statut. Parmi les 3 types de pêche existants, 2 sont tout particulièrement concernés dans le cadre de cette étude puisque le périmètre de la réserve marine fait partie de leur territoire (Roos *et al.*, 1997) :

- la petite pêche, pratiquée en canot ou en vedette, dont les sorties en mer n'excèdent pas 24 heures, dont les espèces cibles sont des pélagiques et des espèces démersales profondes ;
- la pêche palangrière, notamment la sous-catégorie "pêche côtière", dont les espèces cibles sont pélagiques.

En 2009, la flottille de pêche comptait 287 navires, essentiellement constituée d'embarcations de moins de 10 mètres sortant moins de 24 h (TER, 2011). A. Thomassin (2011) recensait entre 2006 et 2010 dans le cadre de sa thèse près de 73 individus professionnels répartis entre Saint-Gilles, Saint-Leu et l'Etang-Salé pratiquant la petite pêche dans la RNMR, et près de 460 pêcheurs plaisanciers[83] répartis dans les mêmes secteurs.

Les premiers signes de surexploitation des ressources démersales récifales datent des années 1980. Des dispositifs de concentration de poissons (DCP) ont été installés au large dès 1988 afin de redynamiser l'activité de pêche, ce qui a eu pour effet secondaire d'amoindrir la pression aux abords des pentes externes. Il en existe aujourd'hui une trentaine répartie autour de l'île, dont la moitié sur la côte Ouest qui concentre le principal de l'activité de pêche (Tessier *et al.,* 2008 ; Pothin, 2009). Les implications d'une éventuelle surpêche sont maintenant bien connues et étudiées à travers le monde (Tableau 3 ; cf. 1.C.2.2.). Elles concernent avant tout une perturbation de la chaine trophique induite par la surpêche des espèces carnivores (Tessier *et al.*, 2008) induisant une réduction du nombre, de la taille et de l'âge des individus (Friedlander et DeMartini, 2002 ; Cooper *et al.*, 2009). Les embarcations sont également vecteurs de risque. D'une part elles occasionnent des impacts environnementaux par le déversement intempestif de carburants à l'océan (English *et al.*, 1963 ; Clark *et al.*, 1974). Elles sont à l'origine également d'impacts physiques, notamment pour les embarcations motorisées, les hélices pouvant occasionner des blessures sur les animaux, comme les tortues marines (Hazel *et al.*, 2007) ou les cétacés (Van Waerebeek *et al.*, 2007). K.J. Killgore *et al.* (2001) ont démontré lors d'une étude portant sur un chenal de rivière (> 2 millions de litres) que les hélices étaient l'un des facteurs primaire de mortalité chez les juvéniles de poissons. En outre, le train de vagues créé par le déplacement de l'embarcation a des répercussions sur les habitats tels que les herbiers (Koch, 2002), sur les interactions prédateur-proie (Gabel *et al.*, 2011), et favorise la turbidité, surtout à faible profondeur (Garrad et Hey, 1987), ce qui peut s'avérer particulièrement dommageable en milieu corallien. Enfin, Les bateaux sont également vecteurs de risques biologiques en transportant des espèces invasives d'un écosystème à un autre (Johnson *et al.*, 2001).

[83] Cette seconde catégorie plus difficile à recenser a été estimée à dire d'acteurs et validée par comptages sur le terrain par l'auteur.

3.B.3.2.1.2. La pêche à pied

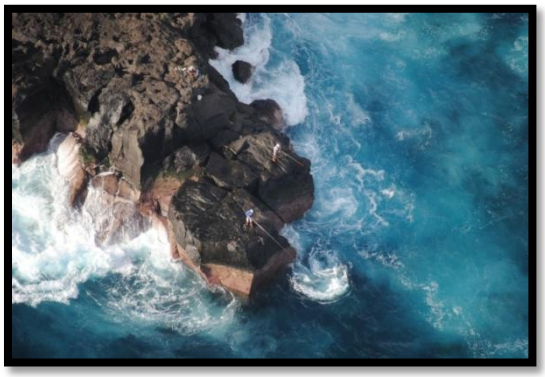


Figure 22 - Pêcheurs "gaulette" à la côte. Cliché du 1er juin

D'après le décret n°2001-426 du 11 mai 2001, la pêche à pied se définit comme une pêche "*qui s'exerce sans que le pêcheur ne cesse d'avoir un appui au sol et sans équipement respiratoire permettant de rester immergé*". En réalité, tel que le fait remarquer A. Thomassin, la pêche à pied qui revêt un caractère traditionnel, au sens qu'elle a longtemps constitué pour de nombreuses familles un complément de revenus ou de subsistance à La Réunion, souffre d'une définition claire, tantôt centrée sur la commercialisation de ses prises (décret n° 90-618 du 11 juillet 1990 stipulant que les prises peuvent être vendues), tantôt sur ses aspects techniques. À La Réunion, la pêche à pied revêt une grande diversité de pratiques, impliquant de nombreuses techniques de pêche et engins différents. Lorsque l'on parle de pêche à pied traditionnelle, on l'envisage dans son acceptation la plus large ce qui implique également certaines techniques mêlant pêche sous-marine et pêche à pied (Thomassin, 2011), répondant à divers objectifs allant de l'autoconsommation (pêche de subsistance), à la vente en passant par la pratique de loisir ou encore la perpétuation d'une tradition (Oqueli Turcios, 2002). Dans tous les cas, elle s'exerce en zone récifale, de la plage jusqu'à la pente externe, depuis la côte (Figure 22) ou directement sur les plans d'eau, ce qui inclue les dépressions d'arrière-récif, le platier récifal et la zone de déferlement des vagues (ou "brisant") (Pothin, 2009).

Ainsi entre les différents travaux de recensement menés, plus d'une dizaine de pêches à pied recourant à des outils variés a été recensée (Mirault, 2006 ; Thomassin 2011) (annexe 2). En revanche, étant donné que cette activité demeure assez informelle, il est difficile d'avoir une idée du nombre de pratiquants. En 1999 on estimait une population de 1500 pêcheurs à pied (David *et al.*, 1999).

Il n'existe pas à proprement parler de bibliographie sur les impacts de la pêche à pied. Cette activité est potentiellement concernée par les impacts associés aux activités de baignade (contacts avec le substrat, piétinements) dès lors que les pêcheurs évoluent à pied sur le substrat corallien, que les impacts associés aux pêcheries en général (prélèvement dans la ressource, déséquilibre de la chaine trophique, etc.).

3.B.3.2.1.3. La chasse sous-marine

La pêche sous-marine fait son apparition dans les années 1950 à La Réunion (Roos *et al.*, 1998). Elle se pratique sur les pentes externes ou les passes et nécessite un matériel rudimentaire, à base de palmes masque tuba et d'un harpon, sur des fonds allant jusqu'à une trentaine de mètres (Bertrand, 2000). Pour se rendre sur site, les pratiquants ont parfois à une embarcation, motorisée ou non (Figure 23). En 2007, la pêche sous-marine était pratiquée par plus de 400 personnes, dont un tiers à vocation commerciale (Tessier *et al.*, 2008). Depuis l'établissement de la réserve marine et les nombreuses interdictions qui l'ont accompagné après 2007, cette activité se pratique essentiellement en tant que loisir.

Figure 23 - Un chasseur sous-marin à proximité de son zodiaque. Cliché du 7 avril 2010 à 9h20, Saint-Leu

Suite à un essor rapide de la chasse sous-marine à La Réunion au cours des années 1950, on assiste dès le début des années 1970 aux premiers impacts (Roos *et al.*, 1998 ; Bertrand, 2000). Ces derniers relèvent principalement d'une extraction abusive de la ressource. La chasse sous-marine permet en effet de forts rendements, surtout lorsqu'elle est pratiquée de nuit (Fleury *et al.*, 2012). Mais ces derniers rendements sont également fortement corrélés au niveau de pratique des usagers. Aussi, la chasse sous-marine a été l'une des premières activités ciblées par les arrêtés et a vu son territoire de pratique réduit de plus de sa moitié dès la mise en place de la réglementation. C'est l'une des raisons pour lesquelles les chasseurs sous-marins font partie des groupes d'usagers qui se sont le plus farouchement opposés à l'institution de la réserve marine (Thomassin, 2011).

3.B.3.2.2. Plongée sous-marine

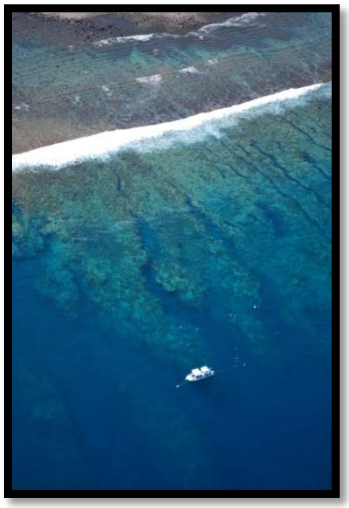


Figure 24 - Bateau de plongée sur la pente externe de Cap Homard. Cliché du 12 avril 2012 à 10h25

La plongée sous-marine (Figure 24) s'est considérablement développée ces 15 dernières années. D'abord clairement associée aux loisirs, l'activité de plongée sous-marine est passée d'un statut associatif, le plus largement répandu à un statut privé au cours des années 1980 marquant ainsi les débuts de la professionnalisation et la commercialisation de cette discipline (Louze, 2007). J. Bergère en 2011 recensait 25 clubs et associations de plongée sous-marine répartis entre Saint-Paul et l'Etang-Salé. Pour répondre à la demande qui n'a cessé de croitre depuis l'apparition de cette activité au cours des années 1950, près de 60 bouées d'amarrage ont été installées sur près de 40 sites et il existait encore en 2009 un manque en termes de mouillage comme l'exprime 1 club de plongée sur 3 (Pothin, 2009).

L'activité de plongée et les impacts induits sont les plus documentés. Ces derniers relèvent essentiellement de contacts occasionnés avec le substrat corallien : abrasion, altération des tissus, cassage de branches (Riegl et Velimirov, 1991 ; Rouphael et Inglis, 1997 ; Hawkins *et al.,* 1999), baisse de la densité des colonies (Sala *et al.,* 1996) le potentiel de dégradation étant corrélé au niveau des plongeurs. D'autres impacts plus marginaux ont été rapportés : remaniement des sédiments (Zakai et Chadwick-Furman, 2002 ; Luna *et al.*, 2009), haute prévalence de maladies sur les sites les plus fréquentés (Hawkins *et al.,* 1999), etc. En 2004, une étude menée par N.H.L. Barker et C.M. Robert avait permis de prouver l'efficacité d'un investissement accru (briefing, surveillance) de la part des chefs de palanquée pour la réduction des impacts.

3.B.3.2.3. Activités de découverte du milieu marin

Figure 25 - Le "Lady la fée", catamaran de tourisme à vocation touristique. Cliché 20 mars 2011 à 11h07 à Cap Champagne

Cette catégorie regroupe les activités qui proposent des promenades en mer, ayant une vocation pédagogique ou non (découverte des mammifères marins, prestations de découverte des fonds marins) autrement appelés "safari boats" dans la littérature anglosaxone. Plusieurs sociétés sont connues du grand public, et K. Pothin (2009) en inventoriait 7 en 2009. Ces dernières sont reconnaissables aisément à ce qu'elles recourent à l'utilisation de bateaux motorisés pour leurs excursions (catamarans, vedettes) et que ces engins, puisque peu nombreux sont bien connus des locaux (Figure 25).

Les impacts associés à cette activité découlent essentiellement de l'utilisation d'un engin motorisé et à ce titre, se retrouve chez de nombreuses autres activités motorisées : dérangement de la faune, risques de collision, accroissement de la turbidité, etc. (Tableau 3 ; cf. 1.C.2.2.).

3.B.3.3 Les usages semi-directs

3.B.3.3.1. Sports de glisse

Certaines activités, à l'instar des sports de glisse et des activités nautiques se sont implantées à partir des années 1960 à La Réunion mais elles n'ont réellement connu un essor qu'à partir des années 1980 (Mirault, 2006). L'année 1986 marque les débuts de l'institutionnalisation du surf avec l'ouverture des premiers clubs et en 1986 la création de la ligue (Thomassin et Havard, 2008). Entre 1990 et 2003, le nombre de licenciés de surf a été multiplié par 3 (Mirault, 2006) et ils seraient aujourd'hui quelque 2000 pratiquants licenciés ou non selon la Fédération Française de surf. Le bodyboard qui est considéré comme une activité "sœur" de l'activité de surf, et dépend de la même fédération, est également répandu à La Réunion, mais du fait que peu d'usagers sont licenciés à la fédération, le nombre de pratiquants est difficile à estimer.

Deux activités apparentées aux sports de glisse mais affiliées à des fédérations différentes sont apparues plus tardivement et tendent à se développer ces dernières années : le windsurf ou planche à voile et le kitesurf (Figure 26). Le windsurf qui s'est développé à La Réunion à partir des années 1980 est une activité affiliée à la Fédération Française de Voile, laquelle recensait 351 licenciés en 2015 contre 586 en 2010[84]. Selon le seul commerçant[85] à fournir le matériel adéquat sur l'île, ils seraient quelque 300 pratiquants à naviguer entre les spots de l'Ouest et du Sud.

L'activité de kitesurf quant à elle est affiliée à la Fédération Française de Vol Libre (FFVL), mais comme c'est le cas pour les autres activités de glisse, très peu d'usagers sont licenciés, ce qui rend leur dénombrement difficile. Alors que A. Thomassin estimait à une petite centaine le nombre de pratiquants, ils seraient plus d'une centaine à évoluer sur les spots de l'île en 2015 à dire d'expert[86], dont une cinquantaine adhérant au Saline Kite Club et près de 70 au club de Saint-Pierre. Ils seraient

[84] A noter que ces statistiques incluent toutes les activités affiliées à la FFV, et qu'une grande partie est le fait de pratiquants de voile (www.ffvoile.fr)

[85] D'après un entretien avec Pierre Godet du Réunion windsurf shop

[86] Source du président de Saline Kite Club, Nicolas Andrieu

en réalité plus nombreux, près de 400[86] à en juger ses fichiers clients et les ventes du Réunion Windsurf Shop[85].

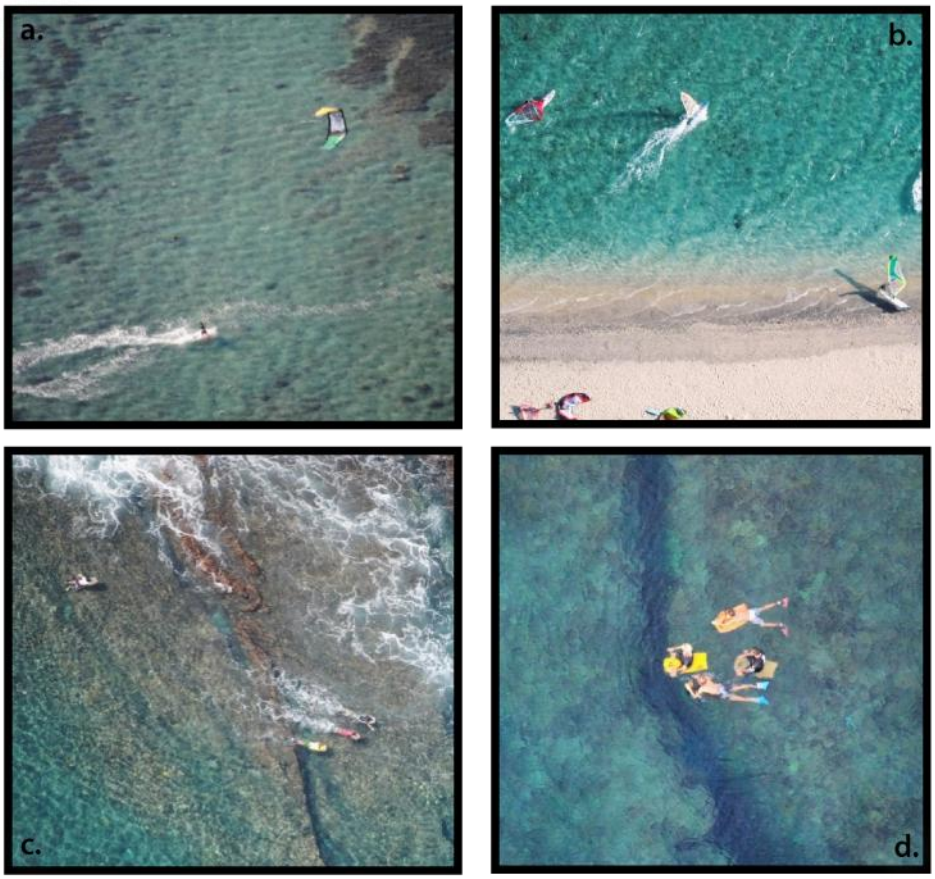


Figure 26 - Activités de kitesurf (a., cliché du 23 juillet 2011 à 16h32), de windsurf (b., cliché du 23 juillet 2011 à 16h04) de surf (c., cliché du 23 avril 2011 à 10h42) et de bodyboard (d., cliché du 22 avril 2011 à 16h23).

Du fait qu'elles nécessitent des conditions météorologiques particulières (vent fort), leur apparition sur les plans d'eau ne sont que ponctuelles. Jugé trop peu important, le faible territoire originellement alloué à leur pratique a induit un faible niveau d'acceptation de la part de ce groupe d'usagers et un fort mécontentement (Thomassin, 2011). leurs pratiquants revendiquent au même titre que les surfeurs, une territorialité politique (avoir un poids dans les décisions et les choix réglementaires) et identitaire (zone de pratique) (Pothin, 2009). Des revendications qui ont fait écho auprès des gestionnaires et des autorités puisque des zones sur platier ont été autorisées à la pratique du kitesurf et du windsurf par un arrêté préfectoral[87] dès 2008.

De par leur aire privilégiée de pratique (platiers pour kitesurf et windsurf, et front récifal pour le surf), ces usages peuvent occasionner des contacts avec le substrat provoquant ainsi des phénomènes d'abrasion, de cassage de coraux ou d'arrachements (Davenport et Davenport, 2006 ; Thurstan *et al.,* 2012). Le potentiel impactant de ces activités est fortement corrélé au niveau de maitrise des pratiquants selon ces mêmes auteurs.

[87] Arrêté n°1744 du 15 Juillet 2008.

3.B.3.3.2. Activités nautiques

La catégorie des activités nautiques regroupe par défaut toutes les activités recourant à du matériel (planches, engins, palmes) ne pouvant être rattachées aux autres catégories et se pratiquant sur ou aux abords des complexes récifaux, la plupart du temps via des structures commerciales ou associatives : mini catamarans, optimists[88], canoë-kayak, pédalo et le palme-masque-tuba (PMT) étant les principales (Figure 27). Le stand-up paddle (SUP), que nous nommons ici paddle, a fait son apparition assez tardivement sur les plans d'eau, au début des années 2010. Depuis, cette pratique rattachée à la fédération française surf s'est largement développée sur l'île mais comme le reste des sports à planche, le nombre de pratiquants est difficile à estimer car peu ou aucun ne sont licenciés. Il est à noter que le principal commerçant[89] fournissant ce type de matériel, a vendu plus de 500 planches ces 5 dernières années.

Figure 27 - Activités de palmes-masque-tuba (a., cliché du 20 avril 2011 à 11h16), de canoë-kayak (b., cliché du 29 mai 2011 à 11h02), de pédalo (c., cliché du 25/04/2012 à 16h22) et de paddle (d., cliché du 25/04/2012 à 16h21)

Ces activités ont été classées dans la même catégorie du fait qu'elles partagent les mêmes aires privilégiées de répartition. La plupart des activités sont pratiquées sur le plan d'eau récifal, à savoir les dépressions d'arrière-récif et les platiers, et intéressent un public plutôt jeune et familial. À part pour l'activité de PMT, pour laquelle les pratiquants acquièrent souvent leur propre matériel et évoluent de façon autonome, les activités nautiques ne se pratiquent que rarement en dehors d'un cadre associatif ou d'un centre nautique tels qu'il en existe à la Saline et à Saint-Paul. Souvent, sur les

[88] un optimist est un petit voilier solitaire servant à l'initiation à la voile et aux régate; il est surtout utilisé auprès d'un public jeune, est affilié à la fédération française de voile.

[89] Entretien avec Pierre Godet du Réunion windsurf shop.

secteurs de la Saline et de l'Ermitage, la location de matériel (planches de paddle, canoës, pédalos) est assurée par les restaurateurs et constitue une activité parallèle aux activités premières de restauration.

Les impacts que ces activités peuvent avoir sur les écosystèmes sont bien décrits et quantifiés dans la littérature. W.R. Allison (1996) a démontré le lien existant entre la distribution spatiale des colonies de corail endommagées de North Male atoll aux Maldives et les activités de snorkeling[90], sans qu'une autre source de dégradation n'ait pu être identifiée.

3.B.3.3.3. Activités "plagiques" et de baignade

Les activités de plage et de baignade, que nous avons choisi d'associer sous le terme "d'activité plagique", se pratiquent à l'intersection entre la zone de bain, au plus près de la côte, et la plage. L'interdépendance de ces deux usages (un "plageur" est un potentiel baigneur, et inversement) met en exergue la nécessité de prendre en compte l'ensemble fronto-littoral dans les études de fréquentation. Cette catégorie d'usage qui déjà fait l'objet d'études quantitatives (DDE, 1982 ; Cazes-Duvat et Pesmes, 2002 ; Mirault, 2006) et qualitatives (Mirault, 2006) est celle qui rassemble un plus grand nombre d'usagers, et créé une pression localisée par les fortes densités induites.

Les impacts associés à ces pratiques résultent d'interactions potentielles entre les usagers et le substrat sableux ou corallien, et peut là aussi être corrélé au niveau de pratique des usagers : cassure et abrasion du corail, piétinement des organismes, érosion de l'ensemble fronto-littoral et de la dépression d'arrière-récif (Rodgers et Cox, 2003 ; Liu *et al.*, 2012 ; Thurstan *et al.*, 2009 ; Nascimento Silva et Ghilardi-Lopez, 2001) (cf.1.C.2.2., Tableau 3). En outre, les risques de pollution sont également à prendre en compte, qu'ils résultent de l'utilisation de produits chimiques tels que la crème solaire dont les effets sur les coraux commencent à être mieux connus (Danovaro *et al.*, 2008) ou des déchets laissés sur place par les usagers (mégots, papiers, canettes, etc.).

[90] Terme anglophone désignant l'activité de PMT (Palmes-Masque-Tuba).

3.C. De la mise en réserve à l'intégration des sciences sociales dans le réseau de suivi scientifique

Les constats unanimes de dégradation du milieu récifal Réunionnais ont dès le début des années 1980 amené les scientifiques et autres usagers amoureux de la mer à se questionner sur la mise en place d'un outil de conservation. D'association "Parc Marin" au statut de Réserve Naturelle Marine, le chemin a été long et parsemé d'embûches et de conflits d'intérêts avant que le dispositif sous tutelle de l'état et de l'Agence des Aires Marines Protégées ne soit créé.

3.C.1. Historique de création de la Réserve marine et objectifs de gestion

Les conditions d'établissement de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion en 2007 par décret, et le contexte social et politique tendus ont été largement décrites par A. Thomassin (2011) dans sa thèse portant sur l'acceptation sociale de la Réserve par les pêcheurs. Nous reviendrons ici sur les points qui nous paraissent essentiels, les dates clés figurant sur une frise chronologique produite par l'auteure (Figure 28).

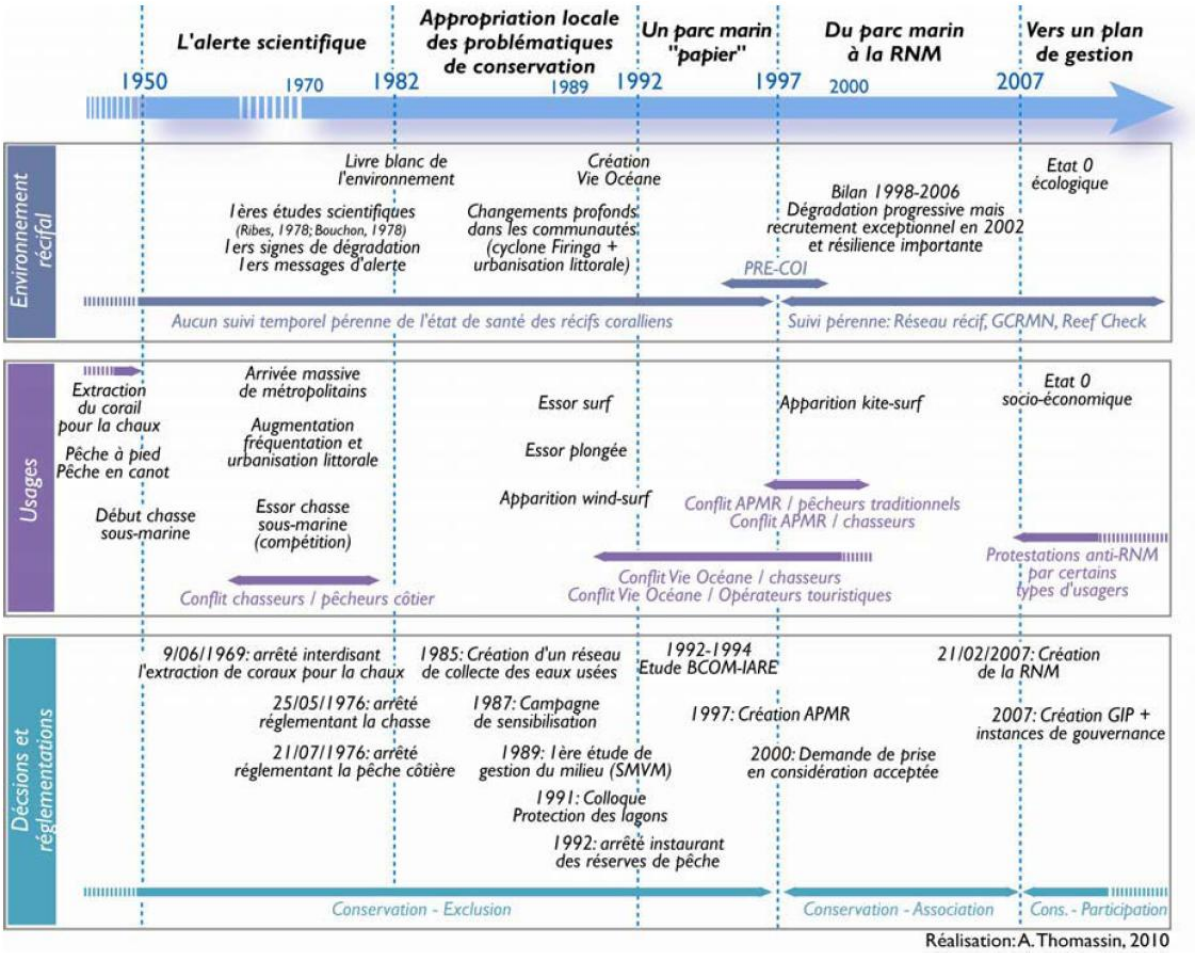


Figure 28 - Frise chronologique de la mise en place de la RNM à La Réunion (Thomassin, 2011).

L'une des premières pierres ayant contribué à forger l'édifice Réserve Marine fut posée en 1992 par un arrêté préfectoral[91] instaurant des réserves de pêche intégrant les récifs et s'étendant sur deux zones, i) l'une du Cap la Houssaye à la pointe de Boucan-Canot, ii) la seconde du port de Saint-Gilles à la ravine des Trois-Bassins. Entre 1994 et 1997, une soixantaine de réunions se tiennent, constituées d'une soixantaine de membres passionnés de la mer (scientifiques et usagers) formant le "comité de pilotage Parc Marin", aboutissant à la création de l'APMR (Association Parc Marin de La Réunion), une association loi 1901 regroupant sept communes littorales (Thomassin, 2011). En charge de sa gestion est mis en place un Groupement d'Intérêt Public (GIPRNMR) qui se compose d'une cellule "administrative" (3 personnes), d'une cellule "Surveillance et Police" (7 personnes), d'une cellule "Animation et sensibilisation" (4 personnes) et une cellule "Connaissance, préservation et gestion du patrimoine" (1 personne).

La constitution d'une équipe opérationnelle, à savoir la cellule "surveillance et police", a permis la mise en pratique de l'arrêté de 1992 par les missions de surveillance et l'application des premières sanctions, rendant de ce fait plus concret l'outil AMP, du moins ses prémices. En simultané a été mené un long processus de concertation entre les acteurs du milieu (APMR et DIREN principalement) pour l'obtention d'un statut officiel pour l'AMP et le gestionnaire. En 2000, ce processus se clôt par un projet de Réserve Naturelle Marine de La Réunion, elle est promulguée par l'arrêté 2007-206 du 21 Février 2007.

Ses objectifs, rappelés par K. Pothin (2009), sont multiples :

- garantir la conservation du patrimoine naturel en maintenant un ensemble représentatif de peuplements, d'espèces et d'habitats de l'écosystème et en conservant les espèces et habitats menacés sous statuts spéciaux ou endémiques ;
- assurer un développement raisonné de l'activité de pêche et des différents usages conciliables avec la protection de la biodiversité marine ;
- assurer les missions de communication en promouvant une pédagogie de l'environnement pérenne et diversifiée, et en développant une politique d'information à destination des usagers ;
- garantir le rayonnement et la mise en réseau de la RNMR dans une optique de bonne gouvernance et de gestion intégrée de l'espace marin.

3.C.2. Traduction des missions en termes de règle

Afin d'atteindre les objectifs précédemment décrits, le gestionnaire met en œuvre des outils qui relèvent de la réglementation pour assurer les missions de régulation en amont, et des suivis scientifiques pour mesurer, en aval, l'efficacité de la gestion.

3.C.2.1. Eléments de réglementation générale

Alors que les premières voix s'élèvent au cours des années 1970 (thèses de C. Bouchon et de S. Ribes en 1978) pour dénoncer les premiers signes de dégradation du milieu et des stocks de poissons, on assiste à la mise en place des premiers arrêtés visant à prohiber, interdire ou limiter certaines activités extractives telles que la chasse sous-marine (arrêté du 25 mai 1976 interdisant sa pratique 3 mois par an) ou des pêches côtières (arrêté du 21 juillet 1976). Ce dernier prohibe l'utilisation de certains engins de pêche jugés trop destructeurs (dynamite), de certaines techniques de pêche (ramassage de corail et coquillages vivants), et fixe des limites de capture.

[91] Arrêté n°353 DICV/3 du 28 février 1992

La réglementation se complexifie encore avec la promulgation de l'arrêté du 28 février 1992 érigeant au statut de réserves de pêches les deux portions de mer décrites plus tôt (Cap la Houssaye à Boucan-Canot et Roches-Noires à la Ravine de Trois-Bassins) et au sein desquelles toute pêche est interdite sauf la pêche à pied à la ligne (Thomassin, 2011).

Avec la promulgation de la RNMR, trois niveaux de réglementation sont mis en place au travers de zonages spécifiques prévus par le décret du 21 février 2007 et l'arrêté préfectoral N° 4038 du 26 novembre 2007 modifié par l'arrêté n° 1240 du 26 Mai 2008 (Pothin, 2009) :

- une réglementation générale (Niveau 1) applicable à l'ensemble du territoire de la Réserve. Elle concerne la limitation de certains usages ;
- des règles supplémentaires s'appliquent dans les zones de protection renforcée (Niveau 2) correspondant à environ 45 % de la superficie de la réserve, dont 20 % de cet espace est réservé à la pêche professionnelle (niveau 2B). Dans cette zone, la pêche interdite ou limitée à certains usages, notamment traditionnels ;
- des zones de protection intégrale (Niveau 3) sur environ 5 % de la superficie de la réserve. Dans ces espaces, toutes formes d'activités, travaux, fréquentations, circulations, mouillages ou amarrages sont interdites. Des autorisations individuelles pour le suivi scientifique, la gestion et la surveillance de la réserve pourront être délivrées par le préfet.

Afin de faire respecter cette réglementation, une cellule de surveillance constituée de 7 gardes assermentés effectue quotidiennement des missions, et au besoin, verbalise les contrevenants. Chaque infraction est fichée et stockée dans une base de données gérée par le GIPRNMR dont l'exploitation permettra une discussion des infractions observées dans le cadre de cette thèse lors des missions de terrain en partie discussion.

3.C.2.2. Des usagers inégaux devant la règle

Lors de l'établissement de la réserve marine en 2007 et de la mise en place d'un zonage réglementaire (annexe 3), certains groupes d'usagers se sentent lésés et dépossédés de leur territoire de pratique. Toute une polémique autour d'un défaut de concertation enfle dès lors, elle motive d'ailleurs des études sur la mesure de l'acceptation sociale par les usagers, portée par A. Thomassin dans le cadre de sa thèse, et dont certains de ses résultats seront repris ici.

Tableau 12 - Part du territoire autorisé à la pratique des activités de pêche à pied, de kitesurf et windsurf, de chasse sous-marine et de pêche embarquée professionnelle au regard du territoire praticable

	Territoire autorisé (ha)	Territoire praticable (ha)	Part en %
Pêche à pied (récif)	198	446	44.4
Kite et windsurf	55	446	12.3
Chasse sous-marine	1842	3060	60.2
Pêche embarquée	346	3060	11.3

D'une façon générale, le cadre réglementaire propre à chaque usage a été dicté par leur potentiel impactant. Il en a résulté une réduction draconienne du territoire de pratique de certaines activités.

Les principales activités contraintes par les divers décrets et arrêtés préfectoraux sont la pêche à pied, les planches aérotractées (kitesurf et windsurf), la chasse sous-marine et la pêche embarquée. Ne disposant pas de connaissance précises sur les territoires historiques de pratique pour chaque activité, nous avons comparé le territoire en réserve marine dont certains groupes d'usagers pouvaient théoriquement profiter au regard des contraintes liées à leurs pratiques et que nous nommons "territoire utile"[92] au territoire réglementaire de pratique. Les pêcheurs à pied ont vu leur territoire réduit de moitié entre les périodes pré-réserve et post-réserve, de même que les chasseurs sous-marins qui n'ont accès qu'à 60 % du territoire utile. La réduction la plus drastique s'est opérée sur le territoire des sports aérotractés, puisque 12 % du territoire praticable (uniquement en zones de dépression d'arrière-récif et platiers) leur est autorisé. Enfin, la pêche embarquée professionnelle hérite d'un territoire particulièrement réduit puisque 11 % du territoire praticable leur est accessible, ce qui se traduit par un défaut d'acceptation de la part de ce groupe d'usagers, particulièrement marqué à Saint-Leu où 6 pêcheurs sur 8 estiment qu'ils ont été plus lésés que les autres groupes d'usagers (Thomassin, 2011) (Tableau 12). Tous ces changements résultent dans la plupart des cas dans un niveau d'acceptation du dispositif réserve assez bas (Thomassin, 2011).

L'exercice du zonage est risqué, car s'il est mal adapté, il peut résulter dans une mauvaise acceptation de la réglementation par les usagers, dont les délits de braconnage peuvent se faire les marqueurs. En outre, cette inadéquation peut créer des conflits d'usages, ou cristalliser des conflits préexistants (David *et al.*, 2006). L'un des plus emblématiques et des plus persistants dans le temps est sans doute celui qui s'est instauré très tôt entre petits pêcheurs du lagon et chasseurs sous-marins (Thomassin, 2011). En 2011, les pêcheurs à pied étaient 55 % à se prononcer contre le zonage de la réserve marine, et ils étaient 71 % des pêcheurs professionnels en bateau dans ce cas. Du côté des chasseurs sous-marins, 17 % se sont déclarés opposés au dispositif réserve, et ils étaient 86 % à trouver le zonage incohérent. Les entretiens menés par A. Thomassin ont permis de mettre à jour les tensions existantes entre groupes d'usagers. Lorsque interrogés, certains pêcheurs à pied ont ainsi évoqué l'activité de kitesurf comme responsable des dégradations observées du récif corallien. De leur côté, chasseurs sous-marins et pêcheurs professionnels semblent pointer du doigt les pêcheurs à pied lorsqu'ils évoquent le piétinement et les activités de pêche comme sources de dégradation primaires du récif. Les chasseurs et pêcheurs embarqués estiment en outre que l'impact de la plongée sous-marine sur les récifs est largement sous-estimé, leur attribuant la baisse d'occurrence des rencontres avec les espèces emblématiques (raies manta/requins) ou les accusant de faire fuir les poissons (Thomassin, 2011).

3.C.3. Traduction des missions en termes de suivi écologique

Les premières études relatives aux récifs coralliens de La Réunion datent de presque 30 ans (Montaggioni et Faure, 1980). Elles rapportent l'existence de peuplements diversifiés et luxuriants, en pleine croissance (Saint-Gilles, La Saline). Depuis, les suivis se sont faits de façon ponctuelle et morcelée dans le temps, à travers des programmes scientifiques. Seuls 4 suivis pérennes, dont 3 ont durablement été intégrés au plan de gestion du GIPRNMR ont été identifiés (Tableau 13).

Parmi les réseaux de suivi de l'état de santé corallien, certains sont menés à échelle locale (suivi merra, point réserve) lorsque d'autres s'inscrivent dans un réseau régional (Commission Océan

[92] Cette notion s'inspire de celle de "plage utile" utilisée par V. Cazes-Duvat pour désigner la surface de plage qui peut être potentiellement "utilisée" par les usagers (Cazes-Duvat et Pesmes, 2002), par opposition à la plage "utilisée" qui correspond à la surface fréquentée par les usagers.

Indien) ou global de suivi (Reef Check, GCRMN, cf. 1.C.4.). Le suivi GCRMN constitue à ce jour le suivi le plus ancien. Récoltées dès 1998, ses séries temporelles permettent d'avoir un recul sur l'évolution historique du benthos et du peuplement d'espèces cibles (Bigot, 2008). Par ailleurs, comme évoqué précédemment, les suivis initiés dans le cadre de programmes scientifiques se confrontent aux limites budgétaires et donc de reproductibilité et de pérennité. Aussi, les suivis qui se poursuivent aujourd'hui s'inscrivent souvent dans un réseau plus vaste de suivi à échelle internationale ou locale, ou sont le fruit d'une collaboration entre scientifiques et gestionnaires et s'inscrivent dans un plan de gestion avec un budget dédié annuellement. Le Tableau 13, recense les suivis écologiques et biologiques pérennes existants à La Réunion sur le périmètre de la Réserve Marine.

Tableau 13 - Suivi scientifiques pérennisés, réalisés au sien du périmètre de la Réserve Marine

Intitulé des suivis	Période de suivi	Fréquence de reproduction	Paramètres suivis	Organisme en charge et partenaires
Global Coral Monitoring Network (GCRMN)	1998 - aujourd'hui	Annuel	Etat de santé des poissons et du benthos	GIPRNRMR, ECOMAR, IRD
Reef Check	2003 - aujourd'hui	Annuel	Etat de santé des poissons et du benthos	ARVAM
Suivi Merra	2007 - aujourd'hui	Annuel	Le macabit (Epinephelus merra), une espèce carnivore, indicatrice de la pression de pêche	GIPRNMR
Point réserve	2007 - aujourd'hui	Quinquennal	Etat de santé des poissons et du benthos Effet réserve	GIPRNMR, IRD, ECOMAR, MHNP, BNOI, aquarium de La Réunion

De nombreux autres suivis ont été réalisés de façons épisodiques ou ponctuelles dans le cadre de programmes scientifiques, et ont contribué à enrichir les connaissances du gestionnaire, à défaut d'enrichir le tableau de bord d'un suivi et d'indicateurs pérennes.

3.C.4. Traduction des missions en termes de suivis socio-économiques

Alors que le défaut d'intégration des sciences sociales dans l'évaluation de la performance des AMP a souvent été pointé du doigt on assiste depuis une dizaine d'années à l'essor et l'intégration de nouveaux indicateurs socio-économiques aux plans de gestion des AMP (Meur-Férec, 2007a ; Chaboud *et al.* 2008b). Ce virage tend à repositionner les sciences sociales au cœur de la gestion des AMP. Des interviews ont été menées par A. Thomassin (2011) auprès des gestionnaires d'AMP de l'océan indien afin de cerner leurs attentes en matière de suivis socio-économiques (p. 88). Les résultats ont mis en exergue une "connaissance et une compréhension erronées" des objectifs et des apports d'une étude socio-économique. Ces derniers sont en effet considérés comme la solution par défaut aux problèmes ne relevant pas de l'écologie marine. L'acceptation étant une des principales causes d'échec des projets de conservation, la demande des gestionnaires vis-à-vis des études socio-économiques se fait principalement en termes de gouvernance locale (Thomassin, 2011).

À La Réunion, à ce jour, deux programmes ont visé à intégrer les sciences sociales aux diagnostics de l'écosystème récifal :

- VALSECOR (Valeurs socio-économiques des récifs coralliens de La Réunion) dont le but était d'étudier et estimer les valeurs socio-économiques des usages du récif et dans le cadre duquel

programme la thèse de E. Mirault (2006) faisant office de première thèse en lien avec les usages de l'éco-sociosystème récifal a été réalisée ;

- PAMPA (Indicateurs de la Performance d'Aires Marines Protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leur usAges) programme mené en étroite collaboration avec les Réserves Naturelles des Bouches de Bonifacio, de Cerbère-Banyuls, de La Réunion, de St Martin, le Parc Marin de la Côte Bleue, le Cantonnement de Pêche du Cap Roux, les AMP de la Province Sud de Nouvelle-Calédonie et le projet de Parc Naturel Marin de Mayotte et en partenariat avec l'Agence des AMP et l'Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR). La finalité de ce programme était de bâtir des indicateurs portant sur les écosystèmes, les usages et la gouvernance afin d'évaluer la performance des systèmes de gestion des AMP, tout en veillant à développer un cadre méthodologique commun et atteindre une certaine généricité.

De ces deux programmes ont résulté la production de nombreux rapports, mémoires et thèses, mais finalement peu d'indicateurs pérennisés. Ce constat résulte à la fois d'une difficulté, par ailleurs rencontrée par A. Thomassin (2011), à produire des indicateurs à partir de données sociales qualitatives, à la fois du fait d'un mode de gestion écolo-centré hérité qui peine à intégrer les sciences sociales. Le programme PAMPA a débouché sur la mise en place de 3 tableaux de bords à La Réunion sous les thèmes "écosystèmes", "usages" et "gouvernance" au sein desquels des objectifs à atteindre se mesurent par des indicateurs sélectionnés (plus de 180 au total). On retrouve dans chacun des trois tableaux de bords, des indicateurs mobilisant des connaissances sociales et économiques, témoignant de leur nécessaire intégration pour atteindre certains objectifs. Ainsi la capacité du gestionnaire à atteindre le "but 2.4" qui est de "maintenir un ensemble représentatif d'habitats" est mesurée par un indicateur sur "la densité de pratiquants" de nombreuses activités au titre que certaines activités impactent le milieu (Tessier *et al.*, 2011). D'autres indicateurs visent à mesurer le degré d'acceptation de la réserve par les usagers (Thomassin, 2011), le degré de participation et la représentation des différents acteurs, et l'essentiel des indicateurs socio-économiques existants dans le tableau de bord de la RNMR sont issus de ce programme. Financée par l'IFRECOR et chapeautée par l'UMR Espace-Dev, une étude en guise "d'état 1" devrait être réalisée prochainement afin de mesurer l'évolution des perceptions et de l'acceptation sociale 7 ans après la mise en place du dispositif réserve et le projet VALSECOR.

Dès 2010, dans la lignée du programme PAMPA, un vaste programme national visant à replacer les sciences humaines au cœur de la gestion des AMP a pour enjeu de "*démontrer aux gestionnaires d'AMP que le travail sur la fréquentation maritime constitue un véritable enjeu de gestion, allant au-delà d'une simple évaluation a posteriori de l'impact de la fréquentation au sein d'une AMP*"[93]. La volonté de l'Agence des Aires Marines Protégées est de développer le tableau de bord de suivi des AMP qui comportera un volet "socio-économique" devant être co-construit, entre institutions scientifiques et gestionnaires. C'est dans ce contexte qu'est initié en collaboration avec l'UMR Espace-Dev[94] de l'IRD le suivi de fréquentation entamé en 2010 dans le cadre d'un stage de master 2 (Lemahieu, 2010) et qui fait l'objet de cette thèse. L'enjeu de ce suivi réside dans sa pérennisation et la production d'indicateurs intégrables au plan de gestion. Il a en outre été intégré au Groupement

[93] Document de travail produit par A.S. Barnay en 2009 dans le cadre d'un vaste programme de l'AAMP de revalorisation des sciences humaines dans la gestion des AMP

[94] L'UMR ESPACE-DEV développe et met en œuvre des méthodologies innovantes de spatialisation des connaissances en environnement pour le développement durable des territoires, depuis l'acquisition des données jusqu'au processus décisionnel. La finalité est de contribuer à l'émergence de réseaux d'observatoires de l'environnement pour le développement durable.

d'Intérêt Scientifique (GIS) Hommer nouvellement créé, articulé autour d'un réseau de recherche-action collaboratives qui associe gestionnaires et chercheurs pour la mise en place d'une gestion intégrée redonnant à l'Homme et au territoire la place qu'ils méritent.

3.C.5. Vers un tableau de bord intégré des indicateurs : la reconnaissance de l'éco-socio-système

Au sein du plan de gestion de la RNMR sont compilés près de 180 objectifs relevant de volets divers (gestion, suivi-inventaire, recherche, pédagogie, etc.) devant être réalisés au cours du quinquennat 2012-2017. La place y est faite aux indicateurs socio-économiques qui contribuent à évaluer la capacité du gestionnaire à atteindre ces objectifs, au travers notamment des mesures d'acceptation sociale par les groupes d'usagers (notamment les pêcheurs dont l'acceptation sociale reste un enjeu prioritaire de gestion), et de densités des usagers qui restent les métriques récurrentes. Le gestionnaire justifie cette intégration par le fait que "*la superposition des usages sur le territoire de la RNMR et des fonctions associées aux récifs coralliens nécessite un accompagnement des différents usagers vers une approche durable de leur activité*".

La prise en compte des problématiques sociales devient donc peu à peu effective dans les objectifs de gestion, ce qui témoigne d'une forme de reconnaissance d'un éco-socio-système intégrant les systèmes social et écologique. Au sein de ce premier plan de gestion, le GIPRNMR joue le jeu de l'intégration. Certains objectifs nécessitent effectivement pour leur réalisation la mobilisation des connaissances écologiques et socio-économiques (Figure 29).

OBJECTIF DE GESTION 2.3 : Assurer une gestion raisonnée des activités nautiques et touristiques au sein de la RNMR				
Améliorer les connaissances sur les activités nautiques et touristiques au sein de la RNMR				
231	Evaluer les impacts des activités sur le milieu	SI24	Croiser les données de fréquentation et l'état de santé des milieux	CO
		RE36	Mener une étude sur les services touristiques et de loisirs	CO
		RE37	Compiler les données statistiques de fréquentation, chiffres d'affaires	CO
Gérer durablement les activités nautiques et touristiques au sein de la RNMR				
232	Créer des supports de communication pour les usagers	G8	Créer et diffuser des cartes de spots de surf et points de mise à l'eau avec édition de livrets	SE
		G9	Créer et diffuser des plaquettes adaptées à tous les usagers et acteurs de la RNMR	SE
		G10	Créer des panneaux avec zone de franchissement de barrière	SE
233	Minimiser les impacts et développer des	G11	Réorganiser les activités	CS
		G12	Développer de nouveaux sites de plongée	CS

Figure 29 - Extrait du plan de gestion, zoom sur l'objectif de gestion 2.3, SI24 consistant à "croiser les données de fréquentation et l'état de santé des milieux"

Bien que La Réunion constitue l'un des sites les plus suivis de la région Ouest de l'Océan Indien, la plupart des suivis existants sont menés indépendamment les uns des autres essentiellement pour des raisons écologiques (disponibilité des espèces), mais également logistiques ou encore pour des questions d'échelles d'échantillonnage. Ce constat explique la difficulté rencontrée à poser des diagnostics intégrés Homme-milieu. Pionnier en la matière, un programme "OT-RUN mer"[95] financé par l'OSU-R[96] et l'UMR 228 Espace-dev a été mené en collaboration avec la réserve marine et ses partenaires scientifiques entre 2010 et 2013 visant à intégrer pour la première fois tous les éléments du système Homme-milieu (Figure 30). La finalité était de mettre au point des méthodes de quantification des pressions anthropiques directes (mesure de la fréquentation) ou indirectes (mesures d'acidification) sur le territoire de la Réserve marine, en vue de définir des indicateurs de perte de résistance et/ou de résilience de l'écosystème récifal (données de reproduction et de

[95] Réseau d'Observation des impacts du changement climatique sur les récifs coralliens de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion et modélisation prédictive des Trajectoires

[96] Observatoire des Sciences de l'Univers de La Réunion

recrutement coralliens, bilan des carbonates). Ce projet a donc collecté pendant 3 années des données sur :

- la reproduction et du recrutement des coraux scléractiniaires et des millépores (tâche 1 : définition d'indicateurs de perte de résistance et de résilience) ;
- la fréquentation des littoraux (tâche 2 : suivi de la pression anthropique directe) ;
- les paramètres physico-chimiques des eaux récifales (tâche 3 : bilan des carbonates).

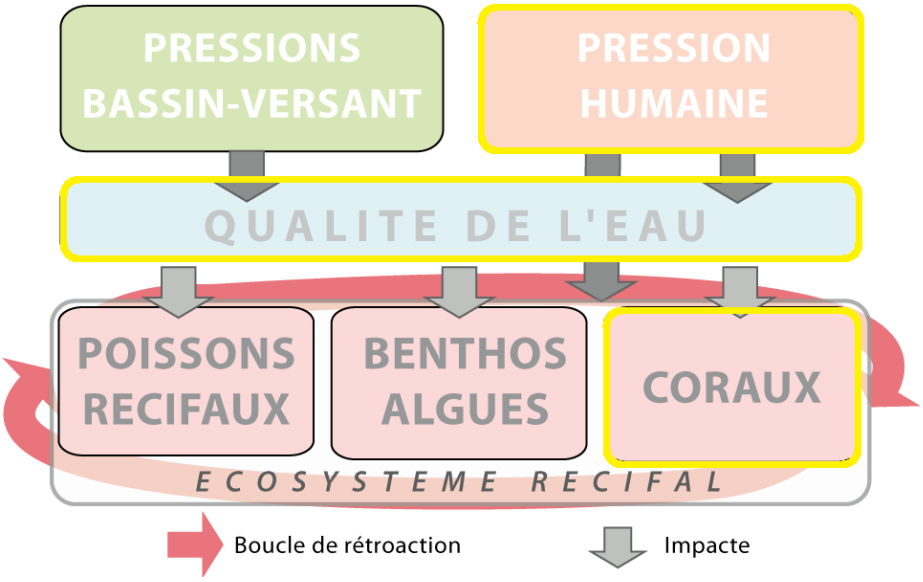


Figure 30 - Eléments du système Homme-milieu pris en compte dans le cadre du projet OT-RUN (en jaune)

L'une des restitutions de ce programme s'est faite lors du 8ème colloque international de la WIOMSA[97] (Lemahieu *et al.,* 2013b) consistant à croiser les données de fréquentation et l'état de santé récifale comme défini dans le plan de gestion. La difficulté, tel un lieu commun aux nombreux gestionnaires d'AMP, est d'intégrer durablement ces démarches scientifiques aux plans de gestion, une tâche d'autant plus difficile que nombreux suivis scientifiques sont impliqués et que leur pérennisation n'est pas systématiquement assurée.

[97] West Indian Ocean Marine Science Association

Conclusion du chapitre 3

Établie sur une côte Ouest récifale déjà fortement anthropisée, la Réserve Naturelle Marine de La Réunion doit relever de nombreux défis, dont l'un des plus primordiaux est d'atteindre des objectifs de conservation dans un contexte de changements globaux et des pressions locales importantes. Ce couplage contribue par ailleurs à exacerber les problématiques amont-aval des bassins-versants, particulièrement exacerbées sur la côte ouest récifale, et qui fragilisent l'écosystème corallien par un apport toujours plus important en eaux turbides et en nutriments.

Sur le périmètre de la RNMR se pratiquent une quinzaine d'usages dont les implications environnementales et les implications pour la gestion sont variées. Afin d'assurer la pérennité de son dispositif, le gestionnaire doit non seulement s'assurer du bon niveau d'acceptation sociale par tous les groupes d'usagers, mais également garantir un maintien raisonné des usages dont certains sont culturellement ancrés à l'instar de la pêche à pied traditionnelle. Or cette dernière mission passe par une nécessaire connaissance des pressions exercées sur le milieu et les ressources afin de mieux planifier leur régulation.

Dans la lignée du programme PAMPA, et en accord avec les principes édictés par l'AAMP, le suivi de fréquentation en contexte réunionnais a été élaboré pour produire de la connaissance sur le nombre et la répartition des usagers et apporter de nouveaux indicateurs sociaux intégrables au plan de gestion du gestionnaire. En outre, ces données quantitatives spatialisées vont permettre d'aborder des problématiques plus intégrées de diagnostic de l'état de santé récifal en mêlant les connaissances écologiques du milieu et les données d'usages. C'est ce dernier objectif qui est visé par le gestionnaire de la RNMR qui a donc mis l'accent sur ce type de démarches dans son premier plan de gestion (GIPRNMR, 2012).

Conclusion partielle

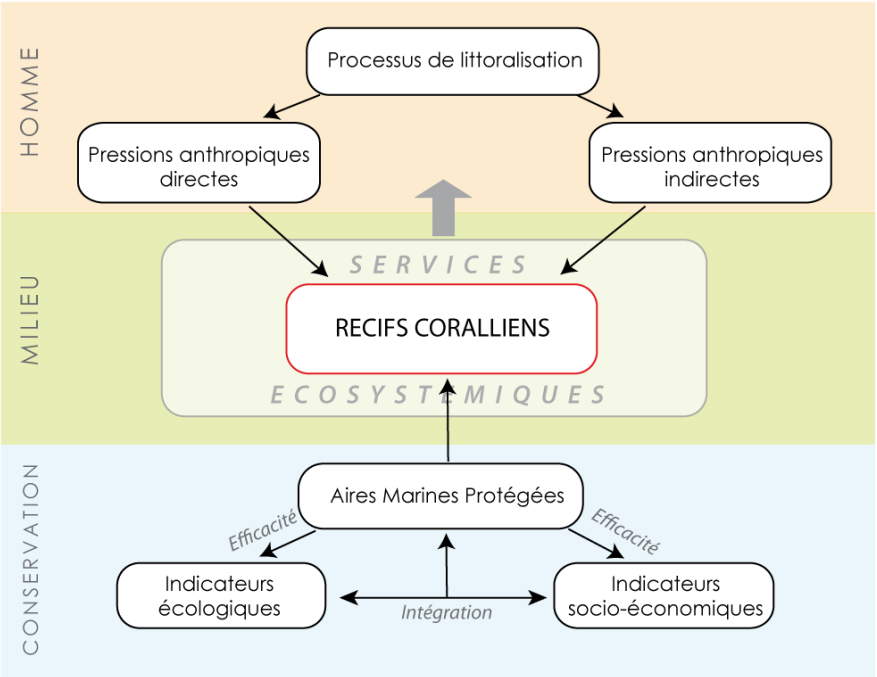


Figure 31 - Synthèse de la première partie : de la littoralisation à la conservation en milieu récifal

Les processus de littoralisation et les changements globaux contribuent à fragiliser fortement les écosystèmes côtiers. Fortement convoités pour leurs richesses écologiques et leurs ressources, les récifs coralliens comptent parmi les écosystèmes côtiers les plus vulnérables. Alors même qu'ils mobilisent des enjeux de taille qu'ils pourvoient de nombreux services, assurant parfois jusqu'à la sécurité alimentaire dans certaines contrées des pays du sud, ils sont particulièrement exposés et sensibles aux changements globaux et aux pressions anthropiques. Les impacts de nature anthropique sont de plusieurs ordres, ils relèvent à la fois :

- de processus indirects à l'instar des apports des bassins-versants rendus progressivement plus néfastes par une urbanisation croissante, une agriculture encore peu soucieuse de l'environnement et des systèmes d'assainissement encore trop peu performants ;
- des pressions directes occasionnées par les usages pratiqués en milieu marin et des interactions entre l'Homme et le milieu.

Dans ce contexte, on assiste à la généralisation des mesures de conservation comme en témoigne la densification du réseau d'Aires Marines Protégées à travers le monde et l'échelle du territoire français métropolitain et ultra-marin. Pour atteindre les objectifs de conservation fixés par les différentes instances (l'Agence des Aires Marines Protégées en France) et les textes internationaux, les gestionnaires, avec l'appui des chercheurs, mettent en place des suivis écologiques, et plus rarement socio-économiques. Ces suivis et les données qu'ils produisent permettent de développer des indicateurs servant à mesurer régulièrement l'efficacité de la mise en œuvre du plan de gestion et de ses multiples objectifs de conservation et de valorisation du milieu et des activités humaines. En France, le constat a été fait au cours de la dernière décennie d'un manque d'intégration des problématiques sociales au sein des plans de gestion, ce qui a impulsé une vague de programmes, de

thèses et de productions scientifiques visant à explorer les problématiques de gestion des AMP à travers le prisme des sciences sociales.

À La Réunion, une Réserve Naturelle Marine (RNMR) a été mise en place en 2007 afin d'assurer la protection d'un récif frangeant déjà fortement dégradé. Ce dernier borde une côte Ouest en proie à de fortes dynamiques d'urbanisation et siège d'une importante activité balnéaire récréative. Par rapport à la moyenne des AMP à échelle nationale ou internationale, les sciences sociales ont été intégrées relativement tôt à la gestion mais commencent seulement à se faire une place au sein des tableaux de bord. Le suivi de fréquentation au sein de la RNMR élaboré et entamé dès 2010 qui vient compléter les connaissances acquises sur les usages (Mirault, 2006 ; Thomassin, 2011) apporte une information nouvelle sur le nombre d'usagers, leurs territoires de pratique et leurs dynamiques spatio-temporelles. Comme nous pourrons le voir, ce suivi mobilise de nombreux enjeux en matière de production d'indicateurs et de contribution à la recherche transdisciplinaire en milieu récifal réunionnais (Figure 31).

PARTIE 2. La fréquentation au sein de la réserve naturelle marine : diagnostic de l'état initial et analyse des dynamiques spatio-temporelles

La fréquentation nautique et balnéaire au sein de la réserve marine est multiple. Près d'une quinzaine d'usages regroupés sous une dizaine de catégories ont été identifiés en amont dans le cadre des premières études ayant porté sur les usages (Mirault, 2006). Historiquement, les études menées en lien avec les usages à La Réunion ont tantôt produit de la donnée essentiellement qualitative en recourant à des questionnaires, à l'instar des études de E. Mirault (2006) ou de A. Thomassin (2011), tantôt de la donnée quantitative mais morcelée dans le temps et l'espace à l'instar de l'étude sur la chasse sous-marine de G. Bertrand (2000) ou de l'étude sur la fréquentation globale de V. Cazes-Duvat et O. Pesmes (2002). Dans un contexte local caractérisé par une forte anthropisation littorale où l'on peut s'attendre à observer de fortes densités d'usagers répartis sur un long linéaire côtier (44 km), et compte tenu de la présence d'un récif frangeant limitant l'accessibilité, l'élaboration d'un protocole optimisant et reproductible constitue un véritable challenge. Elaboré dans le cadre du stage de master 2 de l'auteure, ce protocole a dû par ailleurs répondre à un impératif de disponibilité limitée en main-d'œuvre. Tous ces points sont autant de paramètres qui ont contraint les choix méthodologiques et le processus d'élaboration du suivi.

La répartition de la fréquentation peut être, comme évoqué dans le chapitre premier (cf. 1.A.1.1.), expliquée par de nombreux facteurs, des propriétés naturelles du site (aménités) aux commodités (sanitaires, restauration) en passant par les conjonctures politico-sociale et touristique. En effet, certains événements peuvent durablement impacter les dynamiques de répartition. La période 2011-2012 a été marquée par une succession d'attaques de requin sur le périmètre de la réserve marine. Les répercussions sociales, politiques et économiques de ces événements ont donné naissance à une "crise requin" dont les impacts n'ont, à ce jour, pas été quantifiés par voie académique, mais dont les effets sur le comportement des usagers, sur l'économie balnéaire et le tourisme ont été largement ressentis et ont alimenté et continuent d'alimenter les médias (annexe 4). Au regard de ce contexte, l'année 2010, qui fait office de première année de suivi, présente toutes les caractéristiques d'un état initial de la répartition spatio-temporelle de la fréquentation, dès lors qu'aucune crise sociale (crise requin 2011-2013), aucun épisode de pollution (février 2012, épisode de pollution à Saint-Leu[98]) n'est sont venu perturber les dynamiques de répartition. Cette campagne de relevés de 2010 doit ainsi pouvoir constituer une base de connaissances solides sur la répartition spatiale et temporelle de la fréquentation et des usages. Afin d'en étudier l'évolution dans le temps, 3 années de suivi ont été budgétisées[99] par la suite.

Cette seconde partie vise donc à présenter dans un premier temps nos choix méthodologiques d'acquisition et d'analyse de données (chapitre 4). Dans un second temps on s'attachera à décrire les dynamiques spatiales et temporelles observées pour l'année 2010, afin de décrire au mieux et pour chaque usage ce qui constitue un schéma de répartition initial. Non exhaustif, un inventaire des

[98] Le débordement d'une station d'épuration lors de fortes pluies estivales ont causé une pollution des eaux du lagon durant plusieurs mois (voir annexe 3)

[99] Les financements proviennent du GIPRNMR, de l'UMR 228 Espace-Dev et du programme OT-RUN financé par l'OSU-R (Observatoire des Sciences de l'Univers de La Réunion) et du programme CHARC (Connaissance de l'HAbitat de deux espèces de Requin Côtiers)

paramètres décrivant les aménités, les commodités et l'accessibilité des sites sera réalisé en vue d'évaluer leur potentiel attractif et leurs effets sur les dynamiques de répartition (chapitre 5). Puis on s'attachera à décrire et synthétiser l'évolution spatiale et temporelle interannuelle observée entre 2010 et 2012 pour la fréquentation générale, et pour quelques catégories d'usages mobilisant des enjeux sur le plan de la gestion (GIPRNMR, 2012). Nous discutons des variations spatio-temporelles interannuelles de la fréquentation à la lumière de la crise requin et les fluctuations du tourisme afin d'évaluer dans quelle mesure la fréquentation balnéaire peut constituer un indicateur de crise sociale et de santé touristique (chapitre 6). À ces fins, les données de 2013 sont mobilisées.

Chapitre 4. Méthodologie pour l'acquisition et l'analyse des données de fréquentation

Ce chapitre présente la méthodologie générale d'acquisition et du stockage des données et identifie les contraintes locales. Originellement inscrit dans une demande sociétale, celle de la réserve marine de La Réunion d'obtenir des données d'usages, le protocole a été pensé et élaboré en vue de sa reproduction sur le long terme. Contrairement à la plupart des études identifiées dans la littérature (cf. 2.A.2), ce suivi aspire à recenser dans un temps limité tous les usages qui sont pratiqués au sein de la RNMR, lesquels ont préalablement fait l'objet d'un inventaire et d'une typologie (Mirault, 2006). Les facteurs pouvant influer sur la répartition des usagers dans le temps et dans l'espace sont nombreux. Sur la base de l'année de référence 2010, un inventaire et une analyse des critères d'accessibilité, d'aménités et de commodités sont menés afin d'évaluer dans quelle mesure ils peuvent expliquer la répartition des usagers, hors événement perturbateur de type "crise requin".

Dans une première partie, les méthodes d'acquisition et de gestion des données sont décrites. Le recours à un Ultra-Léger-Motorisé (ULM) a nécessité la mise en place d'un protocole rigoureux de suivi de la fréquentation afin de recenser 15 usages à l'échelle d'une réserve marine de 44 kilomètres de long en un temps minimum. Les choix faits en matière de gestion et stockage des données sont explicités et l'échantillonnage spatial et temporel est décrit. Une seconde partie expose les méthodes d'analyses, statistiques descriptives, ou de cartographie qui ont permis de mesurer l'évolution de la fréquentation dans le temps et l'espace. Une troisième partie, enfin, présente la méthodologie adoptée pour l'inventaire des paramètres attractifs et pour l'évaluation du lien entre les niveaux d'équipement et d'aménités des sites et la répartition des usagers.

4.A. Protocole d'acquisition et de gestion des données

À la lumière des enseignements tirés de la bibliographie, et à partir de l'expérience de terrain et avis des experts de toutes origines travaillant en lien avec la gestion du milieu marin, nous définissons ici le cadre méthodologique ayant servi à jalonner les différentes étapes de l'acquisition, du traitement et de la restitution des données.

4.A.1 Justification des choix méthodologiques pour l'acquisition des données de fréquentation

4.A.1.1 Le terrain comme contrainte de la méthode

Pour un site donné, la méthodologie va fortement dépendre des caractéristiques du lieu. Généralement, dans le cas "d'espaces fermés", les points d'entrée et de sortie constituent des lieux de passage et donc de postes de comptage potentiels (Arnberger et Branderburg, 2002), et à partir d'où une mesure des flux de visiteurs peut être envisagée (Muhar *et al.*, 2002). Cette méthode nécessite un ou des observateurs fixes, ou alors du matériel de comptage automatique tel que des boucles magnétiques, capteurs infrarouges ou sensoriels, etc. (Brigand et Le Berre, 2006). Ce type de procédé peut être déployé en contexte littoral à condition qu'il s'agisse de plages à accès limité (Deacon and Kolstad, 2000). Les techniques de recensement recourant à l'appareil photographique qui permet de figer des scènes (Robert *et al.,* 2008) ne sont envisageables que lorsque la configuration du site offre une perspective. Ainsi la présence d'un promontoire aux abords des plages de Nice a permis à S. Robert *et al.* (2008) l'installation d'un appareil photographique acquérant des scènes de la plage à haute fréquence temporelle ou "*time-lapse photographies*". Si ce promontoire n'avait pas existé, la méthodologie s'en serait vue complètement modifiée, obligeant le chercheur à faire appel à des observateurs en itinérance sur la plage ou à un appareil aéroporté. À l'inverse, lorsque l'espace présente une configuration « ouverte », le ou les observateurs sont itinérants à l'échelle du terrain d'étude ou d'une sous-zone prédéfinie (Cazes-Duvat et Pesme, 2002 ; Lemahieu *et al.*, 2010 ; Mirault, 2006). Cette méthode de comptage itinérante est qualifiée de « progressive " par Pollock *et al.* (1997). La campagne d'acquisition se voit optimisée dans son rapport temps-distance si l'on recourt à un aéronef, outil qui permet de parcourir la zone d'étude dans un temps court et qui ne requiert qu'un seul ou deux observateurs.

4.A.1.2. Un recours croissant au couplage aeronef-appareil photographique

Afin de parer aux contraintes spatiales (grandes surfaces à échantillonner) et à une main-d'œuvre peu disponible en contexte de gestion, on recourt de plus en plus souvent à l'utilisation de l'outil photographique (Robert *et al.,* 2008) pour réaliser des "instantanés" figés sur clichés photographiques (Dormois *et al.*, 2000 ; Jollit, 2010 ; Le Berre *et al.*, 2010). Procéder par « instantanés " permet de cerner de façon exhaustive la population d'un espace à un instant "T", ou "*instantaneous counts*" dans la littérature anglosaxonne (Veiga *et al.*, 2010) et se distingue souvent par l'analyse spatio-temporelle des données résultantes (Lockwood, 2000). Cette mesure se rapproche du concept de "Fréquentation Maximale Instantanée" ou FMI. Ce concept utilisé par de plus en plus d'auteurs fait référence au code de la santé publique définissant un seuil à ne pas dépasser dans la fréquentation des espaces de baignade fermés. Ici la mesure donne une indication sur la pression maximale à un instant "T" sur l'environnement.

Le couplage photographies-aéronef, héritage de l'écologie (suivi de populations fauniques, Tasker *et al.*, 1984 ; Seber, 1986 ; Okamura, 2003 ; Certain et Bretagnolle, 2008 ; Rowat *et al.*, 2009) se trouve

particulièrement adapté pour mesurer un "instantané" de fréquentation, et à plus forte raison lorsqu'il s'agit de recenser de fortes densités d'individus, afin de s'approcher d'un FMI comme cela peut-être souvent le cas sur les plages. Ces types d'outils sont amenés à être aujourd'hui de plus en plus utilisés car ils présentent une meilleure précision, et permettent des observations instantanées, répétées ou en continu (Tasker *et al.*, 1984 ; Brigand *et al.*, 2008). En effet, les comptages ponctuels ou "*one-day counting*", et leurs modèles d'extrapolation ne peuvent plus être satisfaisants car ils sont généralement peu représentatifs de la réalité (Muhar *et al.*, 2002).

4.A.1.3. Fréquentation et séries temporelles

Au sein de la bibliographie retenue, très peu d'études (moins de 10 identifiées) ont été menées sur le long terme. Les études ayant été menées sur le plus long terme (25 ans pour Dwight *et al.*, 2007 et 7 pour Harada *et al.*, 2011) ont été rendues possible grâce l'utilisation de registres, soit un recours à des méthodes de comptage indirect. Mobilisant peu de moyens humains et matériels, ces méthodes se trouvent tout à fait adaptées si la finalité est d'obtenir des séries temporelles de données.

Au travers de suivis pérennisés, parfois appelés "observatoires", les chercheurs parviennent à obtenir des séries temporelles de données et à ainsi suivre l'évolution des usages sur un moyen ou long terme. De même, la pérennisation de ces suivis permet l'élaboration d'indicateurs de suivis utiles à la gestion ou leur mise en perspective avec d'autres jeux de données, écologiques ou économiques. Liu *et al.* (2012) ont réalisé une série temporelle de 6 années de suivi d'une dizaine d'usages pratiqués dans le Kenting National Park à Taïwan. Les séries acquises ont alimenté une démarche systémique (température, salinité, Ph, nutriments, etc.) afin de mieux comprendre les interactions Hommes-milieu et mesurer les impacts anthropiques sur les coraux. Les "observatoires" de la fréquentation constituent à ces égards un aboutissement, mais peu d'exemples existent. Les travaux de synthèse bibliographique de N. Le Corre *et al.* (2012) ont permis d'en dénombrer en France une quinzaine. Cet outil fait l'objet d'une discussion en troisième partie.

4.A.1.4. Choix méthodologiques résultants

Si l'on souhaite établir un diagnostic de fréquentation à l'échelle de la réserve, il faut pouvoir parer aux contraintes inhérentes à la configuration linéaire de la RNMR (44 km de linéaire côtier pour moins de 500 mètres de large en moyenne), à la forte urbanisation littorale qui induisent une accessibilité fortement variable d'un site à l'autre. D'une façon générale, à l'échelle du territoire de la RNMR et en comparaison avec d'autres configurations d'AMP (la taille moyenne des AMP française est de 3 060 km² contre 35 km² pour la RNMR) nous avons affaire à une "petite" AMP. De même, la présence d'un récif frangeant jeune, étroit et peu profond (cf. 3.A.1.) contraint la navigation, créant ainsi une barrière naturelle entre la côte et la pente externe. Aussi, en raison des contraintes de site, l'utilisation de moyens aéroportés de type Ultra-Léger-Motorisé (ULM) s'est rapidement imposée en 2009 lors du dépôt du projet à l'AAMP.

La présence à proximité de la Réserve d'une base ULM a garanti une acquisition ciblée dans le temps (conditions météo variées) et aisément multipliable. Les vols ULM sont par ailleurs utilisés dans la réserve pour plusieurs thématiques de suivi telle que celle des tortues marines (Jean *et al.,* 2010) et la détection du blanchissement corallien interannuel (Nicet et Turquet, 2004 ; Pennober et Borius, 2010). Plusieurs outils complémentaires d'acquisition ont été envisagés :

- le recours à un appareil photo numérique ;

- l'utilisation de matériel vidéo en vol, mais le traitement considérable qu'il induit en termes de stockage des données numériques ne pouvait convenir dans la perspective de l'application du protocole à long terme. Par ailleurs l'exploitation et l'extraction des données a posteriori est plus difficile que pour la méthode des clichés photographiques ;
- enfin, certains auteurs recourent au comptage visuel, une méthode couramment utilisé lors d'opérations de recensement d'avifaune (Tasker *et al.*, 1984 ; Okamura, 2003 ; Certain et Bretagnolle, 2008 ; Rowat *et al.*, 2009).

Le dernier cas étant exclu d'emblée, une discussion s'est engagée sur les deux premières options. Dans les deux cas, il s'agit de modes d'acquisition qui induisent des opérations lourdes de post-traitement. S. Roger *et al.* (2008) ont évoqué les difficultés de dénombrer les usagers d'une plage surpeuplée. Compte tenu des fortes concentrations humaines observées dans le cadre des différents suivis de la fréquentation effectués au cours des années 2000 par V. Cazes-Duvat (2000) et E. Mirault (2006), les méthodes de suivi à partir de comptages à vue ou par marquage GPS (Jean *et al.*, 2010) ne pouvaient convenir. En outre, les dimensions latérales du territoire de la réserve pouvant atteindre 1,6 km auraient nécessité une trajectoire méandreuse de l'ULM allongeant ainsi le temps de parcours. Ajoutons à cela la vitesse moyenne de l'appareil (90 km/h) qui n'aurait pu permettre un comptage à vue dès lors que la fréquentation est forte.

Cette dernière contrainte justifie ainsi une acquisition des données par prise de photographies en vue de "figer les scènes". Compte tenu de la distance minimale de survol fixée à 300 mètres[100] la résolution minimale pour une bonne photo-interprétation est au minimum de 10 méga pixels. L'arrière-plage et les filaos privant l'observateur de la vision d'une partie de la plage dans le cas d'un vol à la verticale du trait de côte, les photographies ont été acquises en oblique, ce qui n'a pas permis leur orthorectification et donc leur bancarisation dans une base de données spatialisée à l'instar des travaux de Vacher *et al.* (2014). Les marquages à terre et les bouées en mer délimitant les différentes zones constitutives du zonage de gestion ont facilité l'affectation des observations à un polygone de référence.

[100] Art. 19 du décret n.2007-236 du 21 Février limitant la circulation des « aéronefs motopropulsés » au-dessus de la réserve à une altitude minimum de 300 m.

4.A.2 Définition des contraintes locales

4.A.2.1. Terrain d'étude

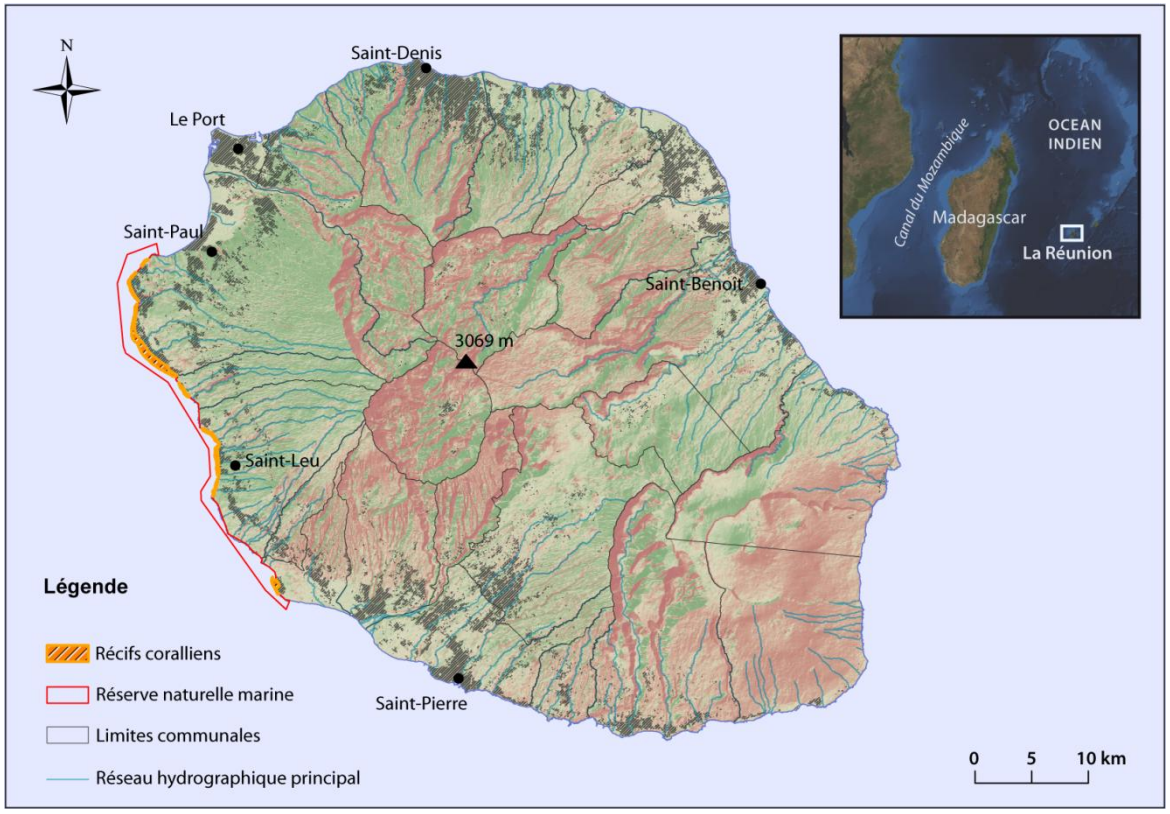


Figure 32 - Localisation du terrain d'étude, délimitations de la RNMR

Le terrain d'étude correspond au territoire de gestion de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion et s'étend sur un linéaire côtier de 44 km pour 3657 hectares, du Cap La Houssaye sur la commune de Saint-Paul à la Roche aux Oiseaux sur la commune de l'Etang-Salé au sud. Ses dimensions latérales sont assez variables en fonction des endroits, elles sont de 1,6 km de large au maximum et 150 m au minimum (Figure 32).

4.A.2.2. Typologie des usages

Les formes diversifiées du linéaire côtier, les différentes configurations du littoral induisent des pratiques elles aussi diversifiés dans leur nature et leur répartition. Il existe autant de typologies qu'il existe d'objectifs aux protocoles de suivis. On aura tendance à distinguer les usages professionnels des usages récréatifs si l'intérêt de l'étude est économique, consiste en un suivi des pêcheries ou porte sur une étude de tourisme. En revanche, comme évoqué par J. Alos et R. Arlinghos, cette typologie devient inadaptée dans un contexte où la pression de pêche récréative a les mêmes impacts que la pêche professionnelle (Alos et Arlinghos, 2012). La classification faite par E. Mirault (2006) en usages directs, semi-directs et indirects (cf. 3.B.2.2.) a été originellement été élaborée pour l'évaluation la valeur écosystémique des récifs. Or, cette typologie trouve un intérêt second relevant des problématiques d'impacts par la dissociation des usages extractifs et non extractifs, et par la dissociation fortuite des usages recourant à des engins motorisés (usages semi-directs) et des usages n'y recourant pas (usages indirects). En effet cette typologie a pour vocation seconde de différencier les usages selon leur degré d'interaction avec le milieu.

Nous avons ainsi procédé à l'identification et la classification des usages pratiqués au sein de la réserve marine en 2010, à partir de la typologie élaborée par E. Mirault (2006). A l'épreuve du terrain cette typologie des usages a dû être reconsidérée. En effet, les limites de visibilité ne permettent pas la reconnaissance de certaines activités ; le problème de la distinction entre pêche professionnelle embarquée et pêche plaisancière embarquée s'est par exemple posé. Par ailleurs, le critère de la logique de répartition a été retenu, puisque chaque activité a une logique de répartition propre, indépendamment de la catégorie à laquelle elle appartient. Aussi, lorsque certaines activités ne sont pas exclusivement associées à une catégorie d'usages (ex : le paddle ou le PMT) elles sont affectées à la catégorie la plus pertinente du point de vue du critère de répartition (ex : les activités nautiques se pratiquent sur le complexe récifal, aussi les activités de paddle et de PMT ont été affectés à cette catégorie). Aussi, face à ces contraintes, cette typologie d'origine a été remaniée et a été validée par l'équipe scientifique (Tableau 14), résultant dans une typologie de 10 catégories d'usages et 15 usages.

4.A.2.3. Référentiel spatial

Le zonage de la réserve[101] est *in situ* délimité par des bouées en mer et des marquages à terre (peinture sur murets, arbres repères, etc.), ce qui permet l'identification des zones et l'attribution des observations à la zone de référence. Constitué de 113 zones et défini d'après des critères géomorphologiques il fait donc office de référentiel spatial support des fréquences dans le cadre de cette thèse. Par ailleurs, il remplit les conditions suivantes :

- la gestion de la réserve (GIPRNMR) l'utilise depuis 2000 pour toutes les questions relatives à la gestion de l'espace le zonage du programme PAMPA (*http ://wwz.ifremer.fr/pampa*). Qu'il s'agisse des reports de missions par les écogardes ou de suivis scientifiques, il constitue le maillage référent pour de nombreuses études ce qui garantie une bonne interopérabilité des données ;
- il s'avère pertinent dans la mesure où il est homogène d'un point de vue géomorphologique, comme le sont les logiques de répartition des différents usages (ex : une embarcation ne peut avoir comme aire de pratique le platier ou la dépression d'arrière-récif).
- dès lors que chaque polygone a des propriétés géomorphologique et juridique (réglementation) le zonage sera exploité au cours de cette thèse selon différentes grilles de lecture selon les problématiques abordées.

Bien qu'une Aire Marine protégée telle que la RNMR se limite par définition au domaine marin[102], force est de constater que cette délimitation peut être inappropriée pour aborder certaines questions : si l'on souhaite traiter de la fréquentation de la RNMR on ne peut définitivement pas ignorer les constructions sédimentaires littorales (plages et dunes) dans la mesure où elles font partie intégrante du système littoral (dynamiques sédimentaires) mais surtout parce qu'elles sont des espaces dont la fréquentation, l'occupation du sol et la morphologie ont une influence sur celle du domaine marin situé en aval. Ne s'intéresser ici qu'à la fréquentation du domaine marin au sens strict risque d'aboutir à une sous-estimation de cette dernière puisqu'une interdépendance entre

[101] Dès 2003, un comité de pilotage mandate une comité de sage pour élaborer une synthèse de la médiation environnementale et proposer un zonage. Suite au retrait du projet de réserve des communes du Sud, le zonage s'arrête à l'Etang-Salé. Le zonage de gestion a subi des modifications au cours du temps. Il est aujourd'hui constitué de 115 zones suite aux dernières modifications opérées le 4 février 2013 par un comité technique (IRD, Ifremer, RNMR), mais ces modifications étant intervenues en cours de thèse, le zonage original de 113 zones a été conservé pour cette étude.

[102] Selon l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP), les Aires Marines Protégées (AMP) sont des espaces délimités en mer qui répondent à des objectifs de protection de la nature à long terme.

usages marins et côtiers est a *priori* effective. Aussi, le terrain d'étude résulte-t-il ici de la combinaison i) du territoire de la réserve et ii) d'une largeur de côte correspondant aux plages et arrière-plages (lorsqu'elles existent), hors bâti ; elles constituent un apport supplémentaire de 132,2 ha (Figure 33).

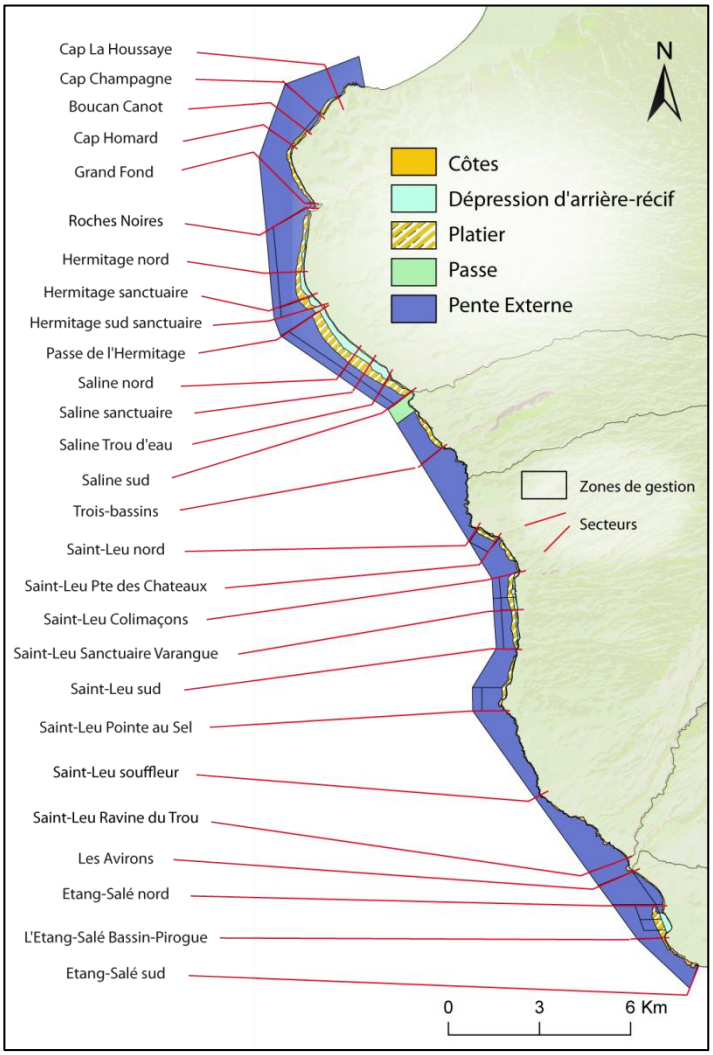


Figure 33 - Zonage de gestion et adaptation pour la représentation spatiale de la répartition et de son évolution.

Les mailles du zonage de gestion sont de tailles inégales. Près de 83 % du zonage correspond à des zones "PE" de pentes externes, puis les platiers arrivent en seconde position des ensembles géomorphologiques les plus représentés (8,8 %). La plus grande zone est la pente externe de Trois-Bassins sud (2,38 km²) et la plus petite la côte de Saint-Leu Grand-Etang, non visible sur cette carte (0,0036 km²). La taille moyenne des zones est de 0,32 km² soit 32 hectares. Pour une représentation cartographique à l'échelle de la réserve, certaines mailles deviennent ainsi invisibles. Un zonage "sectorisé" en 27 secteurs résultant de l'agrégation des zones de la côte à la pente externe est adopté pour améliorer la lisibilité cartographique. Cette adaptation ne perd pas le lecteur qui a connaissance des aires privilégiées de répartition des différents usages (cf. 4.A.2.2.).

Tableau 14- Classement des activités en catégories d'après les contraintes méthodologiques.

		Typologie de référence	Typologie adaptée	Abréviation	Sous-catégories	Description et mode de recensement	Activités type	Zones privilégiées de répartition
Usages directs	Extractifs	Pêche professionnelle embarquée Pêche plaisancière embarquée	Embarcations	PE		La catégorie "embarcations" regroupe les activités nécessitant une embarcation, généralement motorisée. Sont comptabilisées dans cette classe toutes les embarcations, plaisancières ou professionnelles sans distinction possible du fait d'une visibilité réduite. Par défaut, tout type d'embarcation n'étant pas reconnue comme de plongée ou de découverte, est assimilée à cette catégorie. On retrouve ces activités en zones PE essentiellement. L'unité de recensement est le bateau.	Bateaux de tous types à l'exception des bateaux de découverte et de plongée	PE
		Pêche à pied	Pêche à pied	PP		Cette catégorie désigne les pratiques de pêche qui ne nécessitent aucune embarcation. Elle regroupe tous les types de pêches pratiquées au sein de la réserve, à l'exception de la pêche sous-marine. Activité qui se concentre sur les zones Côte, DAR et PL. L'unité de recensement est l'usager.	Pêche Gaulette, au Baton, au filet, etc.	Côte, DAR et PL
		Chasse sous-marine	Chasse sous-marine	CSM		Dans cette catégorie se comptabilisent les activités de plongée sans égard au matériel, mais dont la finalité est la pêche. Activité qui se pratique généralement en zone PE. L'unité de recensement est l'usager.	Pêche sous-marine	PE, Passes
	Non-extractifs	Découverte du milieu marin	Découverte du milieu marin	AD		Sont considérées comme appartenant à cette catégorie toutes les embarcations à vocation touristique. Font l'objet d'une catégorie à part puisque distinguables depuis les airs (bateaux reconnaissables à leurs publicités/motifs/couleurs). L'unité de recensement est le bateau.	Bateaux touristiques de découverte du milieu	PE
		Plongée sous-marine	Plongée sous-marine	PL		L'activité de plongée sous-marine en bouteille nécessite très souvent une embarcation pour rallier le site. Elles se pratiquent exclusivement à l'intérieur des unités PE, à proximité de la barrière ou Pente Externe. L'unité de recensement est le bateau de plongée. Au besoin des extrapolations sont faites sur la base de dires d'experts (6 plongeurs par bateaux en moyenne).	Plongée bouteille.	PE, Passes
Usages semi-directs		Fréquentation "balnéaire et plagique"	Plage	Plage		Sont considérées par défaut comme usagers des plages les personnes se trouvant sur les unités "Côte", et ce quelle que soit la finalité de leur présence : promenade baignade ou bronzette aucune distinction depuis les airs ne pouvant être fait. Leurs activités ont été détaillées par Léa G. (2010)	Bronzette, observation, promenade, tourisme	Côte
			Baignade	B		Sont considérés comme usagers se livrant à la baignade ceux qui ont au moins de l'eau jusqu'aux chevilles. Ils occupent généralement les unités "DAR" ou "PL" et peuvent aussi se trouver en "PE" en fonction des plages (PE boucan-Canot).	Bains de soleils, baignade	DAR, PL et PE
		Sports de Glisse	Sports de glisse	SG	Surf Windsurf Kitesurf	Par la catégorie sports de glisse sont concernés tous types d'activités nécessitant l'utilisation d'une planche. Activités se pratiquant à cheval sur les zones PE et PL. L'unité de recensement est le pratiquant	Surf Kitesurf, Windsurf	PL, PE et Passes
		Autres activités nautiques	Activités nautiques	AN	Palmes-Masque-Tuba (PMT) Canoé/kayak Pedalo Paddle	Cette catégorie regroupe les activités nécessitant l'utilisation de petites embarcations (kayak, canoë-kayak, dériveurs, etc.) ou de petit matériel (Palmes) pouvant par contact détériorer le corail. Ces activités se limitent généralement aux unités DAR et PL. L'unité de recensement est l'engin pour les catégories de canoë-kayak, pédalos et dériveurs et l'usager pour le PMT et le paddle	PMT, paddle, Pédalo, Kayak, Canoé, dériveurs (optimists)	DAR, PL et PE
			Jet ski	JS		Les Jet-Skis sont des motos marines propulsées par hydrojet. Leur circulation est prohibée au sein de la réserve, sauf pour sortir ou entrer d'un port. L'unité de recensement est l'engin.		PE, Passes

4.A.3. Outils et protocole déployés

4.A.3.1 Outils

Le plan de vol en ULM est imposé par la configuration base ULM/terrain d'étude. En effet la base aérienne se trouve dans la zone industrielle de Cambaie sur la commune de St-Paul au nord de la réserve et 9 Kilomètres séparent la base de la limite nord de la réserve naturelle (Cap La Houssaye). Aussi chaque parcours du linéaire de la réserve impose un trajet retour à la base. Chaque vol s'effectue donc selon un trajet aller-retour. La distance parcourue de 85 km pour une durée de 50 minutes en moyenne (25 min aller et 25 min retour) dont 6 minutes sont nécessaires pour rallier la zone d'étude depuis la base. Cette durée de trajet est amenée à varier selon les conditions météorologiques. En conditions de forts vents, comme cela est souvent le cas en hiver austral (vents de sud-est) le temps moyen de trajet peut être raccourci à l'aller et rallongé sur le retour (Figure 34).

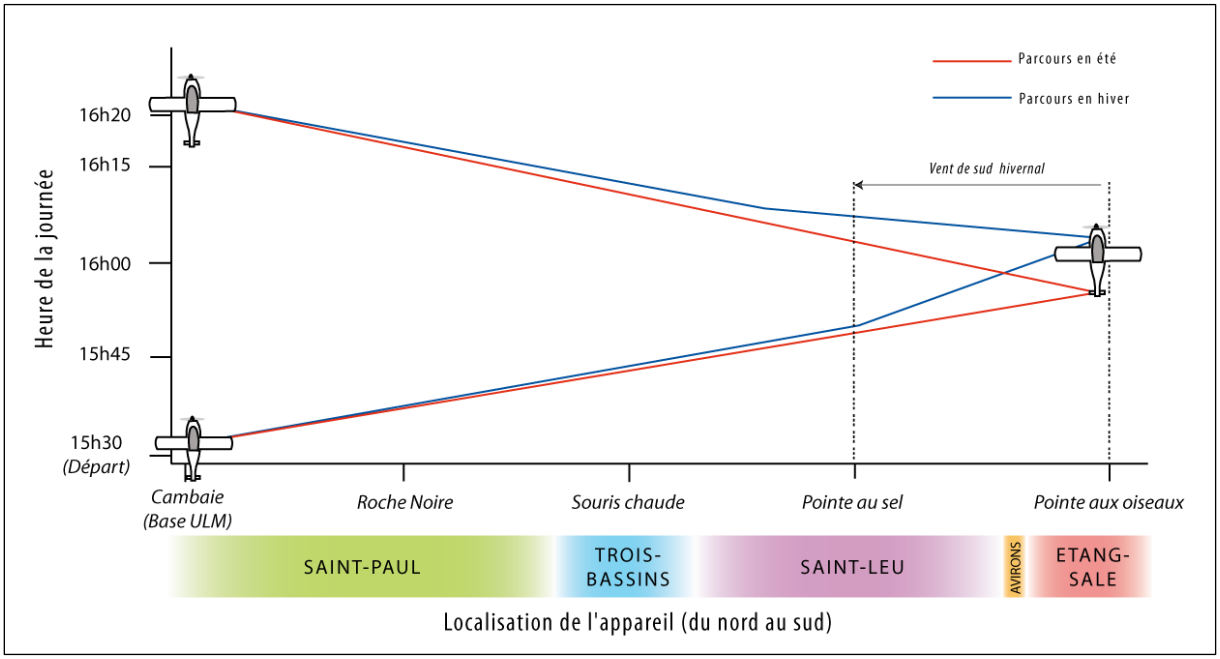


Figure 34 - Heure moyenne et lieu du passage estimés de l'appareil lors des survols. Adapté de Smallwood (2009).

L'appareil utilisé dans le cadre du projet est un ULM trois-axes Raus S7 courier dont la configuration haute des ailes et la position du passager à l'arrière du pilote facilitent l'observation. Avec une autonomie pouvant aller jusqu'à 5 heures, il peut voler à une vitesse allant de 90 km/h à 200 km/h. L'observateur se munit d'un appareil photo réflexe numérique de haute résolution (10 Millions de pixels) et à objectif 18-70 mm. Les vols tests ont permis de rendre compte que certains éléments qui ne peuvent être observables à œil nu depuis l'ULM l'étaient lors du post-traitement sur photographies. Aussi, le linéaire côtier de réserve est photographié sur toute sa longueur. Par ailleurs ces mêmes vols ont mis en évidence que la méthode d'acquisition des données par photographie ne pouvait convenir pour recenser les activités localisées dans les zones distales de la réserve (pentes externes notamment), car le manque de repères ne permet pas d'identifier la zone dans laquelle se trouve l'objet. Aussi, étant donné que l'identification est plus aisée pendant le vol qu'en post-traitement, l'observateur dispose en complément de l'appareil photographique, d'une carte pré imprimée du zonage de la réserve réparti sur 3 feuilles A3 sur lesquels sont reportées les observations faites sur les pentes externes de la réserve (annexe 5).

4.A.3.2. Protocole d'acquisition

L'observateur dispose donc de deux passages pour l'acquisition des données, lesquels doivent être exploités au mieux :

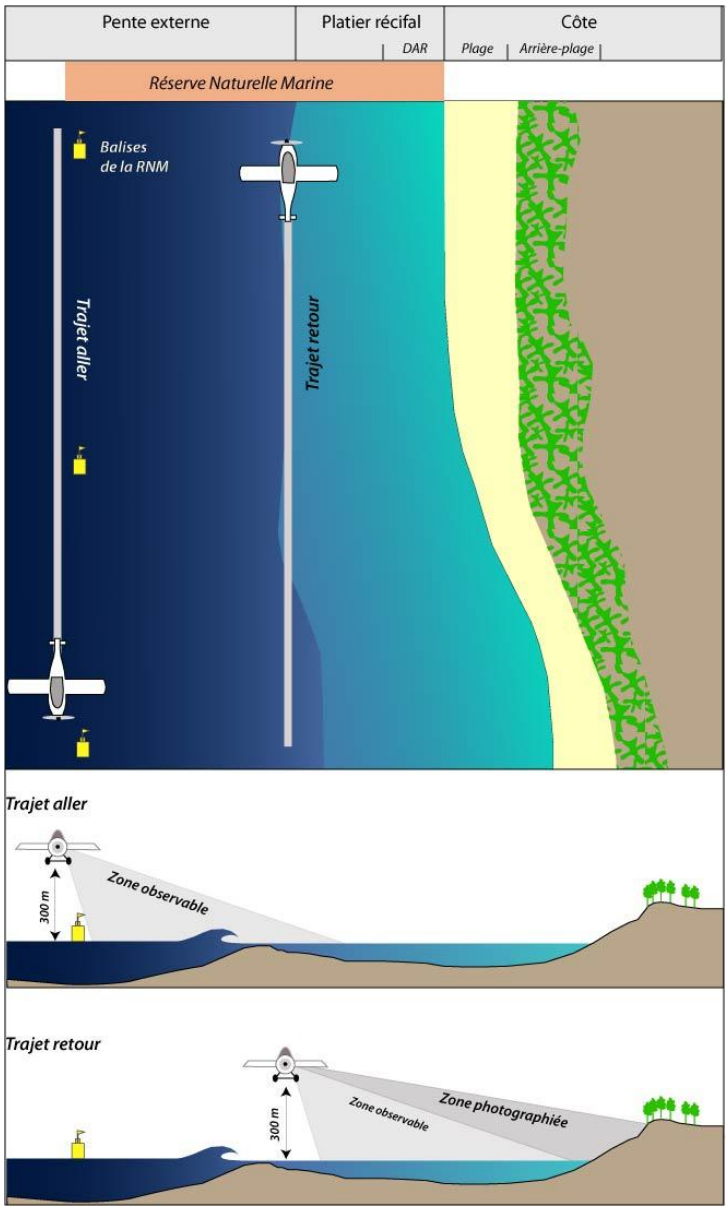


Figure 35 - Schéma du protocole aéroporté aller et retour

- Sur le trajet aller est déployée une méthode de comptage direct. Le survol s'effectue à 500 m d'altitude sur les limites externes de la réserve à 90 km/h. Toutes les activités localisées dans les zones de pente externe et lorsque bien identifiables, sur le platier, sont reportées sur carte (annexe 5). Il s'agit essentiellement des activités de pêche embarquée, activités de découverte, plongée, et lorsque la visibilité le permet, les pêcheurs à pied situés dans les zones de platiers récifaux sont comptabilisés. Les engins sont comptabilisés au moment du passage de l'appareil, qu'ils soient ou non en mouvement.
- Sur le trajet retour est déployée une méthode de comptage indirect. Le survol s'effectue le long du front récifal et à 300 m d'altitude en respect de la réglementation de la réserve[103]. Tout le linéaire côtier est continuellement photographié de façon oblique ce qui a pour propriété d'élargir le champ d'observation. Ce choix réside dans la nécessité de couvrir une surface maximale comprenant une partie du platier interne, la DAR et la côte (Figure 35).

Ce qui fait foi au moment du passage de l'appareil est le statut, l'emplacement de l'usager ou de l'engin. Il est donc probable qu'un usager comptabilisé sur la plage et associé à la catégorie "plageurs" eut été un baigneur à T + 1. De même, les bateaux en mouvement sont répertoriés à l'endroit exact où ils se trouvent au moment du passage de l'appareil, puisque la mesure de la pression (à un instant T) est la problématique qui prévaut dans le contexte de notre problématique et des enjeux de cette thèse.

[103] Art. 19 du décret n.2007-236 du 21 Février limitant la circulation des « aéronefs motopropulsés » au-dessus de la réserve à une altitude minimum de 300 m.

4.A.3.3. Echantillonnage temporel

La définition de l'échantillonnage s'est effectuée d'après plusieurs critères :

- La nécessité de représenter un maximum d'activités. Au cours d'une journée, les activités changent sur le récif. Des études antécédentes ont effectivement démontré que certaines activités étaient plus représentées le matin (Bertrand, 2000) alors que le pic de fréquentation balnéaire de la journée (usagers et plages et baignade) se situait dans l'après-midi (Mirault, 2006). En outre, la réglementation de la réserve a des traductions spatiales et temporelles puisqu'elle interdit la pratique de certaines activités sur certaines zones en fonction du moment de la journée (la pêche à pied n'est autorisée que de 5h00 à 12 h00 dans les zones autorisées définies par l'annexe 1 du règlement[104] et est soumise à un calendrier en fonction des espèces pêchées). Aussi, on est plus susceptibles a priori de pouvoir étudier le matin cette activité dont les enjeux en termes de compréhension des dynamiques spatiales sont importants pour le GIPRNMR. Aussi, une stratification matin/après-midi s'impose-t-elle.
- Des études ont démontré par le passé que la fréquentation pouvait fortement varier entre les jours de semaine et les jours de week-end (Cambert *et al.,* 2007). Aussi, il paraît important d'opérer une stratification semaine/week-end.
- Enfin, partant du postulat que la fréquentation est soumise à des variations en fonction des périodes du calendrier scolaire, et en s'appuyant sur les résultats de L. Brigand et S. Le Berre (2006) dans le cadre de l'étude sur les îles Chausey, une stratification vacances/hors vacances s'impose.

À partir de ces contraintes, les dates de survol ont été tirées de façon aléatoire sur la période concernée, uniquement en période de temps moyen (nuageux) à très beau (ensoleillé) ce qui réduit l'effet de variabilité lié à la météo. La disponibilité de l'observateur et du prestataire ULM a également constitué une contrainte. Le Tableau 15 présente l'échantillonnage type pour une campagne saisonnière de vols (janvier-mars). La répartition des vols au sein des strates temporelles a été reproduite d'une année sur l'autre pour chaque campagne lorsque les disponibilités et les conditions météorologiques le permettaient. Aussi, si certains survols ont pu être annulés du fait de conditions météorologiques mauvaises, ou lorsque le retard accumulé par l'entreprise d'ULM (survols touristiques) ne pouvait garantir le respect des horaires prévus par l'échantillonnage, les survols ont été reportés à un jour (semaine/week-end), un horaire (matin/après-midi) et une période (vacances/période scolaire) similaires.

Tableau 15– Répartition temporelle des 24 vols pour l'année 2010.

	Vacances		Hors Vacances semaine		Hors Vacances Week-end	
	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi
Lundi à Vendredi	3	3	4	4		
Week-end	1	1			4	4
Totaux	4	4	4	4	4	4

[104] Arrêté préfectoral n°4038 sur 26 novembre 2007

Les heures de survol ont été fixées d'après plusieurs critères dans l'échantillonnage originel :

- Le matin à 10h00[105] :
  - certaines activités sont plus représentées le matin par rapport à l'après-midi, le vol matinal permet de cerner les activités de pêche à pied et de plongée sous-marine notamment[105] ;
  - L'opérateur ULM est une entreprise à vocation touristique, aussi pour éviter les nuages, les vols de tourisme se concentrent dans un créneau de 6 à 9h ce qui ne facilite pas toujours la prise de rendez-vous ou le respect des horaires ;
- L'après-midi :
  - D'après les cycles journaliers réalisés par E. Mirault (2006) à partir de trois dimanches d'été, le pic de fréquentation balnéaire se situe à 16h. Morgan et Smith (2013), ont identifié les pics de fréquentation dans le bain entre 12h30 et 15h30 sur 20 plages consécutives le long d'une côte de Victoria en Australie. Aussi, compte tenu du fait que les activités balnéaires ne sont prises en compte que sur le trajet retour soit une demi-heure après le départ, l'horaire du vol est fixé à 15h30 afin que les dernières portions de plages soient recensées entre 16h00 et 16h30.

4.A.3.1.1. Échantillonnage 2010-2012

L'échantillonnage type élaboré pour une campagne saisonnière a été reproduit pour chaque année de 2010 à 2012 (Tableau 16).

Tableau 16 - Échantillonnage 2010-2012			Vacances	Période scolaire		Total	Total année
				Période scolaire semaine	Période scolaire week-end		
2010	ÉTÉ	Matin	5	4	4	13	48
		Après-midi	4	4	4	12	
	HIVER	Matin	4	2	3	9	
		Après-midi	5	5	4	14	
2011	ÉTÉ	Matin	4	2	2	8	42
		Après-midi	4	4	2	10	
	HIVER	Matin	4	4	4	12	
		Après-midi	4	4	4	12	
2012	ÉTÉ	Matin	4	4	4	12	49
		Après-midi	4	4	4	12	
	HIVER	Matin	5	4	4	13	
		Après-midi	4	4	4	12	

[105] Durant la campagne estivale de 2010, les vols matinaux ont été réalisés à 8h30 car le but était de suivre de près l'activité de pêche à pied. Contre toute attente, les campagnes de comptage au sol réalisées en parallèle ont permis de rendre compte que le pic de fréquentation avait été identifié entre 11h15 et 11h45 (n=7 pour le matin) (Lemahieu *et al.*, 2010 ; Lecomte, 2010). Le changement d'horaire de 8h30 à 10h00 permettait par ailleurs d'obtenir des données sur l'activité de plongée sous-marine car les bateaux sortent entre 9h00 et 11h00 (Vivier, 2002).

4.A.3.1.2. Echantillonnage 2013

La campagne entre 2012 et 2013 a été réalisée dans le cadre du programme CHARC[106]. L'effort d'échantillonnage a été de deux vols par mois (un vol le week-end et un vol la semaine) à 15h30 résultant dans un effort d'échantillonnage total de 25 vols (Tableau 17). Pour ces deux vols, seules les données acquises par report d'observations sur cartes sont exploitées, à savoir les engins motorisés, bateaux et canoë-kayaks/optimists. Les résultats de la campagne 2013 pourront notamment être utilisés pour aider à l'interprétation des effets de la crise requin.

Tableau 17 - Echantillonnage d'Août 2012 à Août 2013

		Semaine	Week-end	Total
ETE	Vacances	2	3	*5*
	Hors-vacances	4	3	*7*
HIVER	Vacances	3	3	6
	Hors-vacances	3	4	*7*
Total		*12*	*13*	*25*

4.A.4. Méthode d'extraction et de stockage des données

4.A.4.1. Photo-interprétation et bancarisation des données

Les photographies acquises sont préalablement rangées dans des dossiers types en référence à leur zone d'appartenance en vue de constituer un archivage des données facilitant leur utilisation future par tout utilisateur. Un temps non négligeable doit être accordé au retour de mission au comptage sur photographies (Figure 36). On a pu calculer qu'un temps moyen de 50 minutes était nécessaire pour compter 1 000 individus[107]. Ces post-comptages manuels sur photographies sont assez fastidieux et peuvent donner lieu à des interprétations différentes par un même opérateur ou par deux opérateurs différents. En outre, la reconnaissance des limites entre plage et arrière-plage est soumise à la perception de chacun. Tous ces points constituent un biais inhérent à l'observateur qui a été mesuré et discuté plus loin.

Figure 36 - Succession de 3 clichés du 11 avril 2010 à 16h20, zone Ermitage nord.

[106] Connaissance de l'écologie et de l'HAbitat de deux espèces de Requins Côtiers sur la côte Ouest de La Réunion, programme scientifique multidisciplinaire financé par l'état, la Région et l'Europe suite à la série d'attaques mortelles qui ont eu lieu en 2011.

[107] Moyenne effectuée à partir du temps nécessaire à post-compter les données des 3 vols du 14, 17 et 21 avril 2010, pour lesquels ont été dénombrés respectivement 548, 5547 et 3726 usagers.

Les données issues des comptages des missions aéroportées ont été stockées dans une base de données construite sous Excel (Microsoft office 2007). À l'issue des 4 années de suivi et de 164 vols cumulés, elle est constituée de 18 532 lignes correspondant aux différentes zones du zonage de gestion et de 35 colonnes correspondant aux caractéristiques de la mission (heure, jour, période, météo, etc.) et aux usages mesurés (annexe 6).

4.A.4.2. Construction de la base de données

En vue de représenter spatialement les données, des couches de synthèse ont été créées à partir d'un export depuis la base de données Excel vers ArcGis® 10, sur la base du référentiel spatial correspondant au zonage de gestion du Groupement d'Intérêt Scientifique de la Réserve Nationale Marine de La Réunion (GIPRNMR) constitué de 113 polygones. En fonction des analyses menées et des échantillons temporels retenus à ces fins, une couche d'information de la fréquentation moyenne[108] observée sur la période concernée pour la fréquentation globale et les différents usages a été produite pour chaque année.

Pour compléter la représentation cartographique et contribuer à l'interprétation des résultats, des couches d'informations existantes de description de l'environnement géographique ont été mobilisées. Le dictionnaire de données (Tableau 18) présente la structuration attributaire de chacune des couches constitutives de la base de données.

[108] Dans le cadre de cette thèse nous exploitons généralement des données moyennées, mais d'autres données peuvent être produites selon les problématiques envisagées (maximums, minimums, etc.)

Tableau 18 - Dictionnaire des données mobilisées pour la constitution de la BD fréquentation

Couche thématique	Code couche	Entité	Attributs (hors ID)	Descriptif	Type	Source
Communes	communes	Polygone	Nom_commune	Nom de la commune	Texte (30)	IGN1997
			Superficie_ha	Superficie de la commune en hectares	Entier	
Récifs coralliens	s_rec_region	Polygone	Type_geomrec	Type de l'unité géomorphologique (16 types)	Texte (30)	CAREX/ARVAM, 2005
			type_biologie	Type de l'habitat dominant (13 types)	Texte (30)	
			Code_sensibilite	Niveau de sensibilité écologique (3 degrés)	Texte (2)	
			Superficie_ha	Superficie de la zone en hectare	Réel double	
Zonage de gestion	zonage_RNMR	Polygone	Nom_zone	Nom de la zone	Texte (50)	GIPRNMR, DIREN
			Code_zone	Nom codé en 8 caractères	Texte (8)	
			Geomorpho	Type géomorphologique en 15 classes	Texte (50)	
			Code_geomorpho	Ensembles géomorphologiques en 5 classes	Texte (3)	
			Reg_peche	Niveaux de règlementation des pêches	Texte (3)	
			Niveau_RNM	Niveaux de règlementation générale	Texte (2)	
			Commune	Commune adjacente	Texte (50)	
			Long_cote	Longueur du linéaire lissé à la côte arrondie à la dizaine supérieure	Entier	
			Surface_ha	Surface de la zone en hectares	Reel double	
Bâti	bati	Polygone	Type	Type de bâtiment (5 classes)	Texte (50)	BD TOPO IGN
			Commune	Nom de la commune	Texte (50)	
Fréquentation moyenne	Freq_moy_*année*	Polygone	Zone	Nom de la zone de gestion	Texte (50)	AUTEUR
			ID_zone	Identifiant de la zone de gestion	Texte (3)	
			PE	Nombre de pêcheurs en bateau	Réel double	
			B	Nombre de baigneurs	Réel double	
			Plage	Nombre de plageurs	Réel double	
			PL	Nombre de bateaux de plongée	Réel double	
			CSM	Nombre de chasseurs sous-marins	Réel double	
			AD	Nombre de bateaux de découverte du milieu	Réel double	
			PP	Nombre de pêcheurs à pied	Réel double	
			Sports_glisse	Nombre de surfeurs/bodysurfeurs/kite et windsurfeurs	Réel double	
			Surf	Nombre de surfeurs	Réel double	
			Wsurf	Nombre de windsurfeurs	Réel double	
			Ksurf	Nombre de kitesurfeurs	Réel double	
			Act_nautiques	Nombre de pratiquants d'activités nautiques	Réel double	
			Snork	Nombre de pratiquants de PMT	Réel double	
			Kayak	Nombre de kayakistes	Réel double	
			Pedalo	Nombre de pédalos	Réel double	
			Jet_ski	Nombre de jet-skis	Réel double	
			Paddle	Nombre de pratiquants de paddle	Réel double	
			Total	Nombre total d'usagers	Réel double	
			AREA	Surface de la zone de gestion	Réel double	

L'analyse des résultats est réalisée en deux temps. Une approche temporelle tend à étudier la répartition de la fréquentation dans le temps d'après les strates temporelles définies en amont ; elle mobilise essentiellement les outils statistiques sous Excel et Rstudio. Une approche spatiale pose un diagnostic sur la répartition spatiale de la fréquentation à partir d'une combinaison d'outils statistiques et SIG (Figure 37).

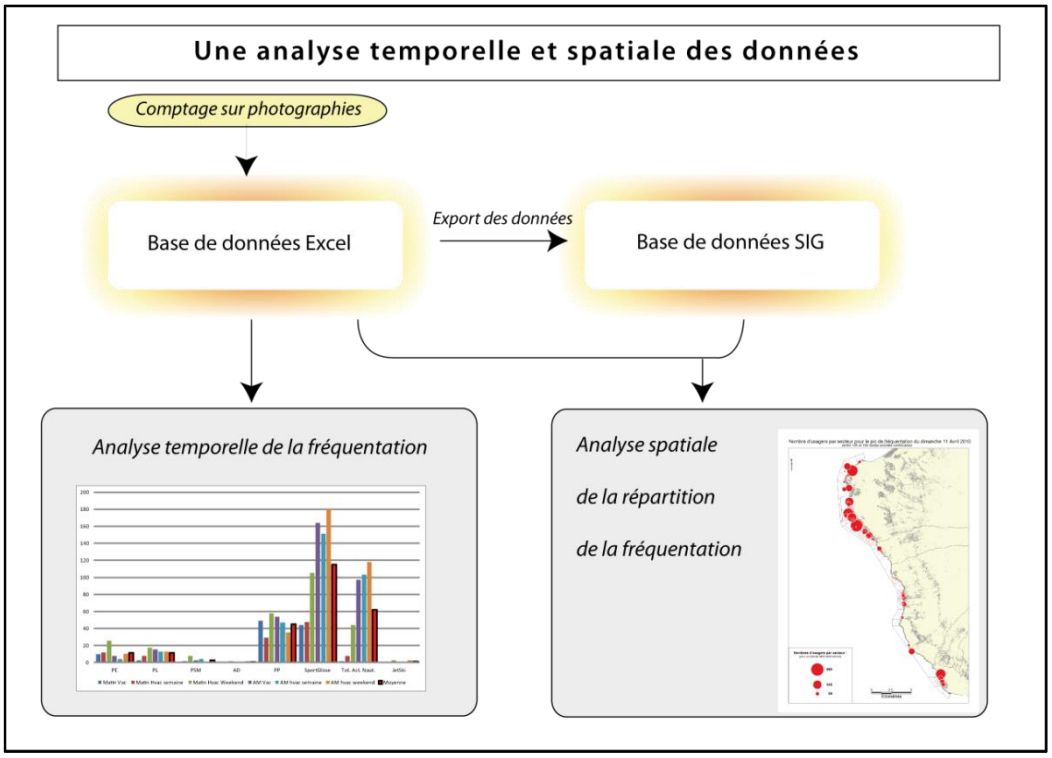


Figure 37 - Logigramme décrivant les protocoles d'acquisition et d'analyse des données

4.A.5. Limites du protocole

Le protocole élaboré pour les besoins du suivi des usages au sein de la Réserve Marine de La Réunion connaît quelques limites inhérentes à la méthodologie d'acquisition, à la méthodologie d'analyse et au zonage utilisé. La prise de connaissance de ces limites est nécessaire dans la perspective de la reproduction du suivi et de son intégration au plan de gestion. Les points qui suivent et décrivent les limites de notre méthode ont été abordés dans le cadre du mémoire de master 2 de l'auteure (Lemahieu, 2010), dans le rapport remis au gestionnaire dans une approche comparée des méthodes aéroportées et au sol, et ont fait l'objet d'une publication scientifique en 2013 (Lemahieu *et al.*, 2013 a). Nous en reprenons ici les principaux éléments.

4.A.5.1. Limites des suivis aéroportés

Largement utilisé pour les suivis de la faune marine et de l'avifaune en écologie (Tasker *et al.*, 1984 ; Okamura, 2003 ; Certain et Bretagnolle, 2008 ; Rowat *et al.*, 2009), les méthodes de suivis aéroportés présentent un certain nombre de biais par ailleurs identifiés par un grand nombre d'auteurs. Au regard du protocole développé ici, on retiendra 3 principaux biais (Cook et Jacobson, 1979 ; Certain et Bretagnolle, 2008) :

- Le biais de visibilité fortement lié à l'environnement et aux conditions météorologiques au moment du survol, qui affecte notamment la qualité des clichés lors de nos vols du matin de

par les effets de réverbération sur le plan d'eau et de l'ombre portée des filaos (Figure 38). De plus, une zone d'invisibilité pour l'observateur ("Blind strip") est située dans le champ de la trajectoire, sous l'appareil. Une partie du platier que nous survolons au retour se retrouve donc hors du champ de visibilité, et certains objets peuvent parfois être manqués.

- Le biais de disponibilité des sujets. Ce biais de visibilité peut être lié à la posture des usagers au moment du passage de l'appareil. Ainsi pour les activités de PMT, l'usager peut être immergé, à la surface de l'eau ou debout. Son matériel peut être de couleur vive tout comme il peut être transparent ce qui pose des problèmes pour sa reconnaissance. De même, les plageurs peuvent être masqués par des parasols ou par d'autres usagers.
- Le biais de perception inhérent à l'observateur : la distance entre l'observateur et l'objet peur constituer un biais dans l'exactitude de l'identification. Pour la plupart des usages, ce biais est réduit du fait de l'utilisation d'un appareil photographique à haute résolution de pixels. En fonction de l'outil et du matériel mobilisé (bateaux, ULM) l'observateur est par ailleurs soumis à des effets de "parallaxe", qui est l'incidence du changement de position de l'observateur sur la vision perçue par l'observateur de l'objet.

Figure 38 – Le biais de visibilité dû au rayonnement oblique matinal. Côte Ermitage-nord à 8h00 (à gauche) et à 15h00 (à droite). L'ombre portée rend difficile le comptage et réduit fortement la visibilité.

Tous ces biais contribuent à impacter le processus de reconnaissance de certains usages dont la classification ne peut donc se faire avec précision. Identifier la vocation d'un engin/d'une sortie depuis l'aéronef est une tâche difficile. Ainsi, dans le cadre du présent protocole, les bateaux non identifiés comme bateaux de plongée ou de découverte du milieu marin sont classés par défaut en catégorie "pêche embarquée" alors même qu'ils peuvent transporter des professionnels ou des amateurs de pêche, des plaisanciers effectuant une simple balade en mer ou disposant de matériel adéquat pour se livrer à l'activité de plongée sous-marine, ou d'apnée. Enfin, travailler en milieu marin implique d'emblée des difficultés dès lors que l'on souhaite restituer les observations à leur zone "d'appartenance". À moins que ces zones ne soient délimitées sur le terrain comme c'est le cas pour la présente étude, il est difficile d'effectuer des missions de terrain sur les espaces marins qui n'offrent quasiment aucun point de repère.

4.A.5.2. Limites liées au zonage

Le zonage de gestion utilisé par le GIPRNMR et dans le cadre de cette thèse est constitué de 113 zones de surfaces inégales. D'une part cette caractéristique a privé notre étude d'un référentiel de base standardisé, d'autre part l'étroitesse de certaines zones ou l'inadéquation entre répartition réelle et l'emprise des zones ont constitué un obstacle à la représentation spatiale. Dans tous les cas, recourir à un zonage aboutit à une dégradation de la donnée.

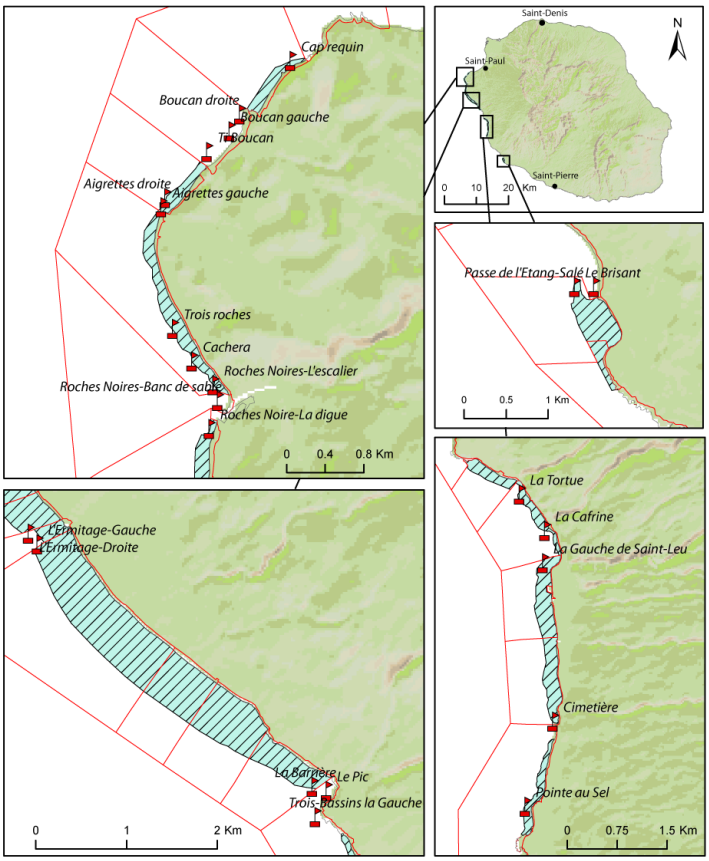


Figure 39 - Répartition des spots de surf au sein des zones de gestion

La première limite de ce zonage réside dans la dégradation de l'information géomorphologique inhérente au faible nombre de classes qui le composent. Certaines zones ont ainsi abusivement été classées dans des catégories correspondant peu ou pas à leurs caractéristiques morphologiques. Les zones de bain de Boucan-Canot et Roches-Noires sont ainsi classées en "pentes externes", alors qu'il s'agit en réalité de fonds sableux parsemés de quelques bancs récifaux, avec absence de front récifal. C'est pourquoi une partie de la donnée, notamment pour l'activité de baignade, se trouve affectée à des zones de "pente externe", alors même que les aires réelles de pratique se trouvent au plus près de la côte.

Certains usages à l'instar du surf ou de la plongée sous-marine adoptent une répartition non aléatoire car ils se pratiquent sur des "spots". L'information est alors dégradée à l'échelle de la zone (Figure 39) nous privant de mesure de pression localisée à l'échelle de l'aire réelle de pratique. De la même façon, il existait encore en 2010 sur le zonage d'origine une inadéquation entre répartition réelle et l'emprise de la zone, une limite dont l'identification a par ailleurs déjà été pointée du doigt (Lemahieu *et al.*, 2010) avait abouti à une modification du zonage en 2012.

4.A.5.3. Limites liées au protocole de traitement des données

Les limites liées au traitement des données sont plurielles. La principale dont il est nécessaire de prendre connaissance au regard des enjeux de reproductibilité par le gestionnaire concerne la phase de comptage. À chaque processus de comptage est associée une marge d'erreur inhérente à l'observateur (erreur intra-observateur) et/ou induites par un changement d'observateur (erreur inter-observateur). La prise de connaissance de cette marge d'erreur peut s'avérer utile dans la perspective d'une modélisation prospective.

Afin de quantifier ce biais, une même zone a été soumise, dans le cadre de cette phase du projet, à 3 observateurs différents. Il leur a été demandé de compter par trois fois dans un laps de temps minimum les usagers présents sur la plage. Les résultats montrent que la marge d'erreur varie beaucoup en fonction de l'observateur, de 1,3 à 7,4 % (marge d'erreur intra-observateur). En outre on observe que la marge d'erreur pour un même observateur augmente du premier comptage au troisième comptage (Tableau 19).

Tableau 19 – Calcul des marges d'erreur inhérentes à l'observateur (Lemahieu *et al.*, 2013).

	Observateur 1	Observateur 2	Observateur 3	Moyenne inter-observateur	Ecart-type inter-observateur	% d'erreur inter-observateur
Comptage 1	432	453	448	444,3	10,9	2,4
Comptage 2	470	429	457	452,0	20,9	4,6
Comptage 3	451	496	459	468,6	24	5,1
Moyenne intra-observateur	451	459,3	454,6			
Ecart type intra-observateur	19	33,9	5,8			
% d'erreur intra-observateur	4,2	7,4	1,3			

Près de 80 % des vols ont été réalisés par l'auteur ce qui a pour propriété une limitation du biais inter-observateur. Dans le cas d'une indisponibilité, les vols ont été réalisés par un stagiaire ou un collègue. Le recourt à des logiciels automatiques de comptage à reconnaissance de pixels, notamment utilisés pour le comptage sur photographies de l'avifaune a momentanément été évoqué, mais la diversité des usages étudiés et la diversité des contextes (zone marine, zone terrestre, zone boisée) empêchent l'identification d'un pixel signature et mériterait une étude dédiée. Qui plus est, les limites liées au biais de disponibilité des sujets (cf. 4.A.3.6.1.) confèrent au rôle d'interprétation par l'observateur une importance primordiale, ce qui a contribué à étayer notre choix méthodologique.

4.B. Méthodologie d'analyse pour le diagnostic spatio-temporel intra-annuel et interannuel

Afin de dépeindre les dynamiques de répartition spatiale et temporelle de la fréquentation globale et des différents usages en 2010, ainsi que leur évolution entre 2010 et 2012[109], un échantillonnage pertinent au regard de nos problématiques est analysé à l'aide de statistiques descriptives (analyses temporelles) d'outils cartographiques (spatialisation des résultats) et d'analyses multivariées (réalisation de typologies).

4.B.1. Analyses spatio-temporelles de la fréquentation

4.B.1.1. Calibrage de l'échantillonnage et standardisation spatiale

Dans la perspective d'analyser et de cartographier les dynamiques spatio-temporelles de la fréquentation globale et des usages entre 2010 et 2012, nous avons élaboré une nomenclature standard qui pallie les limites liées à l'hétérogénéité dans la taille des mailles du zonage et de l'échantillonnage temporel.

[109] Ne s'agissant pas du même effort d'échantillonnage, les données de l'année 2013 (cf.4.A.3.1.2.) ne sont pas ici mobilisées puisque qu'on ne dispose pour cette année que de trois réplicas d'après l'échantillon retenu pour les analyses (cf. 4.B.1.1.1.).

4.B.1.1.1. Échantillonnage retenu

Pour réaliser le diagnostic spatial et temporel initial 2010, la totalité des vols a été utilisée malgré les différents horaires d'acquisition matinaux (cf.4.A.3.3.), puisqu'aucune comparaison ne doit être opérée.

Pour les analyses spatiale et temporelle de l'évolution 2010-2012, nous nous sommes concentrés sur un échantillon caractéristique de la répartition qui garantisse une bonne représentativité des dynamiques spatiales et temporelles observées en 2010 pour un maximum d'usages. Compte tenu du fait que les données du créneau matinal n'ont pas été recueillies à la même heure entre 2010 et les autres années de suivi, et compte tenu du fait que la fréquentation est plus importante l'après-midi, nous prenons d'emblée le parti de ne recourir qu'aux seules données de l'après-midi pour l'analyse de l'évolution spatio-temporelle des usages.

Tableau 20 - Échantillon utilisé pour l'analyse de l'évolution temporelle interannuelle

	2010	2011	2012
Semaine scolaire	9	8	8
Week-end scolaire	8	6	8
Vacances	9	8	8

Pour l'analyse temporelle des évolutions interannuelles, les données de l'après-midi des strates de semaine scolaire, week-end scolaire et vacances scolaire sont utilisées (Tableau 20). Les strates estivales et hivernales ont été agrégées pour l'occasion car elles ne présentent pas de différences de distribution fondamentales contrairement à une nette opposition vacances/semaine scolaire ou week-end/semaine. Étant donné qu'une plus grande partie des activités sont observées en plus grand nombre au sein de l'échantillon "week-end de période scolaire", cette dernière strate est celle retenue pour la cartographie de l'évolution interannuelle de la répartition de la fréquentation globale et des usages (Tableau 20).

4.B.1.1.2. Standardisation de la représentation spatiale

La représentation standard d'observations par unité de surface que représente la mesure de la densité ne peut convenir dans ce contexte, car elle ne représente pas fidèlement la répartition réelle. L'essentiel de la fréquentation observable, soit les activités de plage et la baignade qui comptent pour 86,6 % du total des observations, tend à se concentrer sur une faible bande côtière de largeur souvent inférieure à 50 mètres. Ce constat est valable pour d'autres activités, dont l'une des plus importantes et les plus représentées, le surf (4 %), qui se pratique, hors passes, sur bande de faible largeur correspondant à la "barrière" soit la zone de transition entre pente externe et platier. Enfin, le zonage de gestion de la réserve également utilisé comme maillage de référence est constitué de zones de faible largeur.

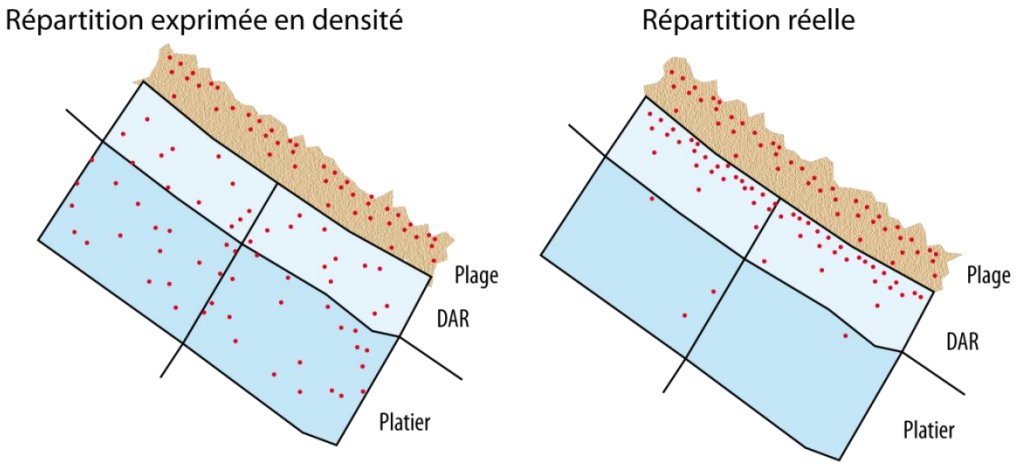


Figure 40 - Représentations théoriques de la répartition exprimée en densité et répartition réelle.

Ainsi, pour une majeure partie des activités à l'étude, on préférera représenter le nombre d'usagers au kilomètre linéaire plutôt que le nombre d'usagers à l'hectare ou au kilomètre carré (densité). La longueur de côte de chaque zone de côte a été mesurée en tirant des droites selon la méthode de la généralisation cartographique[110]. Ce choix de standardisation spatiale apparaît comme le plus pertinent, puisque reflète mieux la répartition réelle pour une majorité d'activité (Figure 40). Pour certaines activités telles que la pêche embarquée, ce choix n'est plus pertinent, car les bateaux se répartissent sur de grandes surfaces de façon aléatoire, c'est pourquoi cette activité est représentée, selon la finalité, en nombre moyen ou cumulé de bateaux par hectare. Pour les bateaux de plongée et au regard des problématiques qui font sens pour le gestionnaire, les résultats sont représentés spatialement au nombre de bateaux par corps-morts (Tableau 21).

Tableau 21 - Type de représentation cartographique privilégié selon les usages

Catégorie d'usage	Unité de recensement	Nombre moyen d'usagers estimés	Représentation cartographique
Baignade	Usager	1	Nombre d'usagers/kilomètre linéaire
Plage			
Surf			
Kitesurf			
Windsurf			
Pêche à pied			
Chasse sous-marine			
Activités nautiques	Engin/usager	2/1	
Pêche embarquée	Bateaux	2	Nombre de bateaux/hectare
Activités de découverte		10	
Jet-ski		2	
Plongée		6	Nombre de bateaux/ hectare ou corps-mort

[110] En cartographie, la généralisation est l'opération de simplification par laquelle, après réduction d'échelle, on adapte le contenu d'une carte en tenant compte du but et de l'échelle de la nouvelle carte. Elle ne va pas sans une certaine déformation ou déplacement des objets cartographiés (www.ngi.be, site belge de l'IGN)

Lorsque qu'exprimés en "nombre d'observations", les résultats des comptages intègrent à la fois les unités "usagers", "engins" et "bateaux". En revanche, lorsque nous souhaitons estimer le nombre total d'usagers à partir du nombre d'observations, les extrapolations sont réalisées à partir du nombre moyen d'usagers observé par engin ou par bateau (à dire d'expert ; Tableau 21). En moyenne, le nombre moyen d'usagers observé sur photographies est de 2 pour les activités de canoë-kayak ou de pédalo, 2 par jet-ski, 6 par bateau de plongée. Estimer le nombre moyen d'usagers par bateaux de pêche est plus difficile, mais nous postulons qu'ils sont au moins 2 pour un bateau de taille moyenne, de même que les bateaux de découverte du milieu marin ne quittent le port que s'ils remplissent un quota minimum d'usagers que nous avons fixé à 10 à dire d'expert.

4.B.1.2. Statistiques descriptives

4.B.1.2.1. Analyse des variations temporelles intra-annuelles et interannuelles

Des statistiques descriptives ont consisté à caractériser les populations de chaque activité sous forme de graphiques ou de boîtes à moustache ("boxplots"). Les propriétés de ce dernier mode de représentation sont de décrire la distribution des observations au sein de chaque strate temporelle en donnant des indications sur des valeurs de description de la série (médiane, quartiles, maximum et minimum). Les données ont été analysées pour la fréquentation globale et pour chaque activité à l'échelle des différentes strates :

- Eté/hiver (n = 25/n = 23) ;
- Vacances /période scolaire (n = 18/n = 30) ;
- Matin[111]/après-midi (n = 22/n = 26).

Pour la caractérisation de l'évolution interannuelle 2010-2012, seuls les vols de l'après-midi ont été exploités à l'échelle des strates du calendrier scolaire (vacances/période scolaire), et les strates été/hiver agrégées.

4.B.1.2.2. Analyse des variations relatives spatio-temporelles

La contribution interannuelle de chaque secteur dans la répartition des usagers a également été mesurée. Pour ce faire, les moyennes annuelles de la fréquentation du week-end après-midi en période scolaire pour les années 2010, 2011, et 2012 ont été standardisées (les données ont été centrées et réduites). La position relative de chaque secteur dans la répartition globale à l'échelle de la réserve, exprimée par les données centrées réduites, est représentée sous forme de tableau, au sein duquel les secteurs sont classés du nord au sud.

4.B.1.3. Représentation spatiale des résultats

Les cartes de répartition ont été construites à partir de la base de données spatialisée sous ArcGis® 10, finalisées sous Adobe Illustrator® CS3 et représentés cartographiquement sur la base du référentiel de zonage "sectorisé" (cf. 4.A.2.3.). Pour l'année 2010, le cumul des observations a été utilisé pour la cartographie de la fréquentation globale et des 15 usages étudiés. Pour la cartographie de l'évolution 2010-2013, l'échantillon sélectionné et décrit en 4.B.1.1.1 a été exploité pour une meilleure comparabilité interannuelle des données.

[111] A noter que les vols du créneau du matin de l'année 2010 réalisés à 8h30 sont intégrés aux résultats à titre purement descriptif, et ce malgré une impossibilité de les comparer directement aux matinées d'hiver dont les vols ont été réalisés à 10h.

Étant donné qu'à l'échelle de la réserve il existe des zones très fréquentées et des zones presque désertées, la quasi-totalité des distributions statistiques se sont avérées être dissymétriques à gauche au moment de l'étape de discrétisation (une fréquence plus élevée des faibles valeurs). Le choix de discrétisation s'est donc naturellement porté sur la méthode de "progression arithmétique" dont les principes se basent sur une progression arithmétique de l'étendue des classes (Béguin et Pumain, 2003). Les amplitudes des classes augmentent au fur et à mesure que l'on incrémente les classes. L'intérêt de cette méthode est de mieux étaler la répartition dans les faibles valeurs et de les représenter plus finement lorsque les fortes valeurs dont l'effectif est plus faible, seront regroupées dans la dernière classe. Pour une discrétisation à 5 classes, l'étendue de la série divisée par l'addition des classes se calcule comme suit :

$$R = (Max-Min) / (1 + 2 + 3 + 4 + 5)$$

4.B.2. Le paysage des activités et son évolution : une typologie évolutive des secteurs

4.B.3.1. Objectifs

En vue de fournir une donnée synthétique annuelle représentative du schéma de répartition, nous avons voulu identifier les associations caractéristiques entre usages pour chaque année. Une analyse multivariée de type analyse en composantes principales a été réalisée pour chaque année, puis une classification hiérarchique ascendante à partir des composantes de l'ACP a permis de dégager des groupes qui ont permis la réalisation d'une typologie de la spécialisation des différents secteurs et sa cartographie. Cette dernière constitue une information de synthèse sur la répartition spatiale.

4.B.3.2. Analyse en composantes principales

Afin de tester les relations entre les variables que sont les différentes activités, une matrice des corrélations a été produite et les variables trop fortement corrélées entre elles ($R^2 > 0,8$ ou $R^2 < -0,8$; Bourque *et al.*, 2006) ont été réduites à une seule variable représentative.

Afin de réduire le nombre de variables et en vue d'une classification pour la réalisation d'une typologie, une Analyse en Composantes Principales ou ACP[112] a été réalisée sur la base de l'échantillon utilisé dans les parties précédentes (vacances scolaires, après-midi de week-ends), après que les données ont été standardisées. L'ACP a donc été réalisée à partir de 11 variables (usages) et 27 individus (secteurs) et reproduite pour chaque année. Seules les projections sur les composantes 1 et 2 seront graphiquement présentées.

4.B.3.3. Classification hiérarchique ascendante

En vue d'avoir un meilleur aperçu de la spécialisation des différents secteurs, nous souhaitons réaliser une typologie des sites. Pour ce faire, nous recourrons à une méthode de classification ascendante hiérarchique (CAH) avec partitionnement selon "l'algorithme de Ward" (Ward, 1963), sur les données de l'ACP. Cette méthode d'agrégation évalue la "ressemblance" entre individus (usages) et/ou groupes d'individus, de proche en proche et détermine sur la base des variables étudiées, les individus présentant le plus de valeurs proches deux à deux, puis recherche quel (s) individu (s) se

[112] Une Analyse en Composantes Principales (ou ACP), consiste à représenter un ensemble de variables par un ensemble plus petit de nouvelles variables de variance maximale qui, décorrélées entre elles, sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Appelées composantes principales, elles définissent des plans factoriels sur lesquels sont projetées les variables initiales.

rapproche(nt) le plus de ce premier sous-groupe, et ainsi de suite. Les classes sont faites de telle sorte que l'inertie intra-classe et l'inertie interclasses sont maximums.

La CAH est réalisée à partir du même package Ade4 sous R. La fonction "hclust" permet la construction d'une matrice des distances euclidiennes à partir des résultats de l'ACP, puis d'un arbre de classification hiérarchique dont chaque branche est proportionnelle à la distance qui sépare deux groupes. La distance entre deux classes est celle de leurs barycentres au carré, pondérée par les effectifs des deux clusters. À partir de l'interprétation du graphe des niveaux de fusion qui représente sous forme d'histogramme la décroissance de la distance interclasses, l'arbre est coupé à l'endroit ou la perte d'inertie interclasses (et donc la hauteur) est minimale. Les classes sont formées d'après le critère de perte minimale d'inertie (Ward).

4.C. Méthodologie pour une mesure de l'attractivité des sites

Cette partie vise à identifier, recenser et cartographier les différentes aménités, commodités et le niveau d'accessibilité des sites afin d'évaluer dans quelle mesure ils peuvent jouer un rôle attractif sur les usagers et expliquer la répartition.

4.C.1. Objectifs

On se propose ici d'évaluer les aménités, l'accessibilité et le niveau d'aménagement en matière de commodités des différents secteurs, et de tester dans quelle mesure ils peuvent avoir un effet sur la répartition. En l'absence d'une méthodologie d'inventaire et de classification génériques des différents paramètres attractifs en milieu littoral, chaque auteur élabore sa propre démarche (Vaz *et al.*, 2009 ; Tudor et Williams, 2006 ; Lee *et al.*, 2010 ; Morgan, 1999 ; Morgan et Ozanne-Smith, 2013). Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes inspirés de critères inventoriés dans la littérature grise, autant que de notre expérience propre d'usager pour identifier localement les paramètres susceptibles d'agir sur le potentiel attractif des sites. Des missions de recensement et de géolocalisation de ces divers paramètres ont été réalisées en vue de leur intégration à une base de données spatialisée dédiée. Des analyses spatiales à l'échelle d'une zone tampon définie et une analyse en composante principale ont été réalisées pour mesurer l'emprise des différents éléments à l'échelle de la zone et les interrelations pouvant exister entre aménités, accessibilité et commodités. Le lien entre ces trois catégories de paramètres et la répartition est ensuite analysé. Notons que nous privilégions les données de 2010 pour cette analyse puisque aucun événement n'est venu perturber les dynamiques de répartition. De ce fait, les aménagements ayant pu être apportés sur sites en 2011 ou en 2012 n'ont pas été intégrés à cette analyse.

4.C.2. La mesure de l'attractivité : état de l'art méthodologique en milieu littoral

Nous avons inventorié moins d'une dizaine d'études portant sur l'étude et la mesure de l'attractivité en milieu littoral, la plupart dans un environnement de plage. Le thème de l'attractivité est la corollaire d'un champ disciplinaire plus vaste concernant la capacité de charge des espaces naturels. Dans sa définition de la notion de "capacité de charge", C. Peirera Da Silva (2002) précise que d'autres paramètres devraient être pris en compte lorsque l'on approche la notion de capacité de charge : *"other aspects have to be carefully assessed like the distance to a nearby urban centre, beach*

accessibility, car park availability, beach access condition, existence of life-guards, restaurants, leisure facilities, children playground and, in particular, peoples behaviour and characteristics[113] ".

La méthode la plus fréquemment déployée recourt à des questionnaires auprès des usagers, soit pour améliorer l'expérience des usagers (De Ruyck *et al.*, 1995), soit pour optimiser la gestion des plages par les autorités compétentes (Tudor et Williams, 2006 ; Cervantes *et al.*, 2008 ; Vaz *et al.*, 2009) ou optimiser les politiques de promotion du tourisme (Morgan, 1999). Les points abordés par les enquêteurs concernent généralement les aspects physiques, parfois de manière pointue (pente de la plage, texture du sable, température de l'eau, profondeur, etc.), les aspects environnementaux (odeur de l'eau, des sédiments, présence/absence d'ordures, etc.) et la présence d'infrastructures et de services (aire de jeux, taille de la zone de baignade, douches et sanitaires, accessibilité, sécurité, etc.) (Pereira *et al.*, 2003). L'aboutissement de ces études se matérialise souvent par des typologies bâties à partir d'observations et de connaissances acquises sur la perception des usagers. Ces catégories permettant d'accompagner des décideurs dans leurs choix stratégiques en matière d'aménagement.

Tous ces critères ne sont pas universels, et sont amenés à varier en fonction du contexte géographique, économique et social de la région qui fait l'objet de l'étude. Ainsi, si on peut s'attendre à des attentes similaires en matière de services et de commodités d'un pays à l'autre, les perceptions et attentes vis-à-vis des aspects environnementaux et physiques seront-elles plus influencées par le contexte local. Les plages des latitudes tropicales sont en effet associées systématiquement à l'image d'Épinal de la plage de sable blanc surplombée d'une cocoteraie.

4.C.3. Méthodologie pour l'acquisition et le stockage des données d'aménités, d'accessibilité et de commodités

4.C.3.1. Paramètres étudiés

La définition des paramètres attractifs a été faite à partir de la bibliographie existante (Tudor et Williams, 2006 ; Vaz *et al.*, 2009 ; Morgan, 1999) et de notre expertise (Tableau 22). Une dizaine de paramètres allant de la présence de parkings au type de plage ont été regroupés sous les catégories "accessibilité", "aménités" et "commodités". Tous ces paramètres se localisent essentiellement sur la plage et en arrière-plage. Bien qu'on ne puisse négliger leur potentiel attractif, plusieurs autres facteurs d'attractivité tels que les commerces (autres que restauration), la proximité d'un centre urbain, les centres et clubs nautiques n'ont pas été intégrés à l'étude, puisque leur intégration aurait nécessité la prise en compte d'une largeur de côte bien plus importante, ce qui nous aurait obligés à "déborder" du système plage (zone marine, plage et arrière-plage). En outre, l'analyse aurait été tronquée du fait que ces paramètres possèdent leur propre potentiel attractif impliquant d'autres aires d'attractions qui ne font pas ici l'objet de notre étude. En outre, nous postulons que les équipements du site (plage et arrière-plage) peuvent suffire à expliquer la répartition.

[113] "D'autres aspects doivent être évalués avec attention, telle que la distance à un centre urbain, l'accessibilité des plages, la présence de parkings, les conditions d'accès à la plage, la présence de maîtres-nageurs-sauveteurs, les restaurants, les services de loisirs, les aires de jeu pour enfants, et en particulier, le comportement et le profil des usagers."

Tableau 22 - Paramètres d'aménités, d'accessibilité et de commodités retenus

Catégorie	Paramètre	Abréviation
Accessibilité	Parkings	PARK
	Routes	RTES
	Accessibilité de la côte	ACC
Aménités	Type de plage	PLA
	Ombre	OMB
	Sécurité de la baignade	SECU
Commodités	Restauration	REST
	Maîtres-nageurs	MNS
	Toilettes	WC
	Douches	DCH
	Aménagements de loisirs	AMN

4.C.3.2. Terrain d'étude

A la lumière de cette nouvelle problématique qu'est la question de l'attractivité des secteurs, et afin de prendre en compte certains paramètres d'accessibilité ou de commodité en compte, la question de la reconsidération des limites se pose. Il est nécessaire de considérer une plus large bande côtière afin de prendre en compte certains aspects : routes, parkings, restauration, commerces, etc. Le paramètre perception est important pour cerner les préférences des usagers pour un site plutôt qu'un autre. De même elle permet d'avoir une idée de la distance qu'ils sont prêts à parcourir pour accéder à un coin de plage qui leur convient, une distance qui a été évaluée par certains auteurs à 250 mètres (Pereira Da Silva, 2002). Or nous ne disposons pas ici de données sur la perception des usagers, et la distance évaluée par les précédents auteurs est vraisemblablement amenée à différer d'un site à l'autre, fortement dépendante des contextes culturel, territorial et météorologique.

Afin de définir une largeur de côte pertinente à considérer pour cette étude tout en restant dans le domaine fronto-littoral, nous avons utilisé la Route Nationale 1 en guise de limite, laquelle avait déjà fait office de délimitation dans le cadre d'une étude portant sur l'accessibilité du littoral ouest en ce qu'elle "représente approximativement le point de départ de l'accessibilité à la mer, elle longe la côte à une distance allant de quelques dizaines à quelques centaines de mètres de l'eau"[114] (Moya, 2000). Une zone tampon d'une largeur de 120 m a été donc définie à partir de la laisse des plus basses mers (BD topo IGN), au sein de laquelle tous les paramètres susceptibles d'avoir un poids dans le potentiel attractif de la zone seront inventoriés, résultant dans un zonage de travail de 31 zones de 120 mètres de largeur et de longueurs variables.

4.C.3.3. Collecte et stockage de données

Deux types de données sous forme de fichiers de couches d'information géographique déjà existantes ont été mobilisés :

- la couche d'information géographique des routes (BD Topo IGN 2008) mise à jour afin d'intégrer la route des tamarins livrée en 2009 ;

[114] A l'époque, elle représentait aussi le seul moyen de rallier le nord au sud via l'ouest. Aujourd'hui une voie rapide, la route des tamarins, est venue supplanter par son importance cette voie d'accès, et a changé le rapport d'échelle spatiale (distance à la côte plus importante).

- la couche d'information issue de la base de données Soubik[115] de 2012 sur les services de restauration, de commerce et d'hôtellerie.

Pour les paramètres sur lesquels aucune donnée spatialisée n'était disponible, des relevés de terrain ont été effectués à l'aide d'un GPS sur toute la longueur du linéaire côtier de la réserve, dans les limites de la bande des 120 mètres. Des relevés de terrain à l'aide d'un GPS ont été réalisés pour les paramètres suivants :

- Postes de maîtres-nageurs sauveteurs (postes MNS) ;
- Douches ;
- Restauration ;
- Toilettes ;
- Aires de loisirs.

La caractérisation des secteurs en matière d'aménités s'est faite à partir de reconnaissance sur le terrain et sur photo-interprétation (BD Ortho 2012). Les données ont ensuite été importées dans la base d'information géographique gérée sous ArcGis® 10 en vue de la production d'une base de données spatialisée pour l'analyse spatiale à base de requêtes.

4.C.3.4. L'accessibilité

Les paramètres retenus pour une évaluation de l'accessibilité sont les routes dont les données existent, la capacité en stationnement dans la largeur de bande à l'étude, ainsi que la portion du littoral accessible (non privatisé).

4.C.4.1.1 Le stationnement (parkings)

Tableau 23 - Estimation des capacités de stationnement en fonction du type de parking

Mode de stationnement	Capacité moyenne / 100m
Bataille	37,9
Epi	30,1
File	20,7

Lorsqu'elles existent, les couches d'information représentant des équipements de type parking, sont représentées sous la forme de points, représentant le centroïde de l'objet. Afin de mesurer l'emprise de l'objet, nous avons d'abord représenté les parkings sous forme linéaire. Chaque tronçon s'est vu attribuer un "mode de stationnement" (Tableau 23) lequel a, sur le terrain, fait l'objet de mesures en termes de capacités (nombre de voitures par 100 mètres). Une fois calibrés, la capacité maximale de stationnement officiel autorisée par zone a été estimée à partir d'une opération sous ArcGis® de cumul des tronçons de routes, et pondéré selon le mode de stationnement.

4.C.4.1.2. L'accessibilité de la côte

Les différentes sources de données à prendre en compte pour mesurer l'accessibilité littorale des différentes zones sont :

[115] Base donnée créée par l'IRT (Institut de Tourisme de La Réunion) répertoriant tous les commerces liés au tourisme: restaurants, club nautiques, commerces, hôtels, etc.

- la couche d'information du bâti de la BD ortho IGN 2008 ;
- pour les parties fortement urbanisées, les accès à la mer existants (ex : chemins de pêche) ; La couche d'information portant sur les chemins de pêche, issus de la BD de la RNMR qui a été mise à jour lors des missions de terrain ;
- la couche d'information sur l'artificialisation du linéaire côtier produite par Géomer (Base de données DCE- POLMAR) ;

Toutes ces couches d'information ont été superposées afin de soustraire au linéaire de côte urbanisé et/ou non accessible, la longueur de côte accessible. Il en résulte une donnée d'accessibilité exprimée en ratio de côte accessible par longueur de zone.

4.C.3.5. Ombre

La surface ombragée a été évaluée à partir de photo-interprétation sur la base BD Ortho 2008 IGN. Deux types de surface ont été distingués à partir d'un critère de sol apparent ou non : les surfaces densément ombragées, et les surfaces à végétation éparse.

4.C.3.6. Base de données spatialisée "attractivité" : dictionnaire des données

La collecte et l'import des données sous SIG a résulté dans la constitution d'une base de données dont les différentes couches ont été compilées dans un dictionnaire des données (Tableau 24).

Tableau 24- Dictionnaire des données

Couche d'information	Entités	Attributs	Source
Parkings	Polyligne	Type : épi, bataille, file Capacité : Nbre moyen de véhicules	Auteur
Routes	Polygone	-	BD Topo IGN 2003/auteur
Accessibilité de la côte	Polyligne	-	DCE-POLMAR/RNMR
Type de plage	Polygone		DCE-POLMAR
Ombre	Polygone	Type : 1-végétation éparse, 2- végétation dense	Auteur
Zone de baignade	Polygone	Type 1 à 3	Auteur
Restauration	Point	Nom du restaurant	BD Soubik (IRT)/Auteur
Maîtres-nageurs	Point	-	RNMR/Auteur
Toilettes	Point	-	Auteur
Douches	Point	-	Auteur

4.C.4. Démarche pour l'analyse spatiale des données

Le but est de dégager pour chaque zone et chaque paramètre un indicateur révélateur de la présence, de l'emprise, de l'influence de l'objet dont il est question, sous forme d'indice de présence. La variété des formes ponctuelles pour la plupart, associées à des "points" dans un SIG (toilettes, douches, postes MNS, restaurants, etc.), ou parfois des surfaces (parkings, part de côte ombragée) ou de lignes (accessibilité), implique des traitements différents.

4.C.4.1. Traitement spatial

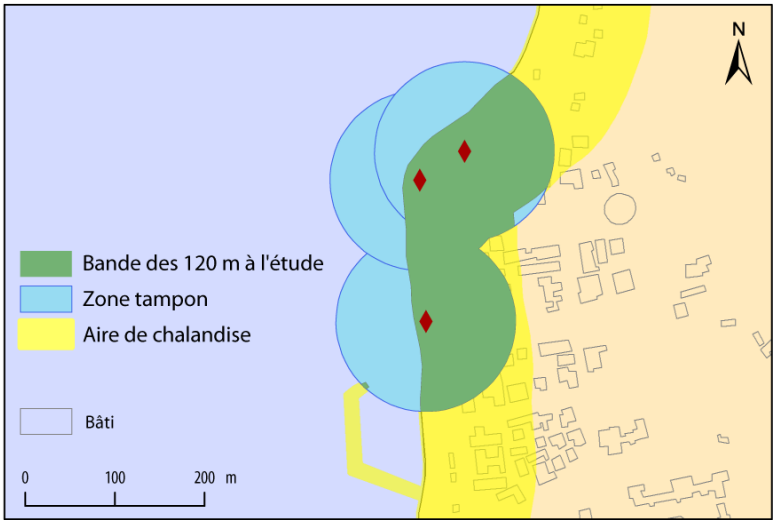


Figure 41 - Méthode d'analyse spatiale pour le calcul de l'emprise des infrastructures à l'échelle des zones de travail.

Afin de pouvoir affecter à chaque objet une "aire de chalandise", une zone tampon correspondant à la distance que les usagers sont prêts à parcourir pour atteindre l'objet, ce que nous avons qualifié d'aire d'influence[116], leur a été affectée (Figure 41). Nous avons affecté aux commodités (sanitaires, restauration) un rayon d'influence de 100 mètres. Cette distance a été ramenée pour les postes de maîtres-nageurs-sauveteurs (MNS) à 50 mètres ce qui correspond dans la majeure partie des cas à la distance la plus lointaine d'une extrémité du filet de baignade au poste. Pour les couches d'information dont l'entité est la polyligne (ex : urbanisation de la côte pour le calcul de l'accessibilité) nous avons travaillé sur un indice de présence construit sur la base d'un rapport entre la longueur cumulée de lignes et la longueur de la zone concernée. Enfin, l'objet "route" a fait l'objet d'un traitement particulier afin de lui affecter un indice de présence. Les tronçons ont été "polygonisés", et la surface cumulée de route rapportée à la surface de la zone.

4.C.4.1.2. Calcul de l'indice de présence

Certains indices ont pu être déterminés à partir de calculs évoqués dans le point précédent par analyse spatiale et soustraction spatiale, lorsque d'autres indices ont été codifiés de manière plus empirique, à partir de la bibliographie existante ou de l'expérience de terrain. En ce qui concerne les variables qualitatives que l'on retrouve dans la catégorie "Aménités", elles ont toutes fait l'objet d'une classification en 4 catégories afin de permettre leur comparaison entre elles, et codées d'après la valeur qu'elles revêtent dans la pensée collective (notion "d'image d'Épinal", cf. 1.A.1.3. ; Vacher, 2008 ; Mirault, 2006 ; Vaz *et al.*, 2009). Afin d'obtenir une valeur par paramètre étudié et par zone, les données ont été ramenées i) à la surface pour les variables "Routes", "Parkings", "Ombre" et toutes les variables appartenant à la catégorie "commodités" (à partir de l'aire de chalandise estimée), ii) à la longueur de côte de la zone pour la variable "Accessibilité" (Tableau 25).

[116] Aucune étude portant la prédisposition des usagers à parcourir une certaine distance pour atteindre des services ou commodités n'a été identifiée dans la littérature scientifique. Aussi, pour les besoins de cet exercice, à partir des informations récoltées dans la thèse d'E. Mirault (2006), partant de notre expérience du terrain, et compte tenu du substrat sableux qui tend à ralentir les mouvements, nous postulons que les usagers sont prêts à parcourir une distance moyenne de 100 à 150 mètres pour accéder aux services de restauration.

Tableau 25 - Tableau de synthèse des variables étudiées et des indices de présence produits

Catégorie	Paramètre	Expression/discrétisation	Abréviation
Accessibilité	Parkings	$\frac{Surface\ en\ capacité\ de\ parking}{Surface\ totale\ de\ la\ zone} \times 100$	PARK
	Routes	$\frac{Surface\ des\ routes\ de\ la\ zone}{Surface\ totale\ de\ la\ zone} \times 100$	RTES
	Accessibilité de la côte	$\frac{Longueur\ côte\ non-urbanisée}{Longueur\ côte\ totale} \times 100$	ACC
Aménités	Type de plage	1 : Plages de sable blanc 2 : Plages de sable noir 3 : Plages mixtes (sable et galets)	PLA
	Ombre	$\frac{\frac{Végétation\ éparse}{2} + Végétation\ dense}{Surface\ totale\ de\ la\ zone}$	OMB
	Zone de baignade	1 : Zone de baignade en océan 2 : Zone de baignade en "lagon" 3 : Zone de baignade récif affleurant	BAIN
Infrastructures	Restauration	$\frac{Aire\ chalandise\ restaurants}{Surface\ totale\ de\ la\ zone} \times 100$	REST
	Maîtres-nageurs	$\frac{Aire\ chalandise\ postes\ MNS}{Surface\ totale\ de\ la\ zone} \times 100$	MNS
	Toilettes	$\frac{Aire\ de\ chalandise\ WC}{Surface\ totale\ de\ la\ zone} \times 100$	WC
	Douches	$\frac{Aire\ chalandise\ douches}{Surface\ totale\ de\ la\ zone} \times 100$	DCH
	Aménagements urbains (tables de pique-nique, aires de jeu)	$\frac{Aire\ chalandise\ aires\ loisirs}{Surface\ totale\ de\ la\ zone} \times 100$	AMN

4.C.4.2. Analyse multivariée et typologie

Afin de mesurer l'interrelation des différentes variables et tenter d'expliquer la répartition, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur Rstudio®, package Ade4. Seuls les sites possédant une plage ont été retenus pour l'analyse, les côtes à falaises rocheuses ne pouvant être aménagées, ce qui rend *de facto* la comparaison impossible. L'analyse s'est donc faite sur 23 individus (zones répondant au précédent critère).

Les variables correspondant aux paramètres d'attractivité étant pour une majeure partie quantitatives discrètes, et pour le reste qualitatives (variables codées), ont fait l'objet d'une standardisation préalable. Les variables qualitatives ont été transformées en variables binaires, ce qui a résulté dans une démultiplication de la variable d'origine en autant de variables qu'il y a de modalités. Les variables quantitatives ont été centrées-réduites[117]. Un test de corrélation multiple (Pearson) a été réalisé sur les 15 variables résultantes afin d'exclure de l'analyse les variables trop corrélées entre elles ($R^2 > 0,8$ ou $R^2 < -0,8$; Bourque *et al.*, 2006), ce qui a abouti à un ensemble de 11

[117] La centration-réduction consiste en une transformation de la mesure d'une variable numérique qui conserve ses propriétés de forme en procédant au changement de repère par le centrage des valeurs autour de la moyenne puis d'unité par le rapport à l'écart-type. La standardisation est un préalable à la comparaison de distributions statistiques hétérogènes. Une variable standardisée est de moyenne nulle et d'écart-type unitaire (Zaninetti,2005)

variables. Suite à ces étapes, l'analyse a donc été réalisée sur 23 individus (sites) et 9 variables (paramètres d'attractivité) sur Rstudio® à l'aide du package Ade4.

À partir des résultats issus de l'ACP, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée d'après la même démarche et les mêmes critères décrits en partie 4.B.3.3. à partir des composantes de l'ACP. Cette classification a abouti à l'identification de groupes caractéristiques, permettant de bâtir une typologie.

4.C.4.3. Analyse des corrélations spatiales entre commodités/aménités/accessibilité et la fréquentation

Les coordonnées des 3 axes de l'ACP correspondant aux projections modélisées des observations ont été utilisées pour tester la relation entre le niveau en commodités/aménités/accessibilité d'un site et les scores effectifs de fréquentation moyennés par année et par site, ramenés au kilomètre linéaire. Un test de régression linéaire multiple a été réalisé et les résidus ont été analysés à la lumière de notre expérience du terrain.

Conclusion du chapitre 4

Trois parties se distinguent dans cette méthodologie. Une première phase consiste en l'acquisition et la bancarisation des données. Le choix de recourir au couplage ULM-appareil photographique qui tend par ailleurs à se démocratiser, s'est imposé de lui-même : d'une part la main-d'œuvre est peu disponible dans un contexte de gestion, d'autre part les configurations linéaires du terrain d'étude long de 44 kilomètres ont largement orienté ce choix. Le système de bancarisation des données repose sur une base de données Mircosoft Excel® laquelle permet l'export et le traitement vers la plateforme Rstudio® ou le système d'information géographique ArcGis® 10 pour le traitement statistique et spatial des données.

Une seconde phase a décrit les démarches entreprises pour le diagnostic initial de répartition en 2010 et l'analyse de l'évolution 2010-2012. Ces dernières consistent en des statistiques descriptives simples afin de déterminer les périodes privilégiées de répartition temporelle, par le biais de graphiques ou de boîtes à moustache, et les aires privilégiées de répartition spatiale. Pour l'analyse de l'évolution des répartitions spatio-temporelles et une bonne comparabilité des données entre elles, un échantillonnage spécifique a été retenu (après-midi, week-ends en période scolaire) au regard de critères de bonne représentativité d'un plus grand nombre d'activités et d'une fréquentation globale importante. Afin de cerner les changements interannuels de façon synthétique et accessible, une typologie par année a été réalisée sur la base d'Analyse en Composantes Principales sour Rstudio®.

En parallèle, un ensemble de paramètres relevant des aménités, des commodités ou de l'accessibilité supposés jouer un rôle dans l'attractivité des sites a été identifié au regard de la bibliographie existante et des spécificités locales, résultant dans la production de 11 variables. Ces dernières doivent être comparées entre elles puis à la répartition globale en 2010, hors événements perturbateurs de dynamiques.

Chapitre 5. Diagnostic de la répartition initiale en 2010

Bien que de nombreux travaux aient contribué à améliorer les connaissances du gestionnaire sur les caractéristiques socio-économiques de son AMP, les connaissances sur les aspects quantitatifs et la répartition des usages restent sommaires et morcelées (Lemahieu *et al.,* 2013). Au regard des années qui ont suivi et des divers événements perturbateurs qui seront abordés plus loin, l'année 2010 constitue une année de référence durant laquelle les données ont été acquises dans un climat neutre. Ce chapitre vise à établir sur la base des données acquises en 2010 un diagnostic initial de la répartition spatiale et temporelle de la fréquentation globale et des différents usages.

Les répartitions spatiale et temporelle de la fréquentation dans sa globalité sont d'abord décrites par le biais de l'outil cartographique ou des statistiques descriptives, puis le même exercice est reproduit pour chacun des 15 usages suivis. Nous nous sommes par la suite intéressés à une liste non exhaustive de paramètres pouvant contribuer à attirer les usagers sur un site. Afin d'évaluer le potentiel attractif des trois paramètres "commodités", "aménités" et "accessibilité", une analyse multivariée a été réalisée, laquelle a servi à caractériser les sites et évaluer leur correspondance avec les logiques de répartition de la fréquentation moyenne en 2010.

5.A. Caractéristiques spatiales et temporelles de la répartition globale

La répartition spatiale et temporelle de la fréquentation globale, tous usages confondus est ici décrite.

5.A.1. Schéma initial de répartition temporelle

5.A.1.1. Calendrier des vols et scores de fréquentation en 2010

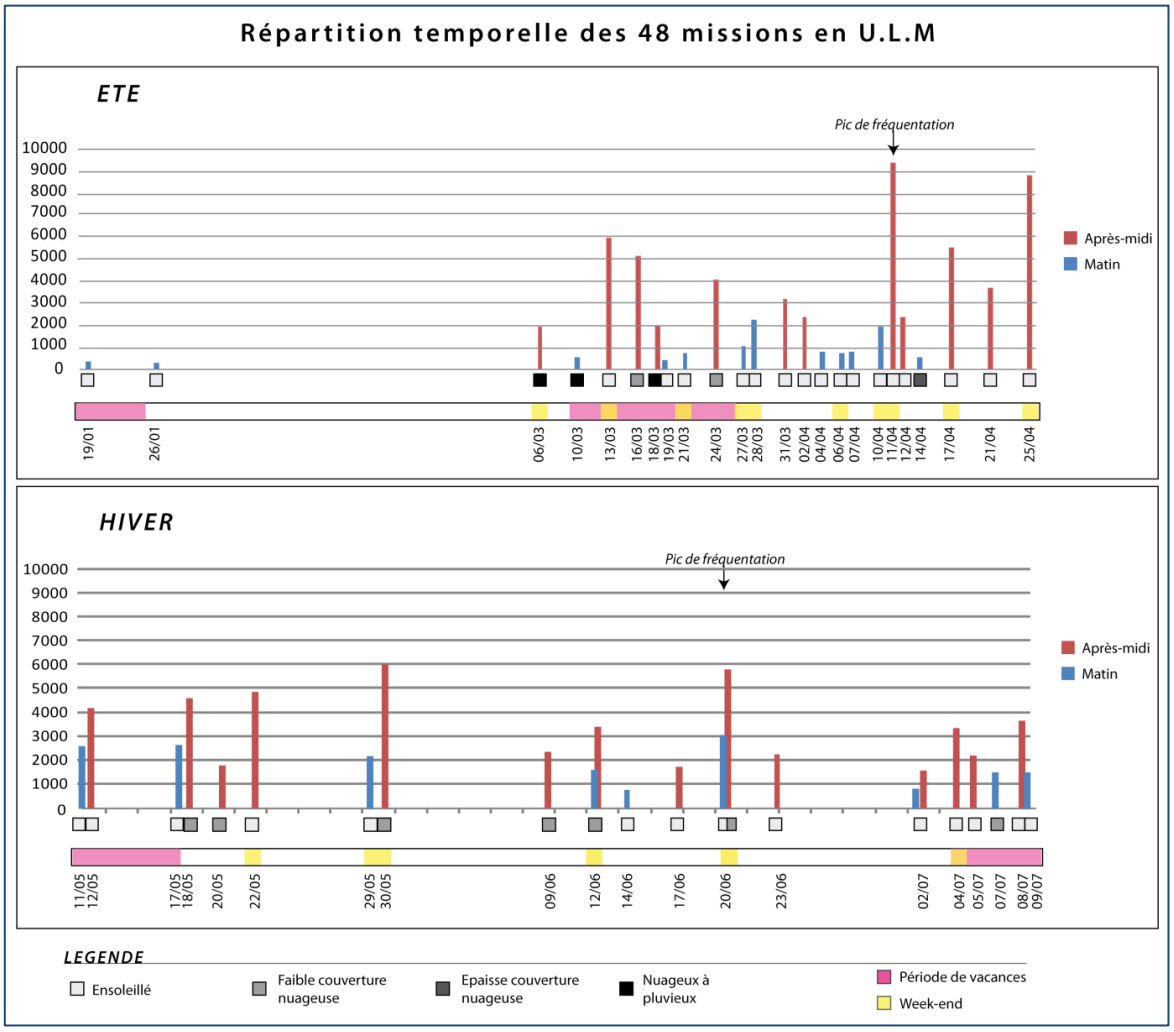


Figure 42 - Répartition des vols en été et en hiver 2010, scores et conditions météorologiques.

Près de 90 % des vols ont été réalisés dans des conditions bonnes (nuageux) à très bonnes (ensoleillé) et seulement 10 % dans des conditions moyennes (nuages épais) à mauvaises (pluvieux) (Figure 42). Ces 10 % se concentrent dans la période estivale durant laquelle les risques de précipitations sont plus accrus. Le nombre d'observations[118], toutes activités confondues est fortement variable à l'échelle de 48 vols effectués. Les plus forts scores sont enregistrés en été austral durant lequel le pic annuel de 9456 observations est recensé un dimanche 11 avril, soit 9542 usagers estimés (Figure 43).

[118] Comme précisé en 5.B.3., le "nombre d'observations" regroupe le nombre d'unités d'usagers et le nombre d'unités d'engins/bateaux observés. Le nombre d'usagers est estimé à partir du nombre d'observations et extrapolé à partir de la grille en 5.B.3. fixant le nombre moyen d'usagers par engin/bateau.

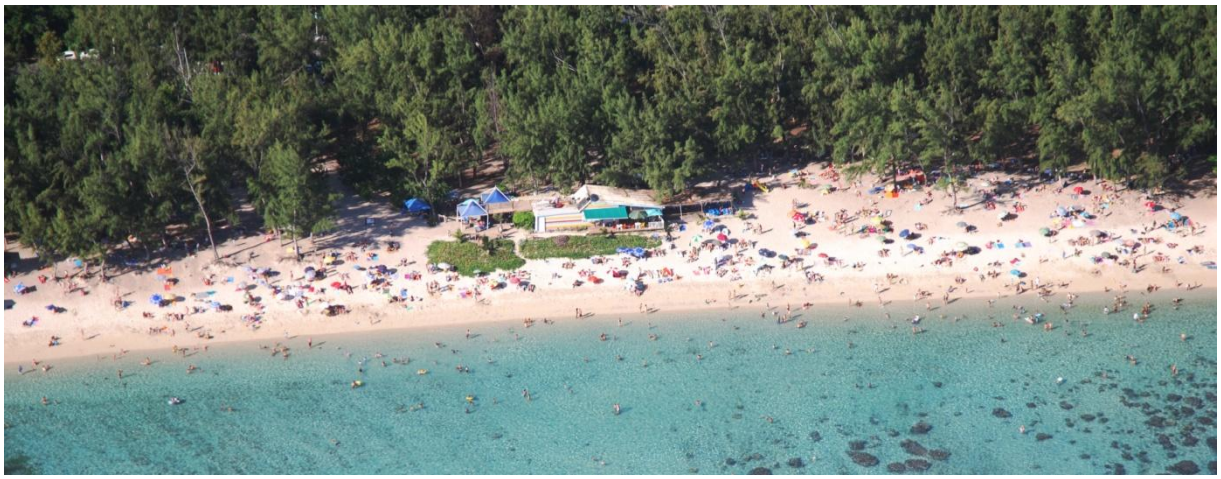


Figure 43 - Fréquentation plagique sur la zone d'Ermitage sanctuaire le dimanche avril 2010 à 16h25.

En 2010, 135 296 observations ont été faites. La plus grande part de ces observations est imputable aux activités "plagiques" (plage et baignade), qui représentent 90 % du total (Figure 44). L'activité de surf arrive en troisième position des usages les plus représentés avec 5 561 observations, juste devant l'activité de plongée sous-marine dont le nombre de pratiquants a été estimé à 3 492 (582 bateaux observés)[118]. On peut également relever une assez forte représentation des activités nautiques que sont le Palmes-Masque-Tuba (PMT) ou le kayak, des usages dont la présence est souvent associée la présence des récifs et pratiqués sur les complexes récifaux à l'abri de la houle. La pêche à pied enfin est l'activité extractive la plus représentée avec 1 777 observations, soit 78 % du total des observations des activités de pêche incluant la chasse sous-marine et la pêche embarquée.

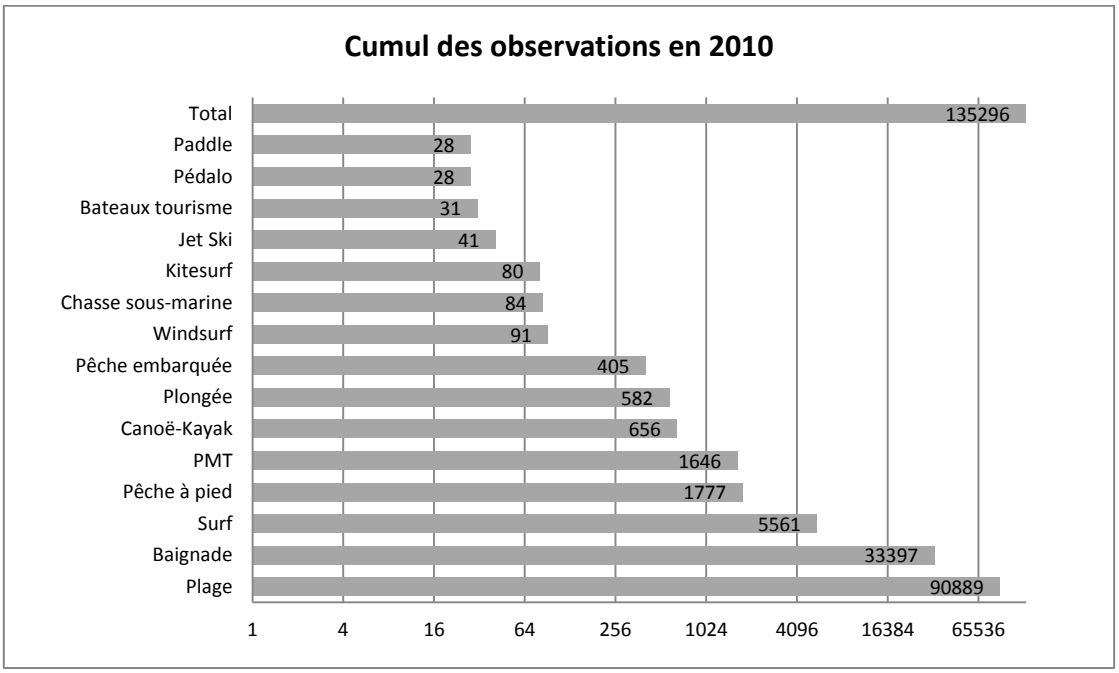


Figure 44 - Cumul des observations au cours des 48 vols en 2010 pour les 15 activités suivies, sur une échelle logarithmique de base 2.

5.A.1.2. Un effet saisonnier

De janvier à juillet, les deux saisons de l'été (de janvier à avril) et de l'hiver (de mai à juillet) australs sont représentées. Les vols matinaux ont été réalisés à 8h30 en été et reportés à 10h en hiver après des ajustements faits suite aux résultats issus de cette première campagne estivale (Lemahieu *et al.*, 2010) (cf. 4.A.3.3.). Les usagers sont plus nombreux durant la saison estivale, au cours de laquelle les variations les plus significatives sont également enregistrées. Les après-midi d'été, le pic s'élève à 9 456 observations pour une moyenne de 4 672,8 observations (σ= 2 532) contre 5 988 en hiver pour une moyenne de 3 431,5 (σ= 1 505,5) (Figure 45). À l'exception du créneau matinal d'hiver, tous les maximums enregistrés étaient des dimanches après-midi.

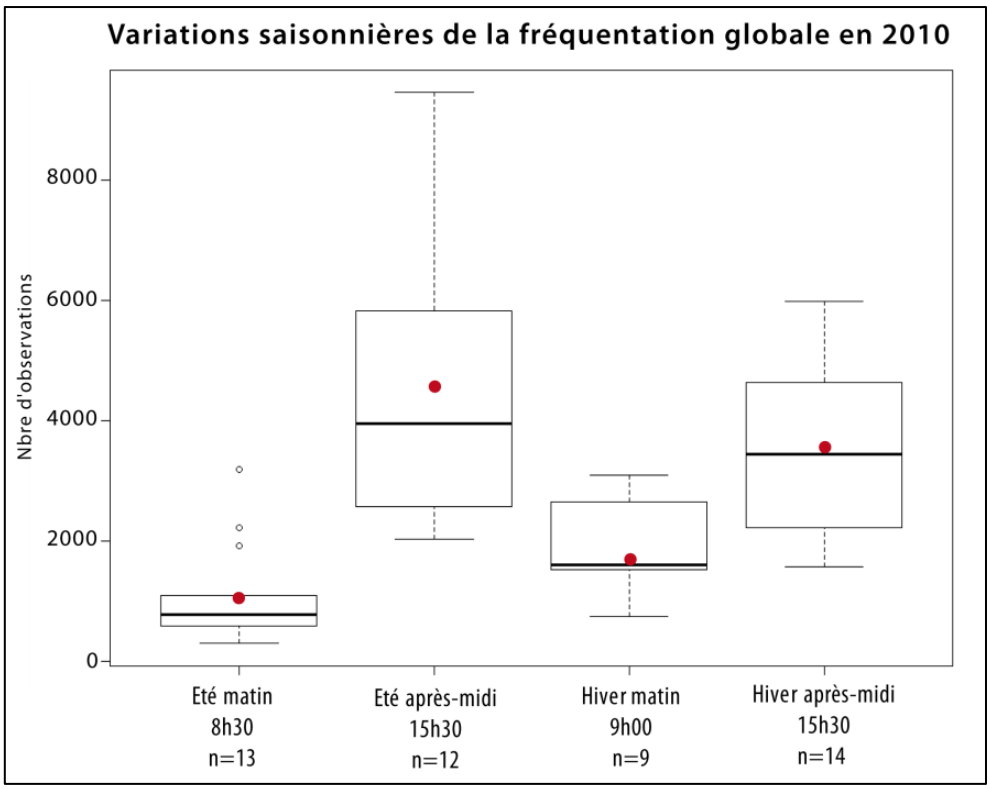


Figure 45 - Les variations saisonnières (janvier-Juillet) de la fréquentation en 2010. Les points rouges situent la moyenne.

La Figure 45 met en évidence une très forte variabilité inter-strate matin/après-midi par rapport à une variabilité été/hiver moins importante. Compte tenu du fait que les données des matinées d'été et celles des matinées d'hiver ne peuvent être comparées du fait de la différence de créneau, seules les données de l'après-midi seront exploitées par défaut (sauf mention contraire) dans les résultats à venir.

5.A.1.3. Un effet "calendrier scolaire"

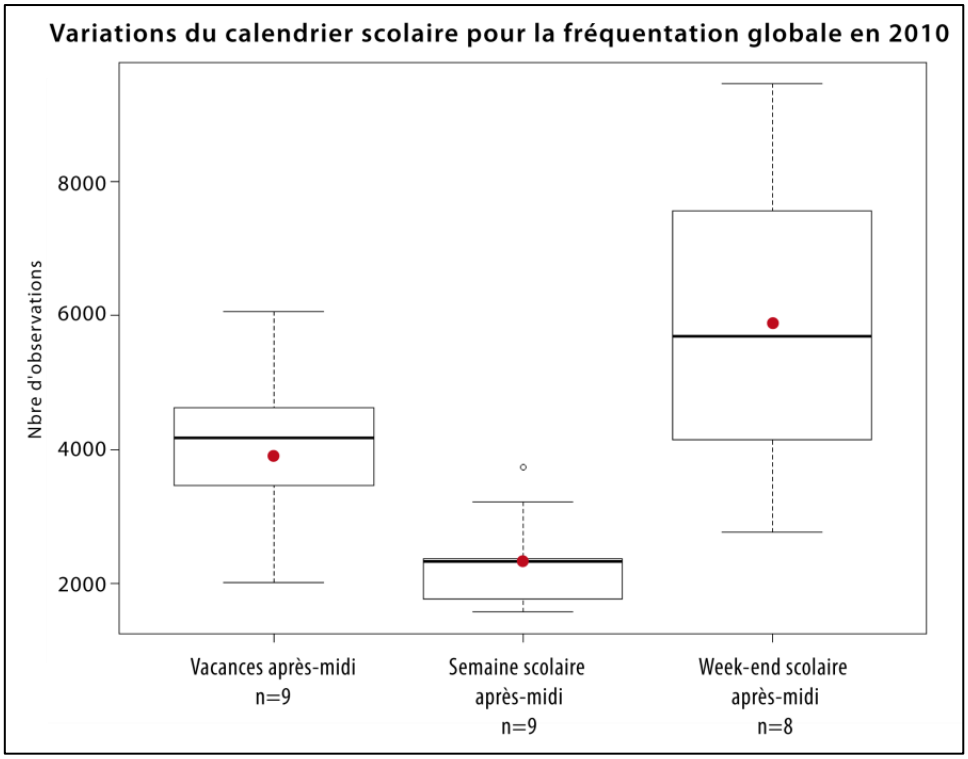


Figure 46 - Les variations de la fréquentation d'après le calendrier scolaire en 2010 les après-midi entre 15h et 16h.

L'échantillonnage élaboré permet également d'étudier l'effet "calendrier scolaire" sur les habitudes des usagers. Une plus grande variabilité est marquée au sein des strates temporelles du calendrier scolaire qu'entre les saisons. L'effet calendrier semble donc plus important que l'effet saison sur les mécanismes de répartition. En moyenne, la fréquentation globale est multipliée par 2,5 le week-end par rapport à la semaine, et respectivement par 1,5 et 1,7 durant les vacances scolaires par rapport aux week-ends et aux jours de semaine (Figure 46).

5.A.1.4. Un effet horaire

Tableau 26 - Ratios matin/après-midi du nombre d'usagers observés

Vols	Date	Jour	Après-midi	Matin	Ratio A/M
35 et 36	12-juin-10	Samedi	3421	1602	2.14
39 et 40	20-juin-10	Dimanche	5794	3100	1.87
42 et 43	02-juil-10	Vendredi	1575	851	1.85
74 et 75	04-juin-11	Samedi	4749	2310	2.06
78 et 79	11-juin-11	Samedi	4786	2026	2.36
82 et 83	24-juin-11	Vendredi	1647	1046	1.57
84 et 85	26-juin-11	Dimanche	2238	1093	2.05
106 et 107	15-avr-12	Dimanche	9896	5235	1.89
113 et 114	28-avr-12	Samedi	5491	3305	1.66
Moyenne					1.94

On dispose de très peu de réplicas (n = 9) de "suivis journaliers", c'est-à-dire de journées durant lesquelles des vols ont été réalisés à la fois le matin et l'après-midi. Neuf journées sont concernées sur les 3 années et ont été utilisées pour mesurer "l'effet horaire". Il y a eu pour ces dates 1,6 à 2,4 fois plus d'usagers les après-midi par rapport aux matinées. En moyenne, il y a 2 fois plus d'usagers l'après-midi que le matin (Tableau 26).

5.A.2. Schéma initial de répartition spatiale

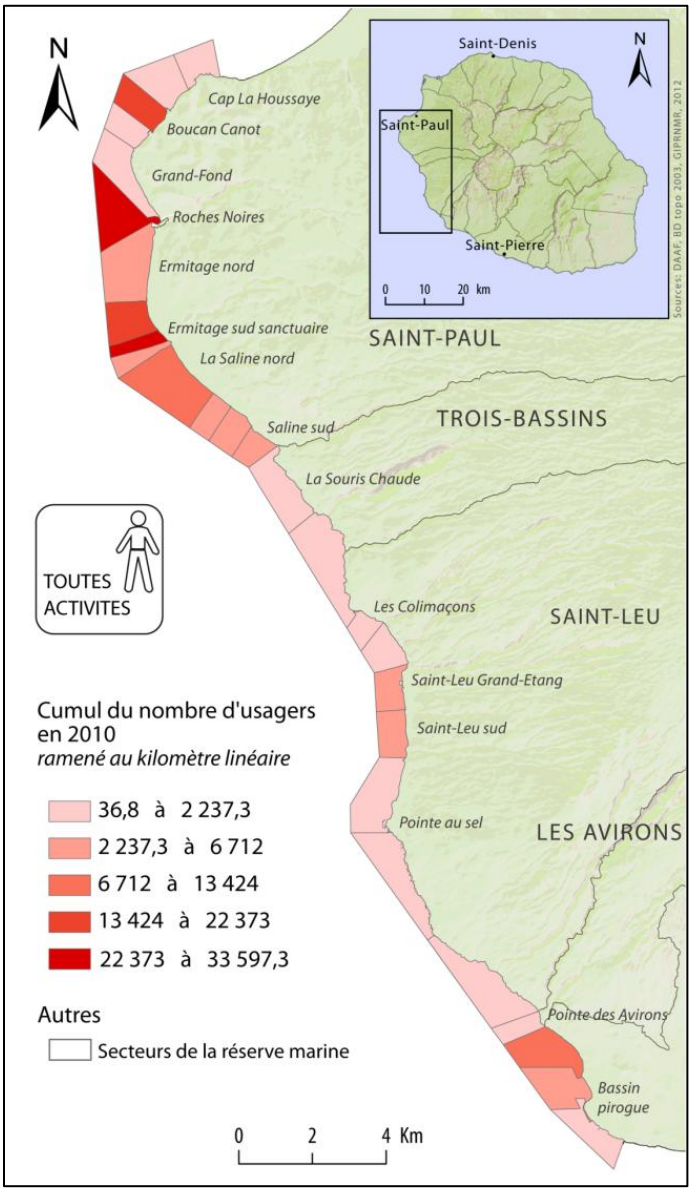


Figure 47 - Répartition générale de la fréquentation globale, cumul des observations en 2010 (48 vols) ramené au kilomètre linéaire.

Toutes activités confondues, la fréquentation au sein de la RNMR se répartit de façon assez hétérogène (Figure 47). Il existe 2 principaux "foyers" situés au nord de la réserve (Ermitage/Saline, commune de Saint-Paul) et au sud (Commune de l'Etang-Salé). Au centre, la fréquentation est moins importante et se concentre sur les zones de Saint-Leu Grand Etang et Saint-Leu sud où respectivement 24 136 usagers/kml [119] et 12 963 usagers/kml ont été recensés en 2010. Les zones au sein desquelles le plus grand nombre d'observations a été fait sont celle de l'Ermitage sud sanctuaire (33 597,3 usagers/kml) et Roches-Noires (26 085 usagers/kml). Les secteurs de Boucan-Canot et Ermitage Sanctuaire enregistrent le même nombre d'observations en 2010, soit plus 16 000, ce qui n'équivaut néanmoins pas à la même pression réelle exercée (21 991,8 contre 19 547 usagers/kml). Enfin, les sites de l'Etang-Salé et de Saline nord sont des sites d'importance de 3ème rang avec respectivement 6 847 et 10 132,2 usagers/kml en 2010.

[119] "Kml" désigne kilomètre linéaire, dont le choix a été justifié dans le chapitre 4.B.1.1.2.

5.B. Caractéristiques spatiales et temporelles de la répartition des usages

La répartition spatiale et temporelle des 15 usages suivis dans le cadre de cette thèse est ici décrite.

5.B.1. Schéma de répartition "côte-large" des usages

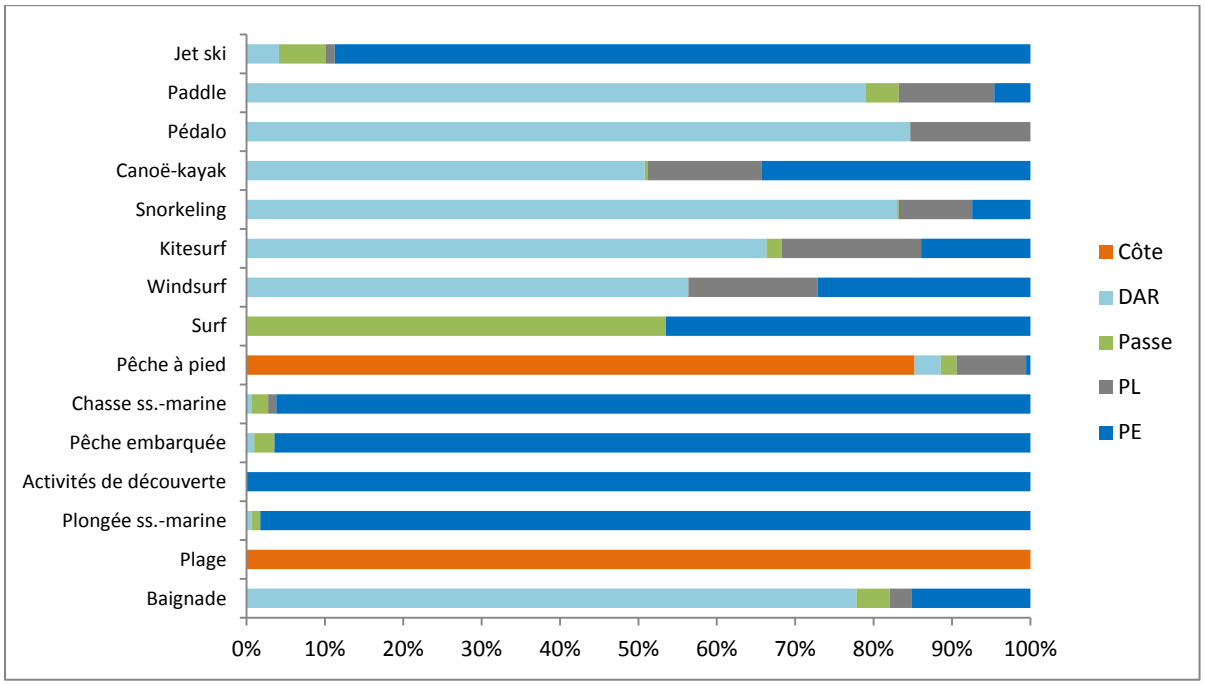


Figure 48 - Répartition côte-large des usages exprimée en % d'usagers observés en 2010 par type de zone morphologique (DAR : dépression d'arrière-récif ; PL : platier ; PE : pente externe)

Les usages sont contraints par la morphologie. Selon leur nature, les engins utilisés, ils auront une aire de répartition différente, contrainte par les caractéristiques du milieu (profondeur, courantologie) ou la réglementation en vigueur (zonage réglementaire de l'AMP). Les zones de pente externe (PE) sont sans surprise les aires privilégiées de répartition des engins à moteur : pêche embarquée, activités de découverte du milieu marin (Figure 48). La plongée sous-marine et la chasse sous-marine se pratiquent également exclusivement en pente externe. Les dépressions d'arrière-récif (DAR) sont les zones privilégiées de répartition des activités de baignade (77 % des observations), des activités de windsurf et kitesurf (56 % et 66 %) et des activités nautiques (83 % des observations pour les palmes-masque-tuba et le pédalo) à l'exception du canoë-kayak dont la moitié des observations sont faites en DAR, et l'autre moitié des observations se répartit entre zones de platier (PL) (14,5 %) et de pente externe (34 %). L'activité de surf se pratique en pente externe à proximité du front récifal, là ou déferlent les vagues (46,5 % des observations) ; les 56 % des observations restantes se sont faites dans des zones de "passe" : la "Passe de Trois-bassins" (Figure 48). De même les 15 % d'observations de baigneurs correspondent aux zones de bain de Boucan-Canot et de l'Etang-Salé nord. Classés en "pentes externes", ces deux sites sont en réalité des zones de bain ouvertes sur l'océan, où se trouvent quelques bancs récifaux (cf. 3.A.1). L'activité de pêche à pied enfin est la seule à être représentée sur tous les ensembles géomorphologiques types, bien qu'une majeure partie des usagers fréquente des côtes rocheuses (85 % des observations).

5.B.2. Répartition spatio-temporelle des usages non-extractifs

5.B.2.1. Les usages "plagiques" : usagers des plages et baigneurs

Globalement, la répartition du nombre des plageurs se calque sur celle des baigneurs. Sans surprise, ces deux usages sont fortement corrélés dans le temps et l'espace, comme cela a par ailleurs déjà été mis en évidence dans le rapport fait pour le gestionnaire à partir des observations de terrain (Lemahieu *et al.*, 2010). Les activités plagiques se caractérisent par une fréquentation plus importante les après-midi (en moyenne 4 fois plus de plageurs et 5,5 fois plus de baigneurs l'après-midi que le matin), et durant les week-ends en période scolaire (en moyenne il y a 1,5 fois plus de plageurs et baigneurs les week-ends par rapport aux vacances scolaires, et 2,4 à 3 fois plus qu'en semaine de période scolaire). Ces types d'usages balnéaires sont davantage représentés durant l'été, même si l'on observe pour les pratiques plagiques une fréquentation à peu près équivalente entre les après-midi d'hiver et d'été. En hiver, le ratio plage/bain qui s'établit à 1,77 en moyenne en été, se trouve creusé à 4,5 en hiver (Figure 49). Moins d'usagers se mettent effectivement à l'eau pendant la saison hivernale, et/ou sortent plus tôt de l'eau, ce qui explique que le nombre moyen d'observations baisse au moment du passage de l'appareil (entre 16 et 16h30).

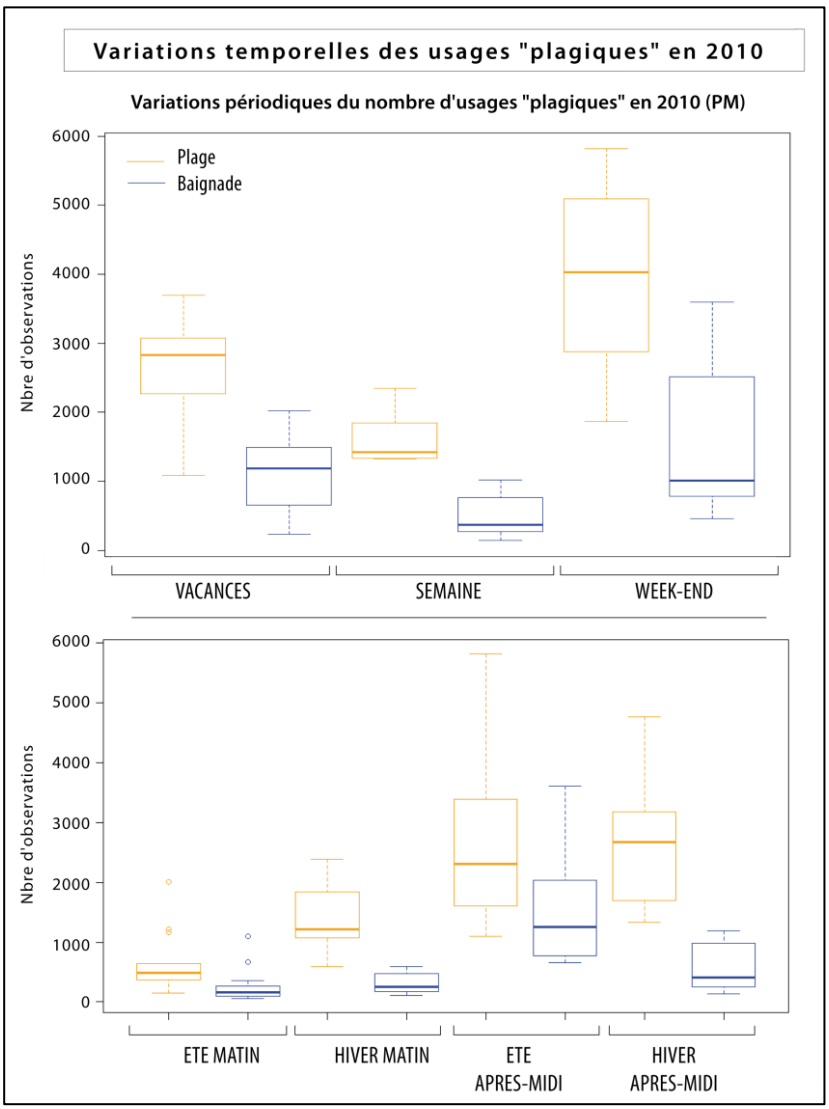


Figure 49 - Répartition temporelle des usagers "plagiques" en 2010

Pour l'activité de baignade comme pour les plageurs, le pic de fréquentation est observé durant un après-midi d'été (3 457 usagers plageurs le 17 mai 2012, 3 601 baigneurs le 11 avril 2010).

Du fait que les activités plagiques représentent 90 % du total des observations en 2010, on retrouve les mêmes schémas de répartition que sur la cartographie de la fréquentation globale. Les deux mêmes foyers nord et sud apparaissent. Les trois plages les plus fréquentées sont celles de Boucan-Canot (16 805 plageurs/kml pour 4 258 baigneurs/kml), Ermitage sud (21 813 plg/kml pour 11 221 bgn/kml), Roches-Noires (19 291 plg/kml pour 5 979 bgn/kml), et les secteurs de Saline nord et sanctuaire et l'Etang-Salé (4 564 plg/kml pour 1 581 bgn/kml) (Figure 50).

L'essentiel des baigneurs, soit 73 %, se répartit dans les zones de dépression d'arrière-récif des plages récifales (complexes récifaux de l'Ermitage-Saline, Saint-Leu et Etang-Salé), puis viennent les zones de "pente externe" qui concentrent 18 % des observations, correspondant aux sites de Boucan-Canot et de Roches-Noires où la baignade se fait en "pleine mer".

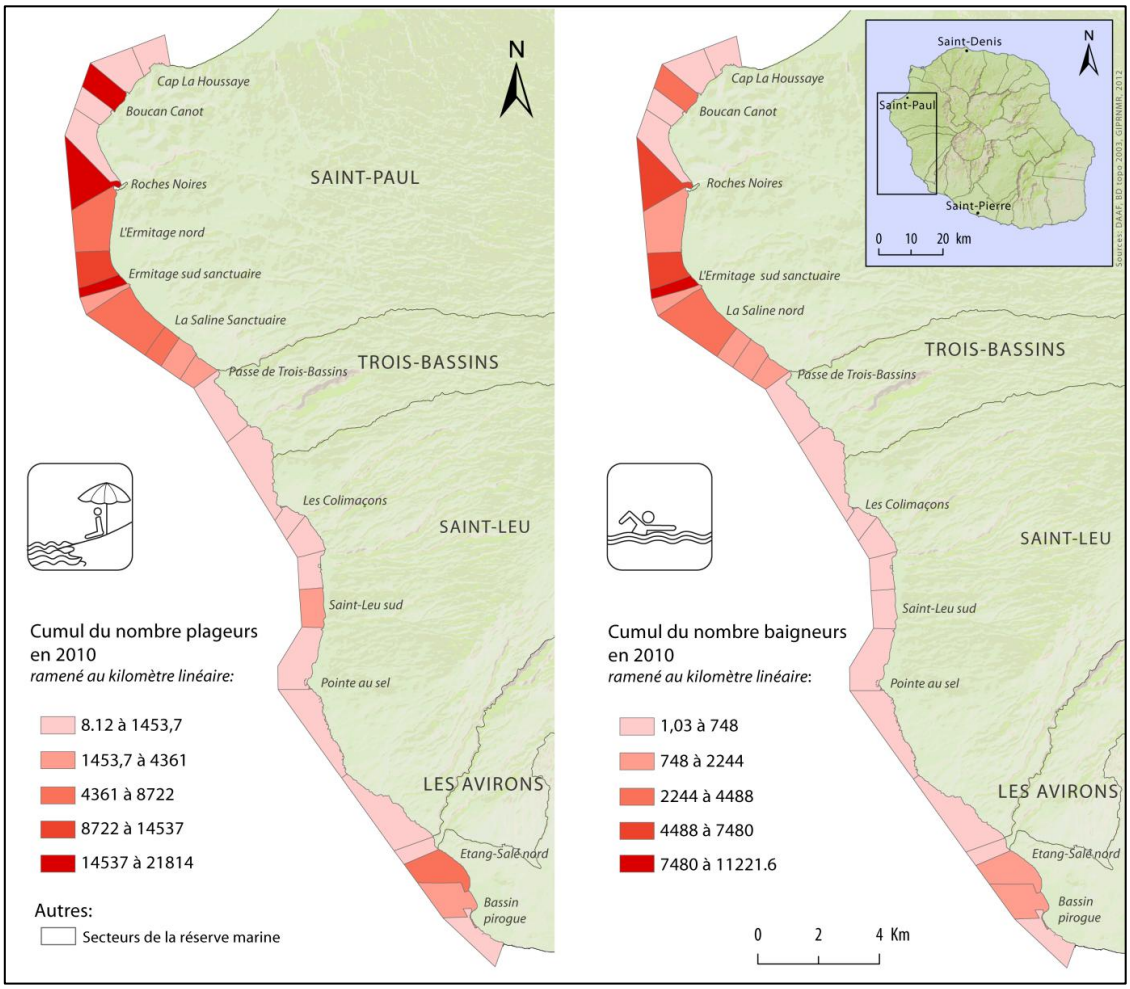


Figure 50 - Répartition des "plageurs" et des "baigneurs", d'après le cumul des observations en 2010, ramené au kilomètre linéaire.

5.B.2.2. Les activités nautiques

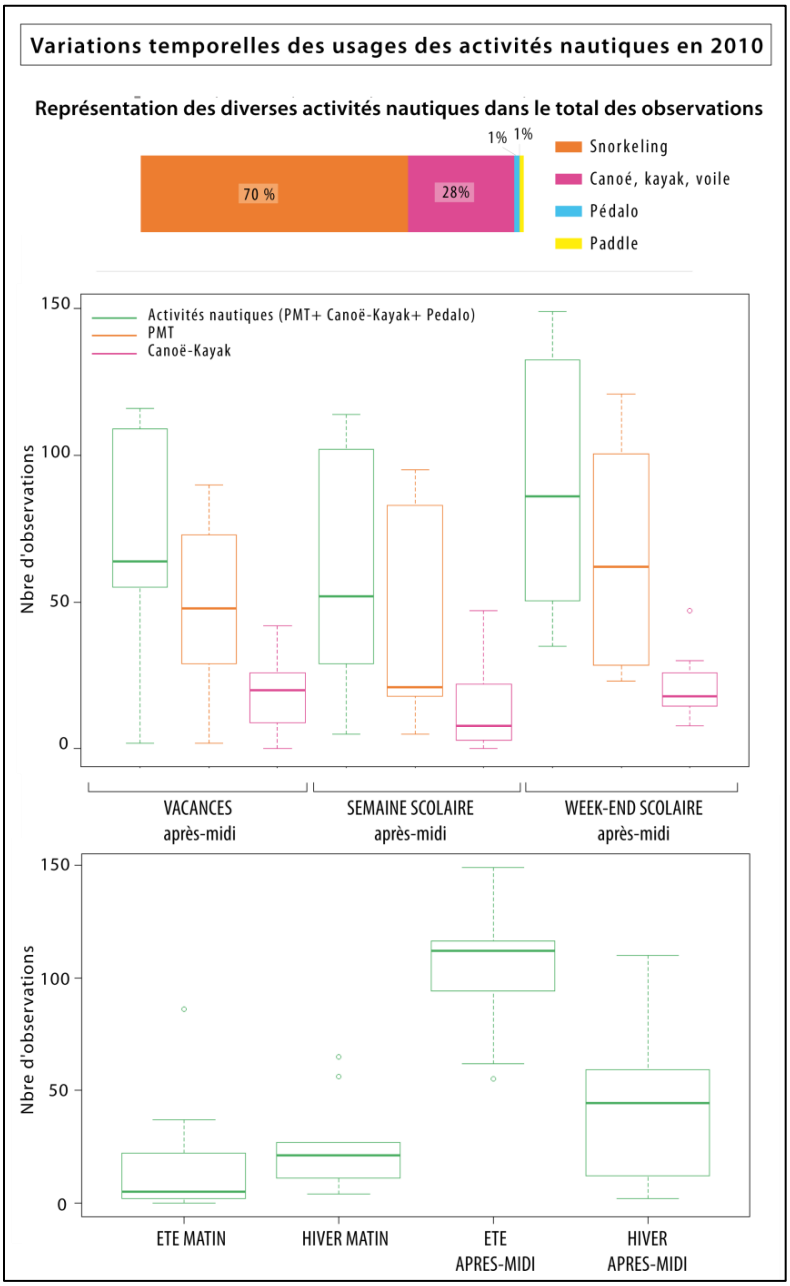


Figure 51 - Variations temporelles du nombre d'usagers des activités nautiques (PMT, Canoë-Kayak et autres embarcations légères non motorisées, pédalo et paddle) en 2010.

La plus grande part des activités nautiques se constitue de pratiquants de Palmes-masque-tuba (PMT), à hauteur de 70 % du total des observations, suivi de la pratique des sports nautiques nécessitant une embarcation légère (canoë-kayak, optimistes, avirons, etc.) et regroupés sous la catégorie "canoë-kayak".

Les trois types de sous-catégories revêtent les mêmes dynamiques, avec une variabilité inter-strates qui est moindre pour la catégorie "canoë-kayak". La strate temporelle la plus fréquentée est celle du week-end en période scolaire (37,9 % des observations), suivi de la strate des vacances (37,9 %) puis des semaines de période scolaire (29 %). La pratique des activités nautiques est clairement associée au créneau de l'après-midi et à la saison estivale plus particulièrement (2,3 fois plus d'activité en moyenne que durant l'hiver) (Figure 51).

Le schéma de répartition des activités nautiques se calque plus ou moins bien sur la répartition des activités plagiques. Les secteurs récifaux sont fortement fréquentés, à l'instar de l'Ermitage sanctuaire et Ermitage sud qui enregistrent les plus forts scores (467 et 508 usagers au kml). Puis viennent les secteurs de Saline nord (253,6 usagers au kml), Saline sanctuaire (217,5 au kml) ainsi que les sites de Boucan-Canot et Roches-Noires (Figure 52). Le site de Cap la Houssaye est également fréquenté par les activités nautiques, ce qui n'est pas le cas pour les activités plagiques, puisqu'il s'agit d'une falaise, impropre aux activités de plage. La mise à l'eau restant possible et relativement

abritée des houles australes, le site est assez fréquenté par les pratiquants de PMT, les canoës-kayaks ou encore les écoles de voile/optimists[120].

Le PMT qui se pratique pour l'essentiel dans le "lagon" (65 % des observations) revêt un schéma de répartition similaire à celui décrit juste avant, les zones principales de pratique étant Ermitage sud et sanctuaire (jusqu'à 430,5 PMT au kml), puis la fréquentation "tombe" à 197 pratiquants au kilomètre linéaire à Boucan-Canot et 144 sur le complexe récifal de la Saline (Figure 52). Ces zones sont appréciées pour la pratique du PMT puisque disposent de récifs coralliens non loin de la côte à une faible profondeur (récifs frangeants).

Les principales zones de pratique de canoë-kayak correspondent aux plans d'eau de Saline nord et Saline trou d'eau (92,6 et 72,9 usagers au kml) où de nombreux restaurateurs et commerçants mettent des engins à la location. On observe également une fréquentation assez importante à Saint-Leu autour du port de plaisance (66,3 usagers au kml) (Figure 52). Le plus fort score associé au secteur de Roches-Noires correspond en fait à une zone de passage pour les écoles de voiles et d'optimists. C'est par ailleurs l'activité nautique que l'on observe le plus souvent en pente externe (36 % des observations).

Les activités de pédalo et de paddle sont des activités "reliquat" peu représentées. Le pédalo se pratique exclusivement sur les plans d'eau des zones récifales car associé à des structures commerciales (la Saline essentiellement). Et enfin, le paddle est une activité naissante qui se pratique essentiellement sur les plans d'eau récifaux (82 % des observations) et qu'on retrouve surtout sur le récif de la Saline (15,7 usagers au kml sur le secteur de Saline Sanctuaire et 4,5 sur Saline nord) (Figure 52).

En somme, la pratique des activités nautiques est fortement associée à la présence des récifs coralliens. La présence de nombreux commerces et restaurants à proximité directe des complexes récifaux de L'Ermitage et de la Saline explique pourquoi l'essentiel des observations d'activités nautiques de type canoë-kayak, paddle ou pédalo se font sur ces secteurs. De nombreux établissements mettent effectivement à la location du matériel adéquat.

[120] L'optimist est un "dériveur" au même titre que la voile et rattaché à la Fédération Française de voile (ww.promotion-optimist.fr)

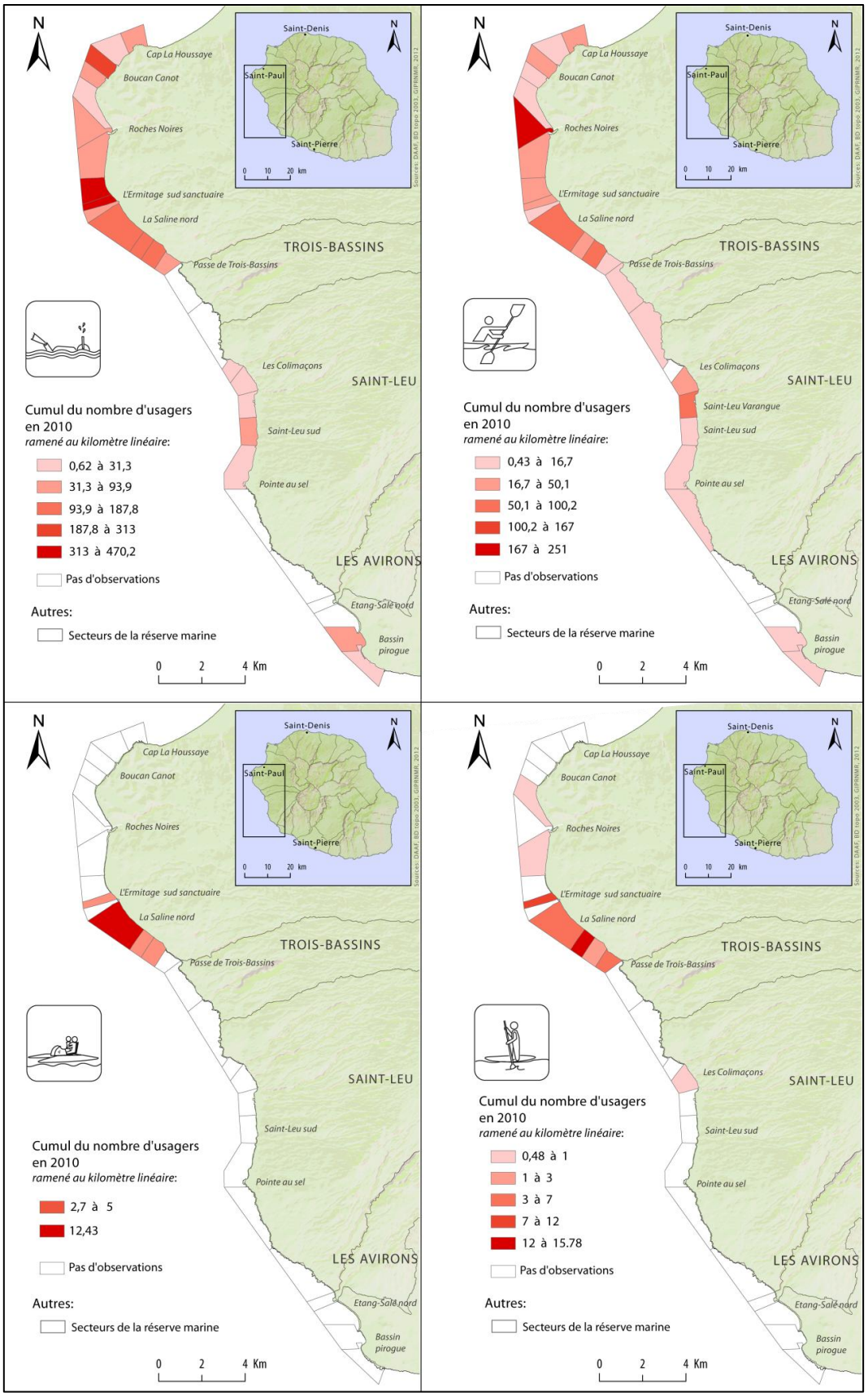


Figure 52 - Répartition spatiale des activités nautiques, le PMT (en h. à g.), le canoë-kayak et otpimists (en h. à d.), le pédalo (en b. à g.) et le paddle (en b. à d.) en 2010

5.B.2.3. La plongée sous-marine

La fréquentation par les bateaux de plongée est relativement constante à l'échelle du calendrier scolaire. La médiane se situe entre 11 (vacances) et 13 observations (week-end). On observe une plus grande variabilité de fréquentation pendant les vacances scolaires et les week-ends, durant lesquels la demande auprès des centres de plongée est soumise à davantage de fluctuations (tourisme) (Figure 53). La fréquentation est plus importante le matin. La distribution matinale de l'été accuse une forte variabilité du fait que l'heure d'échantillonnage, soit 8h30/9h00, correspond aux premières sorties des bateaux de plongée, lesquels ne sortent pas tous à la même heure en fonction de la distance qui les séparent du spot de plongée du jour. Le pic de fréquentation a été identifié le 12 juin 2010, une matinée d'hiver, durant laquelle 32 bateaux ont été observés. La plus forte représentation se fait d'ailleurs les matinées d'hiver puisque les conditions sont plus optimales (saison sèche et turbidité de l'eau réduite), puis les après-midi d'été.

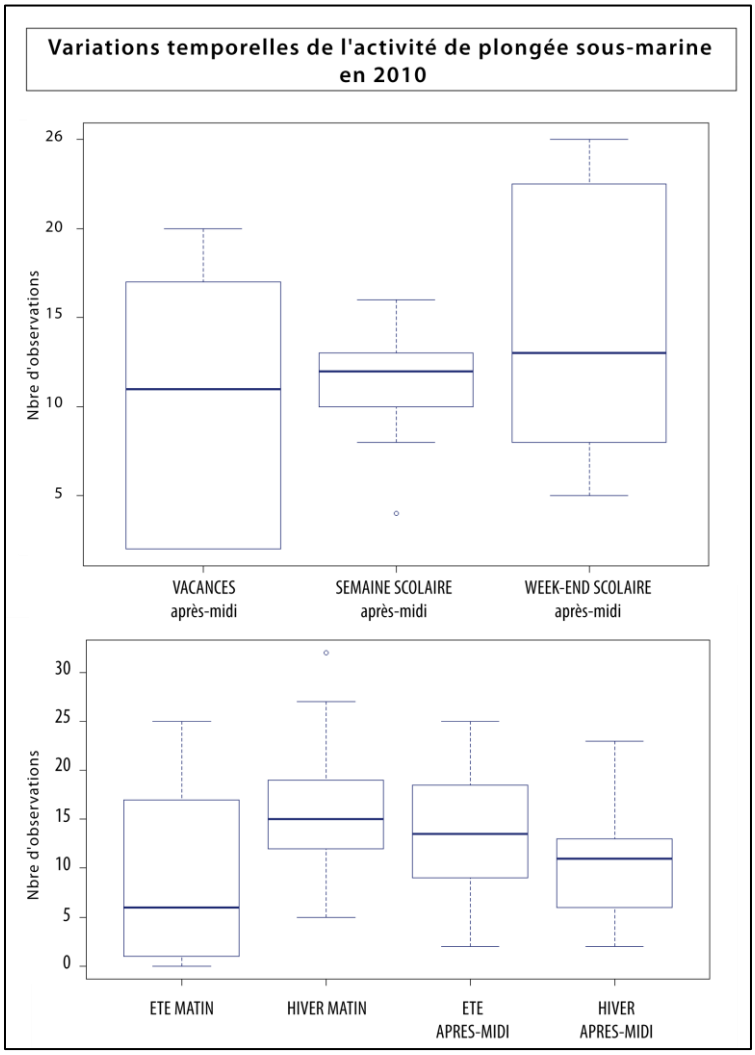


Figure 53 - Variations temporelles de l'activité de plongée en 2010 (en nombre de bateaux observés)

De par les conditions nécessaires à sa pratique (fonds entre 8 et 50 mètres en moyenne), la répartition longitudinale des bateaux de plongée reste circonscrite aux zones de pentes externes. En de rares endroits, comme à l'Ermitage, il s'agit de passes.

Dans de nombreuses zones, les observations de bateaux de plongée ont été ponctuelles soit parce que les sites sont très rarement fréquentés de par leur niveau de difficulté ou des conditions météorologiques souvent mauvaises, ou encore parce que les observations correspondent à des bateaux de passage, qui rappelons-le, ont également fait partie du protocole de recensement en vol.

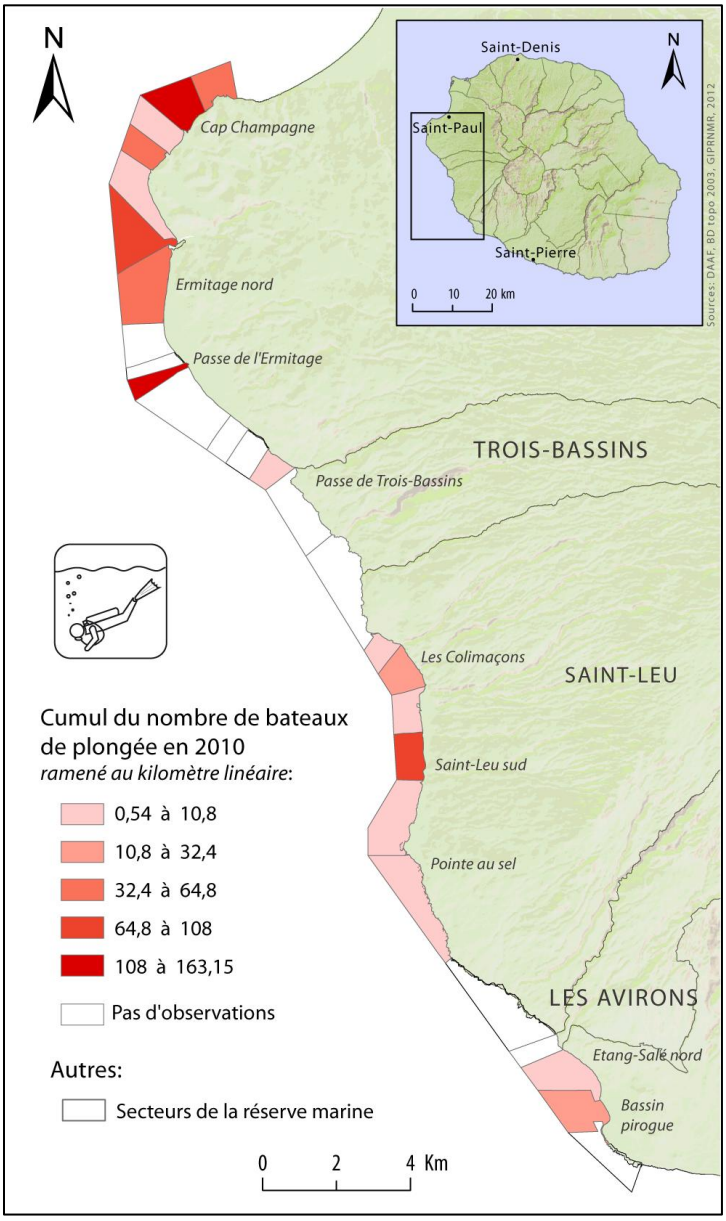


Figure 54 - Répartition des bateaux de plongée sous-marine d'après le cumul des observations en 2010, ramené au kilomètre linéaire.

Bien que le secteur de Saint-Leu sud ait été le plus fréquenté en 2010 avec 119 sorties observées (soit plus de 700 plongeurs), l'essentiel de la pratique de plongée se fait au nord de la réserve, le secteur de Cap Champagne étant le plus fréquenté avec 101 sorties comptabilisées en 2010 soit 110 bateaux au kilomètre linéaire (soit 660 plongeurs au kml) (Figure 54). La passe de l'Ermitage est un spot où la pression au kilomètre linéaire est la plus forte avec une fréquentation atteignant les 980 plongeurs estimés au kilomètre linéaire en 2010.

Certains sites sont des lieux de passage pour les bateaux de plongées alors comptabilisés au moment du passage de l'appareil (Roches-Noires notamment). La prédominance des secteurs nord dans les habitudes de fréquentation tient à la proximité du port de Saint-Gilles d'où partent la plupart des bateaux de plongée au départ des trois ports de la réserve marine.

5.B.2.4. Les sports de glisse

L'activité de surf n'affiche pas de grands contrastes temporels dans sa pratique. Deux strates se dégagent plus particulièrement en termes d'intensité dans sa pratique : les week-ends qui sont plus fréquentés (174,8 surfeurs en moyenne), puis les vacances scolaires (142,1 surfeurs) (Figure 55). La fréquentation reste tout de même relativement importante en semaine (110,6 surfeurs), notamment le mercredi, jour d'école de surf. Le déplacement horaire du matin a clairement permis d'optimiser l'observation de l'activité de surf. L'activité est importante en hiver comme en été, avec un nombre moyen d'observations plus élevé en été, pendant les après-midi (158,5 surfeurs en moyenne). Le pic d'activité a été identifié un samedi 22 mai après-midi.

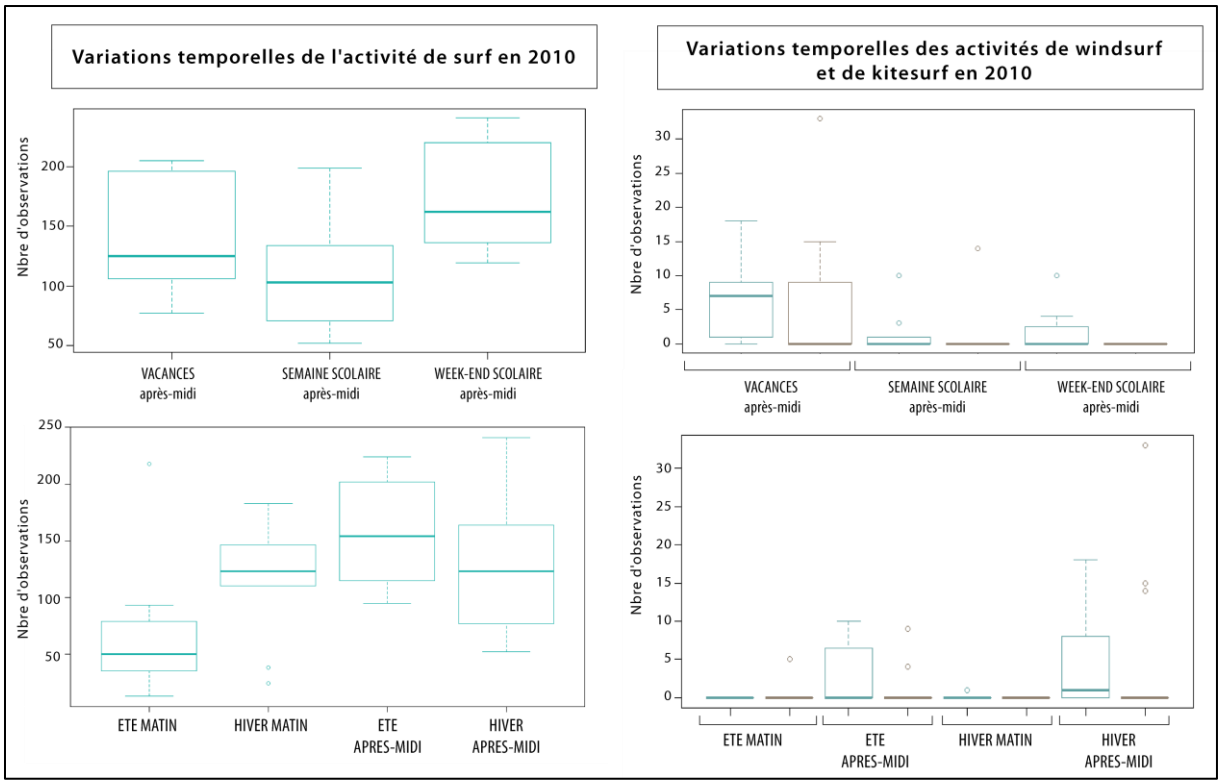


Figure 55 - Variations temporelles de la fréquentation par les sports de glisses (surf à gauche et kitesurf/windsurf à droite) en 2010.

Qu'il s'agisse de l'activité de kitesurf ou de windsurf, leur pratique est plus constante pendant les vacances scolaires. La fréquentation moyenne s'élève à 6,67 windsurfeurs (σ= 5,87) et 6,78 kitesurfeurs (σ= 11,2) durant cette période, contre 1,56 en semaine et 1,88 en week-ends de période scolaire pour les windsurfeurs (Figure 55). Les après-midi, été comme hiver australs, sont clairement la partie de la journée associé à ces activités. Le vent austral, propice à leur pratique dans les zones concernées par l'arrêté[121] autorisant leur pratique, se lève généralement en deuxième partie de journée. La fréquentation observée en semaine et week-ends de période scolaire pour ces deux activités est résiduelle. Dans tous les cas, la variabilité est grande, explicable par la variabilité des conditions météorologiques.

La répartition spatiale des surfeurs fait écho à la carte des spots (cf. 3.B.3), mais ces derniers ne sont pas fréquentés avec la même intensité. Les spots privilégiés de pratique sont intégrés aux zones de Boucan-Canot (666,2 observations/kml en 2010), Cap Homard (470,7 surfeurs/kml), Grand-Fond (453 surfeurs/kml), passe de Trois-Bassins (588,6 surfeurs/kml) et l'Etang-Salé nord (691,8 usagers/kml). Les windsurfeurs et les kitesurfeurs se concentrent essentiellement sur les plans d'eau récifaux de la Saline trou d'eau, comme prévu par l'arrêté (respectivement 10,5 et 33,3 usagers/kml en 2010), Saline sud pour le kitesurf (40 usagers/kml) et Saline nord pour le windsurf (23,7 usagers/kml). Les lieux de pratique secondaires se localisent au sud pour le windsurf (Etang-Salé, 9,3 usagers/kml) et de façon plus disparate et ponctuelle pour le kitesurf (Figure 56).

[121] Rappelons que d'après l'arrêté n°1744 du 15 juillet 2008, la pratique du kitesurf et du windsurf n'est autorisée qu'au sein des zones suivantes: Saline trou d'eau (DAR et platier), Saline Sanctuaire (DAR) et la partie sud de Saline nord.

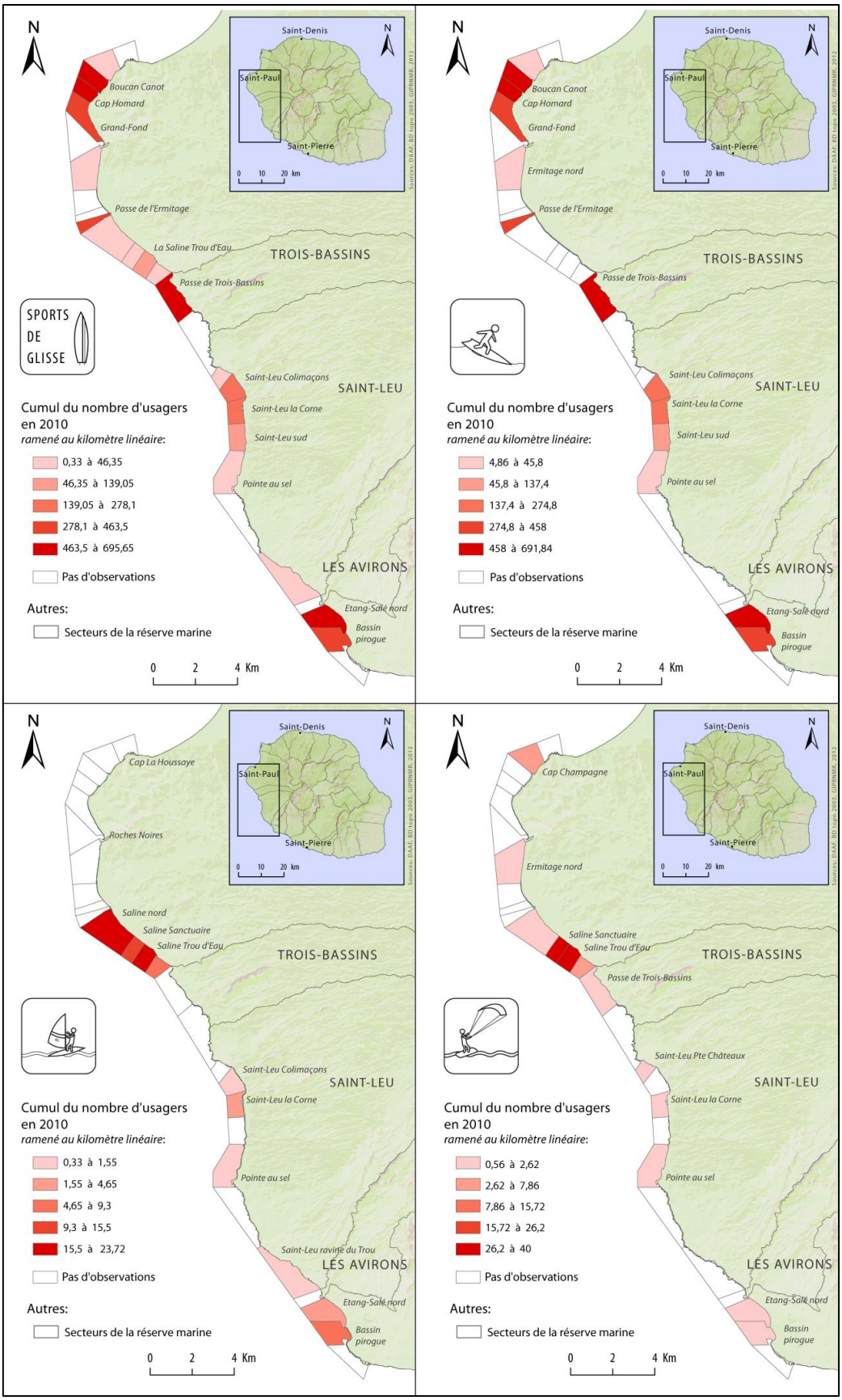


Figure 56 - Répartition spatiale des sports de glisse (en h. à g.), du surf et bodyboard (en h. à d.), du windsurf (en b. à g.) et du Kitesurf (en b. à d.) en 2010.

5.B.2.5. Les activités de découverte du milieu marin et le jet ski

La fréquentation par les bateaux d'observation de la vie marine correspond aux plus faibles scores rendant difficile l'interprétation de leur variabilité dans le temps. Le pic de fréquentation observé s'élevait à 4 observations, l'après-midi du samedi 6 mars 2010. Les secteurs de répartition privilégiés sont essentiellement les secteurs nord, notamment ceux qui se trouvent à proximité du port de Saint-Gilles (Figure 58), l'un des impératifs des professionnels du tourisme étant de minimiser le temps de trajet et donc le coût (Mirault, 2006). Les circuits types parcourent les zones d'Ermitage nord, Roches Noires, et les zones amont, jusqu'à la baie de Saint-Paul. La zone la plus fréquentée en 2010 est celle de Grand-Fond (0,24 bateau/hectare observé), qui se situe au nord de Roches-Noires.

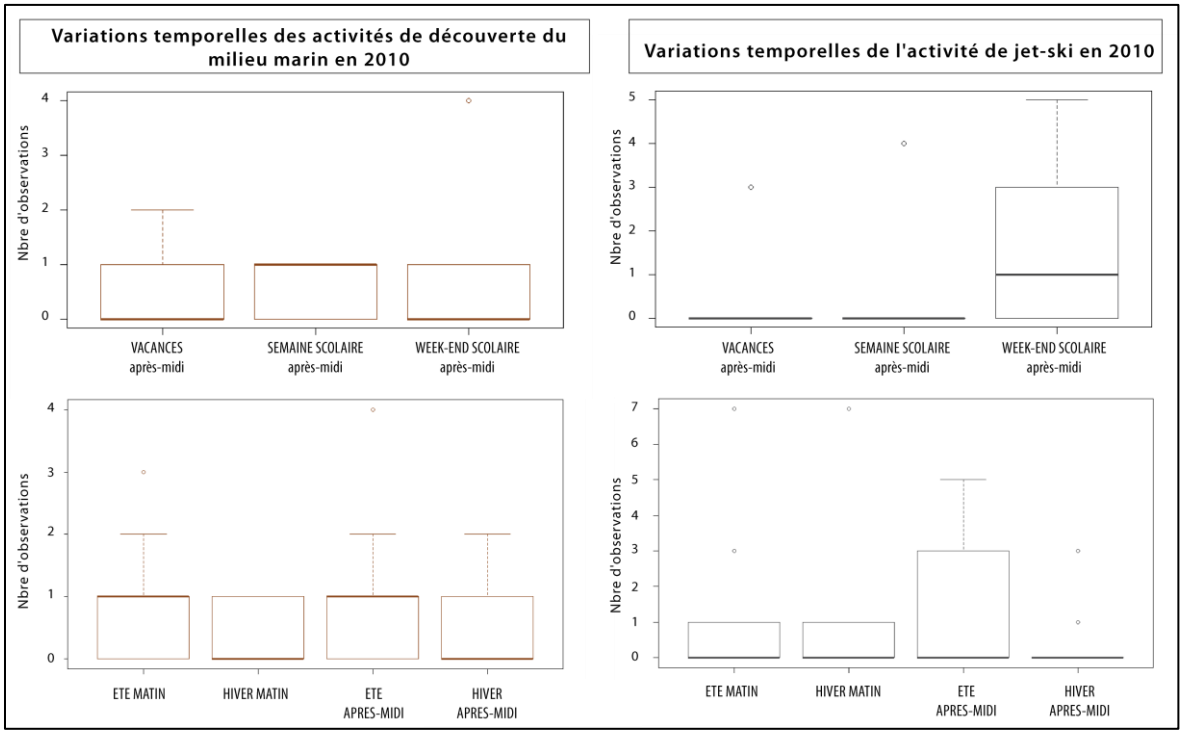


Figure 57 - Variations temporelles de la fréquentation par les bateaux de découverte du milieu marin (à gauche) et de l'activité de jet-ski (à droite) en 2010

Le jet-ski est une activité marginale au regard du panel des activités pratiquées au sein de la réserve. Au total, 41 engins ont été observés sur la totalité des vols, et 37 % du total a été observé les après-midi d'été austral. Les week-ends apparaissent comme une période privilégiée puisque 71 % des observations se sont faites pendant cette période (Figure 57). Les aires de pratique de cette activité généralement proposée par des établissements professionnels, se situent à proximité des ports de Saint-Gilles au nord, de Saint-Leu au centre et de l'Etang-Salé au sud, car ils correspondent au point de départ des engins. Les zones les plus fréquentées en 2010 sont la passe de l'Ermitage (0,38 engin/ha observé) ou encore la zone de l'Etang-Salé sanctuaire (0,36 engin/ha observé) (Figure 58).

La vocation souvent professionnelle de ces activités explique par ailleurs leur relative constance dans le temps, ce qui explique que la variabilité inter-strates (malgré le très faible nombre moyen d'observations) est faible, voire inexistante.

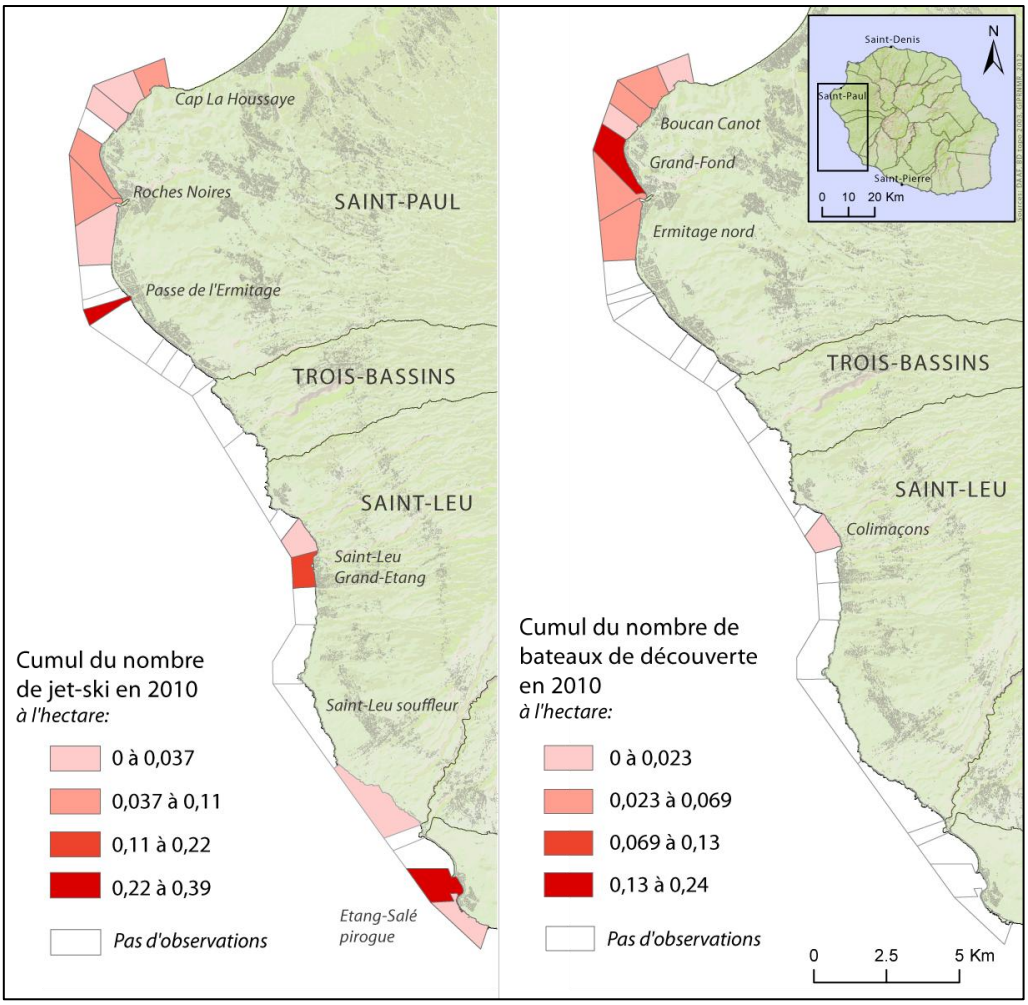


Figure 58 - Répartition spatiale des jet-skis (à gauche) et des activités de découverte du milieu marin (à droite) en 2010.

5.B.3. Répartition spatio-temporelle des usages extractifs

5.B.3.1. Les activités de pêche

La pêche à pied est un usage dont le nombre moyen de pratiquants se maintient à travers les différentes périodes. Les scores de fréquentation sont plus importants pendant les week-ends (37,2 pêcheurs en moyenne) qu'en semaine (33,2 pêcheurs) ou pendant les vacances (35,8 pêcheurs) (Figure 59). L'été austral se positionne clairement comme la saison privilégiée pour la pratique de la pêche à pied, avec une plus grande variabilité matinale en partie liée à l'horaire précoce de survol. Au sein de la catégorie de pêche à pied, nous avons dissocié les pêcheurs à pieds pratiquant leur activité depuis le récif et doivent pour ce faire cheminer entre les colonies de corail[122], des pêcheurs à la côte qui représentaient rappelons-le, 85 % des observations de pêcheurs à pied en 2010. La présence des usagers de la première catégorie est circonscrite aux zones récifales avec les plus forts scores d'observation à la passe de l'Ermitage (44 observations en 2010) et à la Saline nord (48 observations). En termes de pressions, les plus forts scores s'enregistrent à la passe (231,5 pêcheurs/kml), Roches-Noires (80,9 pêcheurs/kml) l'Ermitage sud sanctuaire (43,2 pêcheurs/kml) et dans le secteur de la Saline (37,2 pêcheurs/kml à Saline sud et 27,1 pêcheurs/kml à la Saline nord).

[122] Comme déjà évoqué en partie méthodologie, le positionnement de l'usager au moment de l'appareil faisant foi, les pêcheurs à pieds ont été comptabilisés comme pêchant depuis le récif dès lors qu'il avaient au moins les chevilles dans l'eau.

Les pêcheurs à la côte ont été observés fréquemment et en nombre sur les falaises du Cap la Houssaye (plus de 440 observations en 2010, soit près de 380 pêcheurs/kml). Les secteurs des ports de Saint-Gilles (zone d'Ermitage nord, 180 observations soit 49 pêcheurs/kml) et de Saint-Leu (zone de Saint-Leu varangue où près de 135 observations ont été faites soit 116,3 pêcheurs/kml) sont également très fréquentés par des pêcheurs se positionnant sur les digues portuaires. Enfin on compte également parmi les zones présentant une fréquentation par les pêcheurs à pied non négligeable les secteurs des Avirons (86,9 pêcheurs/kml) et de Pointe au Sel (73 pêcheurs/kml) (Figure 60).

La chasse sous-marine a été assez peu observée. Elle se pratique essentiellement en été, saison durant laquelle on observe en moyenne jusqu'a dix fois plus de pratiquants qu'en hiver. La fréquentation par les chasseurs est plus importante en semaine (moyenne de 1,88), mais également plus variable (Figure 59). Le pic de fréquentation a été observé le matin un dimanche 28 mars 2010, avec 12 observations de pêcheurs sous-marins dans l'enceinte de la réserve marine. En matière de répartition spatiale, c'est au sein du secteur de Pointe au Sel que les observations ont été les plus nombreuses (23 observations en 2010) suivi du secteur de Saint-Leu souffleur, au sud de Pointe au Sel (14 observations). La plus forte présence de chasseurs au kilomètre linéaire concerne en premier lieu le secteur de Saint-Leu Pointe au Sel avec 9,3 chasseurs au kilomètre linéaire, puis Cap la Houssaye avec 9,4 chasseurs au kml. Enfin les secteurs de Pointe au sel et des Colimaçons sont également populaires, et enregistraient 7,8 et 7,4 chasseurs/kml en 2010(Figure 60).

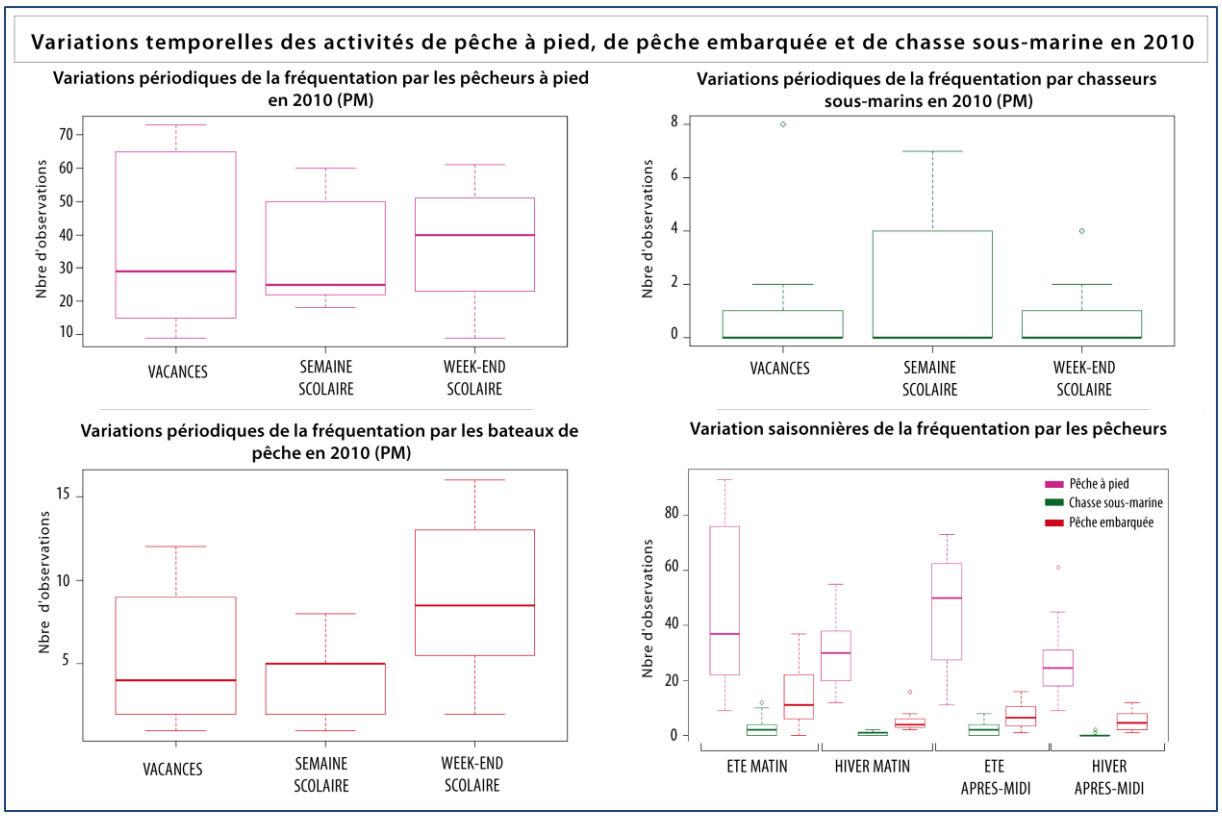


Figure 59 - Variations temporelles de la fréquentation par les pêcheurs (pêche embarquée, pêche à pied et chasse sous-marine).

La pêche embarquée se pratique préférentiellement pendant les week-ends (moyenne de 9 observations de bateaux par vol) puis pendant les vacances scolaires (5,7 bateaux) (Figure 59). La fréquentation est plus régulière et moins fluctuante en semaine, car constituée par des professionnels de pêche essentiellement. Les observations ont été plus nombreuses durant les matinées d'été, lorsque le créneau de vol était à 8h30. Le changement d'horaire pour la compagne hivernale s'est donc fait au détriment de cet usage principalement. En dehors de ce créneau, l'occurrence de cette activité est constante entre le matin et l'après-midi, et entre l'été et l'hiver. Les bateaux de pêche se répartissent assez uniformément sur le territoire de la réserve (Figure 60). Le plus grand nombre cumulé d'observations s'est fait sur le secteur de Roches-Noires (67 observations), qui rappelons le, jouxte le port de Saint-Gilles et constitue en ce sens une zone de transit vers le large. Le secteur de Saint-Leu souffleur constitue également une zone de répartition privilégiée avec 39 observations en 2010. Les secteurs enregistrant les plus fortes densités se trouvent en pentes externes d'un récif, ou à proximité. Les secteurs de Trois-Bassins (0,43 bateau à l'hectare), puis Ermitage sanctuaire sud (0,38 bateau/ha pour seulement 3 bateaux observés, car la zone concernée est de petite taille) ou Ermitage nord (0,3 bateau/ha) comptent parmi les plus densément fréquentés par les bateaux de pêche (Figure 60).

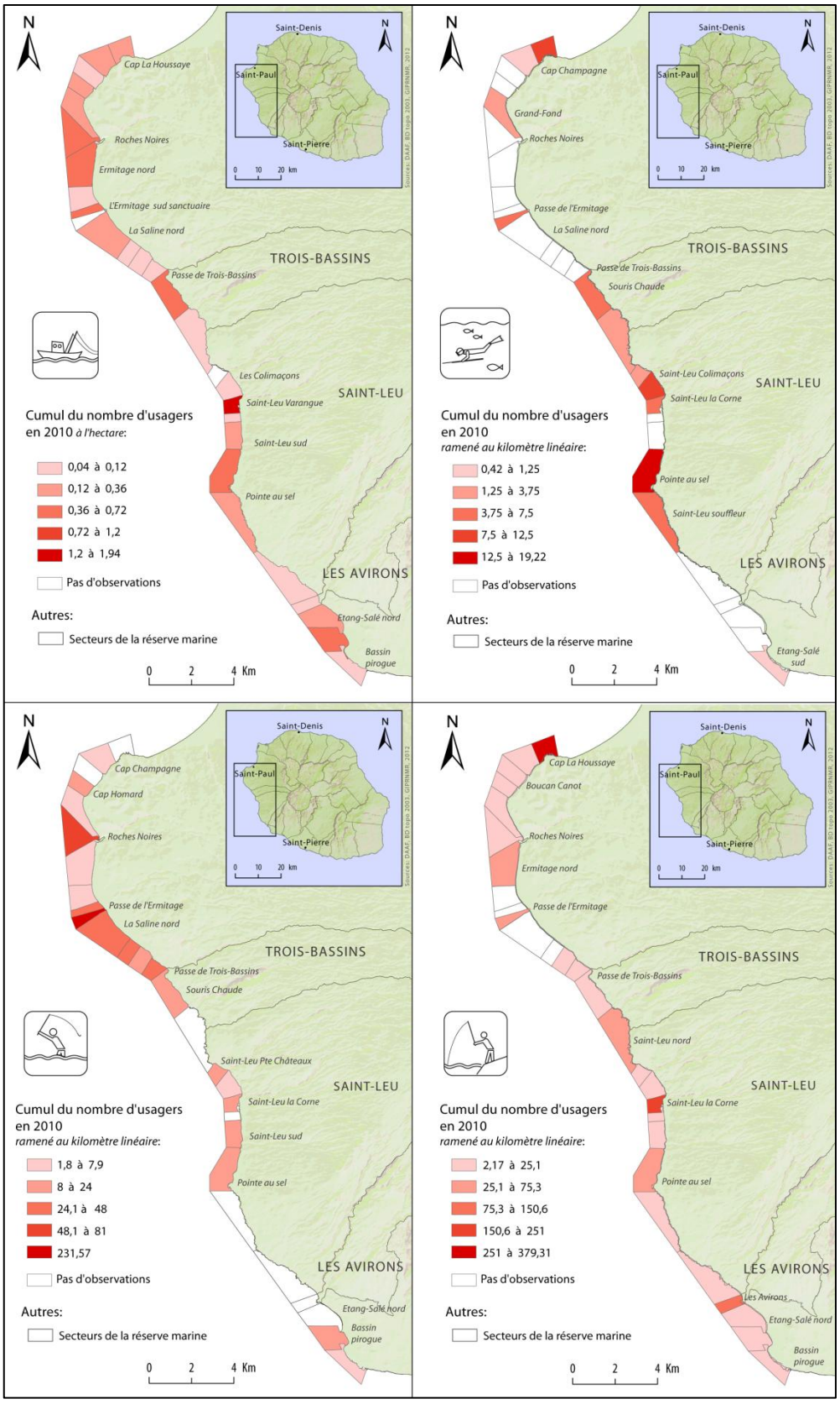
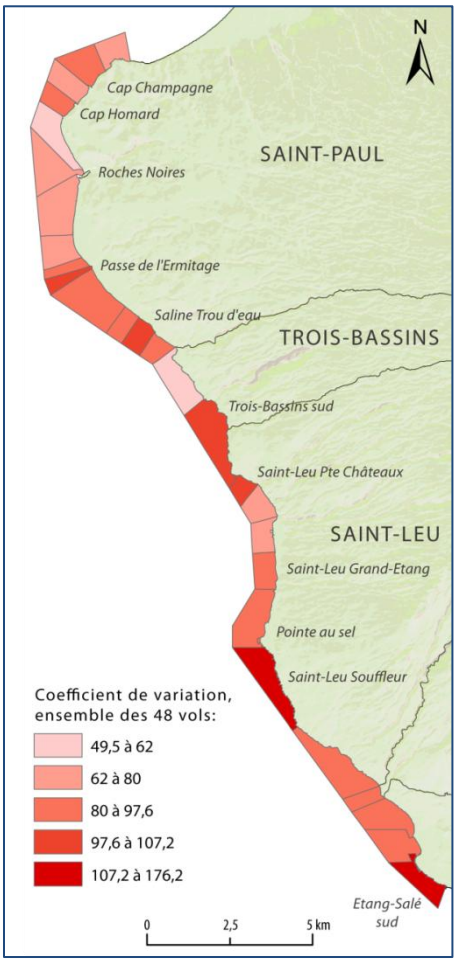


Figure 60 - Répartition spatiale des activités de pêche embarquée (en h. à g.), de chasse sous-marine (en h. à d.), de pêche à pied sur récif (en b. à g.) et de pêche à pied à la côte (en b. à d.) en 2010.

5.B.4. Synthèse des dynamiques spatio-temporelles

Les secteurs qui sont en proie à une grande variabilité correspondent à des secteurs où la fréquentation est la plus faible (Saint-Leu Souffleur, Etang-Salé sud, passe de l'Ermitage, Trois-Bassins sud) et où l'activité est généralement extractive (pêche à la gaulette depuis la falaise, chasse sous-marine) (Figure 61). Cette variabilité s'observe surtout à l'échelle hebdomadaire puisque ces mêmes secteurs sont jusqu'à 2,7 fois plus fréquentés en moyenne le week-end que la semaine (Etang-Salé sud, Trois-Bassins sud), et se joue également sur l'échelle saisonnière (2,5 fois plus de fréquentation à Saint-Leu Souffleur en été par rapport à l'hiver).



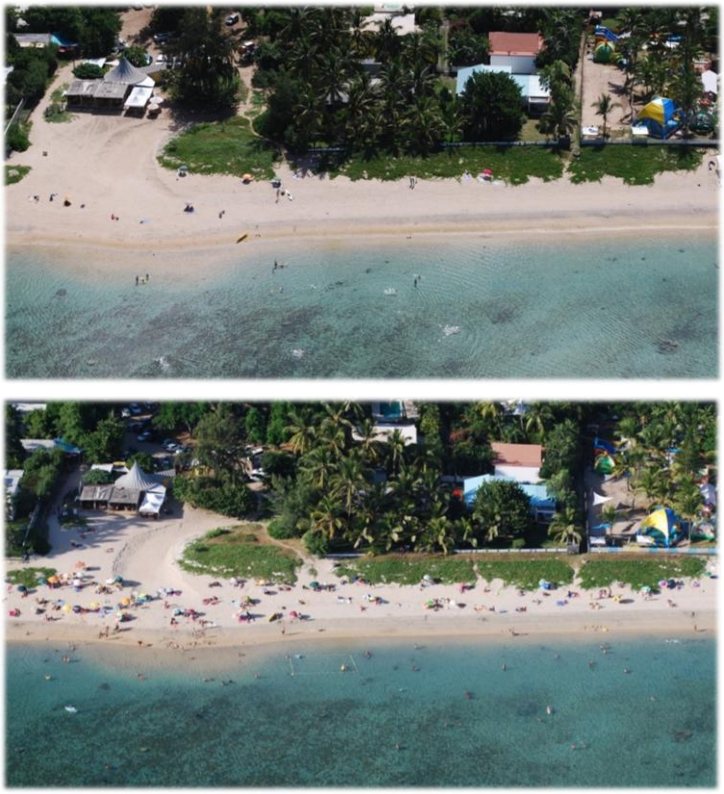


Figure 61- La plage de Saline Trou d'eau les 31 mars 2012 à 10h40 (en haut) et 16 avril 2012 à 16h10 (en bas).

Figure 62 - Coefficients de variation sur l'ensemble de l'échantillon 2010.

Le secteur de Saline Trou d'eau est également soumis à une variabilité temporelle importante (Figure 62), mais contrairement aux secteurs précédents, on a affaire à une zone assez fréquentée (moyenne de 47 usagers le matin et 153 l'après-midi). Cette variabilité qui se joue tout d'abord à l'échelle journalière (3,2 fois plus d'usagers l'après-midi par rapport au matin ; Figure 61) est également expliquée par la forte variabilité hebdomadaire (2,2 fois plus d'usagers le week-end par rapport à la semaine). Dans une moindre mesure, tout le secteur de la Saline connaît une variabilité plus importante au regard des autres secteurs qui présentent une fréquentation de même importance. Ces variations qui sont d'abord journalières (4 fois plus l'après-midi) sont également saisonnières. Le régime hivernal d'alizé a pour effet d'attirer de nouvelles activités (kitesurf et windsurf) sur ce secteur, ce qui vient ponctuellement grossir les effectifs (pratiquants et accompagnants).

Les secteurs les plus stables sont généralement les plus populaires : ils sont fréquentés de façon importante et constante, et subissent donc, à moins d'une "crise" ou événements perturbateurs, très peu de variations (Ermitage, Saint-Leu, Etang-Salé).

Enfin certains sites sont associés aux vacances scolaires : Boucan Canot, Cap Homard, Roches Noires, Saint-Leu Grand Etang, Etang-Salé. Dans certains cas (Saint-Leu Grand-Etang), les sites sont davantage fréquentés pendant les vacances car se trouvent à proximité d'un centre de vacances. Mais généralement, c'est à la fréquentation régulière par les jeunes vacanciers collégiens et lycéens que l'on doit cette augmentation. Ce constat est particulièrement valable :

- pour le secteur de Boucan Canot, qui est une plage clairement associée à la fréquentation par les jeunes, et qui doit son succès à sa proximité aux villes du nord, et à une bonne desserte par les transports en commun ;
- et pour l'Etang-Salé, plage la plus proche de la deuxième ville de l'île, soit Saint-Pierre au sud, et dont le large estran est propice à la pose de filets et la pratique de sports de plage (volley et tennis de plage essentiellement). La très bonne accessibilité du spot de surf dit du "simulateur" permet la pratique de la discipline par un plus grand nombre (Mirault, 2006).

Tableau 27 - Représentation des différents groupes d'activité au sein des strates temporelles constituant notre échantillon (moyenne des observations ; gradient de couleur des plus forts scores en orange foncé aux plus faibles scores en jaune clair)

	ÉTÉ						HIVER					
	Vacances		Période scolaire				Vacances		Période scolaire			
			Semaine		Week-end				Semaine		Week-end	
	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi
Baignade	343,4	1491,8	108,3	869,8	370,5	2323,3	386,8	703,8	107,5	256,8	350	852,8
Plage	688,4	2529	405,5	1733,5	880	4051,3	1511	2715,2	618,5	1526,6	1690,3	3872,3
Pêche embarquée	8,8	7,8	11,5	4,3	25,5	10	4,5	4,2	2,5	4,2	9,3	8
Plongée sous-marine	3,2	14,8	7,5	12,8	17	13	15,8	7,8	8,5	9,8	24,3	16,3
Pêche à pied	45,8	53,5	31,25	46,3	57,5	35,8	30	21,8	26	22,8	33,7	38,8
Chasse sous-marine	1	2,5	1,5	4,3	7,5	1	1,5	0,4	0,5	0	0,3	0,5
Sports de glisse	44,6	164,8	50,8	141,5	104,3	181	128,8	148,2	31	91,4	158,7	172,3
Activités nautiques	1,6	97,8	10,3	103,8	44,5	119	27,5	47,6	5,5	27,6	35,3	61,5
Découverte du milieu marin	0,2	0,8	0,8	0,8	1,5	1,3	0,75	0,6	0	0,4	0,3	0,3
Jet-Ski	0,8	0	0,3	1	1,8	2,8	0	0,6	0	0	3	0,5

En matière de répartition spatiale des activités, un plus grand nombre de catégories sont davantage représentées les après-midi (Tableau 27), car l'ensoleillement et les températures sont plus favorables. Seules les catégories de pêche et la plongée sous-marine sont en moyenne également représentées le matin et l'après-midi. La strate du week-end est également en surreprésentation pour un grand nombre d'usages. Les week-ends de période scolaire sont généralement plus fréquentés pour l'ensemble des usages, que les périodes de vacances scolaires. Enfin, l'été est la saison de prédilection d'un plus grand nombre d'usages, exception faite pour la plongée sous-marine

dont la moyenne des bateaux observés voit son pic en hiver (matins de week-ends scolaires), et les plageurs qui sont très bien représentés au sein de la strate des week-ends après-midi de période scolaire (Tableau 27).

5.C. Relation entre commodités/accessibilité/aménités et la répartition de la fréquentation

Rappelons qu'afin de mesurer les liens pouvant exister entre la répartition de la fréquentation et le "trio" commodité/accessibilité/aménités, seules les plages disposant à minima de sable, et étant à maxima mixtes (sable et galets) ont été retenues pour l'analyse (n = 23), la comparaison entre côte de falaises rocheuses et plages n'étant pas pertinente (cf .4.C.4.2.). Une première étape d'analyse a consisté à réaliser une analyse en composantes principales (ACP) afin de mettre en exergue et synthétiser les relations d'interdépendance régissant certaines variables relevant des paramètres d'aménités des sites, du niveau en commodités et de l'accessibilité.

5.C.1. Analyse des relations entre variables et sites

La transformation des variables catégorielles "zone de baignade" et "type de plage" en variables binaires a abouti à un ensemble de 15 variables. À partir de la matrice des corrélations de bravais-pearson (n = 23) nous avons identifié les variables trop fortement corrélées en elles en vue de réaliser une ACP (Tableau 28).

Tableau 28 - Matrice des corrélations de Bravais-Pearson et identification des variables trop corrélées entre elles

	BAINL	*BAINR*	*PLAB*	*PLAM*	*MNS*	*REST*	*OMB*	*DCH*	*WC*	*RTE*	*ACC*	*PARK*	*AMN*
BAINL	1												
BAINR	-0,7	1											
PLAB	0,3	-0,2	1										
PLAM	-0,3	0,5	-0,7	1									
MNS	0,1	-0,5	0,3	-0,4	1								
REST	0,2	-0,2	0,5	-0,4	0,3	1							
OMB	0,4	-0,4	0,2	-0,3	0,3	0,3	1						
DCH	0,1	-0,4	-0,1	-0,3	0,7	0,2	0,3	1					
WC	0,3	-0,5	0,3	-0,4	0,9	0,4	0,5	0,7	1				
RTE	0,0	0,3	-0,1	0,2	-0,4	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	1			
ACC	0,1	-0,4	0,0	-0,3	0,1	0,1	0,8	0,3	0,3	-0,2	1		
PARK	0,5	-0,4	0,4	-0,3	0,3	0,4	0,8	0,1	0,4	-0,2	0,5	1	
AMN	0,2	-0,1	0,1	0,0	-0,2	0,2	0,1	-0,2	0,0	0,3	0,2	-0,1	1

Les variables dont le coefficient de corrélation est supérieur à 0,8 (Bourque *et al.*, 2006) ont été exclues de l'ACP à savoir les variables "ombre" (OMB) et "toilettes" (WC). En outre, étant donné que l'ensemble des modalités définissant les variables catégorielles sont définies par une relation linéaire, la modalité la moins représentée pour chaque variable a été exclue de l'analyse. L'ACP a donc été réalisée sur 11 variables et 23 individus (sites) (Figure 63).

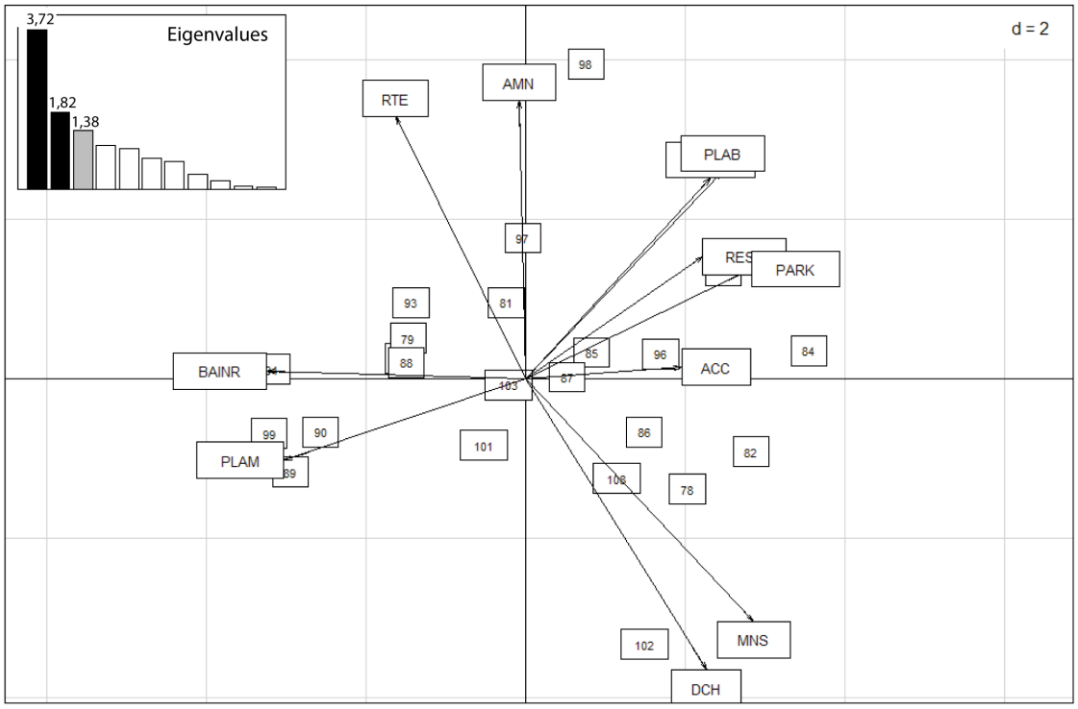


Figure 63 - Projections sur les axes 1 (inertie de 37,2%) et 2 (inertie de 18,3%) des individus (sites) et des variables (paramètres d'attractivité).

Les variables "zone bain en récifs affleurants" (16,4 % de l'inertie) et "plage mixte" (14,3 %) contribuent le plus fortement en négatif à l'axe 1 qui explique 37,2 % de la variance. Les variables "postes de MNS" et "parking" qui ont une contribution moindre mais positive et non moins importante (respectivement 12,7 % et 12,6 % de l'inertie de l'axe) (Tableau 29). L'axe 2 qui explique 18,3 % de la variance voit les paramètres "douche" et "aménagements" apporter la plus forte contribution à l'axe (20,9 % à 18,9 %). Enfin, 11,6 % de la variance est expliquée par les variables "routes", "douches ou encore "parking". En somme 37,2 % de l'inertie du nuage est expliquée par la présence de postes de maîtres-nageurs-sauveteurs (et donc de toilettes) et de possibilités de stationnement importantes (parkings) ainsi qu'un profil de plage de type sableux (aménités) avec arrière-plage ombragée. 18,3 % de l'inertie du nuage est expliquée par la présence d'un réseau routier dense (accessibilité), d'aménagements de loisirs (terrains de jeu, tables de pique-nique) et par l'absence de douches et de postes MNS/toilettes.

Tableau 29 - Contribution des variables à l'inertie des 3 axes, exprimé en% de l'inertie de l'axe pour la contribution absolue (abs.) et relatives (Rel.)

Code	Intitulé variable	Variable corrélée	Comp.1 Abs.	Comp.1 Rel.	Comp.2 Abs.	Comp.2 Rel.	Comp.3 Abs.	Comp.3 Rel.
BAINL	Zone bain en "lagon"		8,4	31,3	9,8	18,0	5,2	7,2
BAINR	Zone bain récif affleurant		16,4	-61,2	1	2	9,4	-13,1
PLAB	Plage sable blanc		9,5	35,5	10,5	19,2	24,3	-33,6
PLAM	Plage mixte		14,3	-53,3	1,6	-3	6,4	8,9
MNS	Poste de MNS	Toilettes	12,7	47,6	14,5	-26,5	2	-2,8
REST	Restaurants		7,7	28,8	3,6	6,6	9,6	-13,3
DCH	Douches		8	29,9	20,9	-38,1	1,5	2,1
RTE	Routes		4,1	-15,4	16,8	30,7	0,3	0,4
ACC	Accessibilité	Ombre	5,9	22,3	3	6	30,5	42,2
PARK	Parkings		12,6	47,0	2,9	5,3	1,2	1,7
AMN	Aménagements		1	-4	18,9	34,5	9,1	12,6

5.C.2. Typologie de l'attractivité des sites à partir des composantes principales

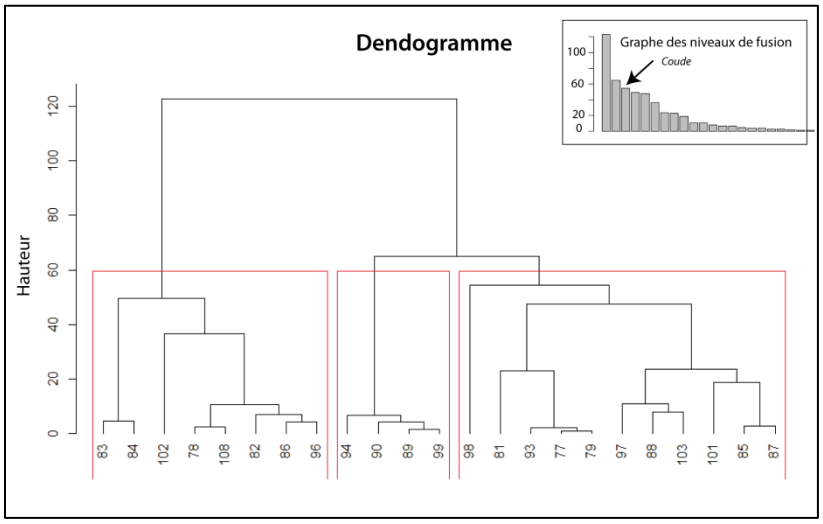


Figure 64 - Dendogramme et graphe des niveaux de fusion avec le coude retenu à 3 classes (voir annexe 7 pour numéro de zones de plages et noms associés).

Bien qu'un coude visible sur le graphe des niveaux de fusion indiquât deux classes, nous avons privilégié la coupure au deuxième coude soit à 3 classes (Figure 64). La perte d'inertie inter-classe est plus importante, mais cette discrétisation permet de détailler davantage l'information.

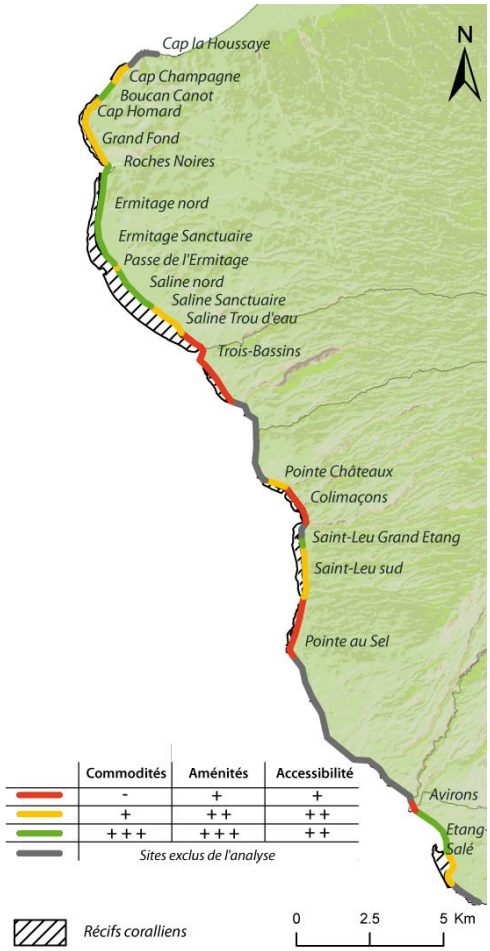


Figure 65 - Typologie de l'attractivité des sites réalisée à partir des 3 groupes du dendrogramme

Un premier groupe (rouge) se distingue par l'absence totale de commodités, un niveau d'aménités et d'accessibilités moyennes. Il s'agit des sites dont les plages sont systématiquement mixtes, où le récif frangeant affleurant et proche de la côte ne favorise pas la baignade, et où l'ombre est quasiment inexistante : Colimaçons et Pointe au Sel à Saint-Leu, Trois-Bassins, et la plage de la pointe des Avirons (Figure 65).

Un second groupe (jaune) se caractérise par un faible, voire très faible niveau d'équipement en commodités[123] en 2010 mais par une assez bonne accessibilité (proximité des routes et parkings). Les atouts en termes d'aménités sont moyens, la baignade pouvant se qualifier de "assez difficile" à l'exception de la Saline. Dans la plupart des cas, les arrière-plages ombragées sont rares à inexistantes : Cap Champagne, Cap Homard, Grand-Fond, Passe de l'Ermitage, Saline sanctuaire et Trou d'eau à Saint-Paul, Pointe Châteaux, Saint-Leu varangue et sud à Saint-Leu, et Etang-Salé bassin pirogue sont dépourvues d'arrière-plage ombragée, et parfois bordées par un front d'urbanisation.

[123] Depuis des aménagements ont été apportés, mais leur effet sur la répartition n'est pas mesuré ici dès lors que l'analyse serait faussée par les effets de la crise requin.

Un troisième groupe (vert) affiche un bon niveau d'équipement en commodités (Postes de MNS pour tous, restauration et sanitaires), des aménités à forte qualité paysagère, avec quelques espaces d'arrière-plage ombragée pour certains sites. La baignade est partout aisée, mais l'accessibilité reste modérée : Boucan-Canot, Ermitage nord et Saline nord à Saint-Paul, Saint-Leu Grand Etang et Etang-Salé nord. Bien qu'associés à ce groupe, les deux seuls sites de l'Ermitage sanctuaire et Ermitage sud sanctuaire se détachent dans le dendrogramme car ils possèdent de nombreuses commodités, sont pourvus de façon optimale en aménités (arrière-plages ombragées, zones de bain favorables à la baignade) et présentent la meilleure accessibilité à l'échelle de la réserve (de nombreux parkings, un réseau routier dense).

5.C.3. Une relation forte entre fréquentation et niveau en commodités

Afin d'évaluer le niveau d'interdépendance entre niveaux de fréquentation et les divers paramètres d'attractivité, une régression linéaire multiple a été réalisée entre les trois variables correspondant aux coordonnées des observations projetées sur les axes factoriels 1, 2 et 3 de l'ACP et les données de fréquentation moyenne par site étudié en 2010.

Les résultats font apparaître une relation positive, avec un R^2 de 0,57 et un R^2 ajusté[124] à 0,51 (n = 23, 19 degrés de liberté, p-value de 0,0007). Le modèle linéaire explique donc 51 % de la variance de la fréquentation en 2010. La seule variable significativement non nulle est l'axe 1 auquel les paramètres "récif affleurant" et "plages de sable mixte" contribuent négativement et les "postes de MNS" et "toilettes" contribuent positivement.

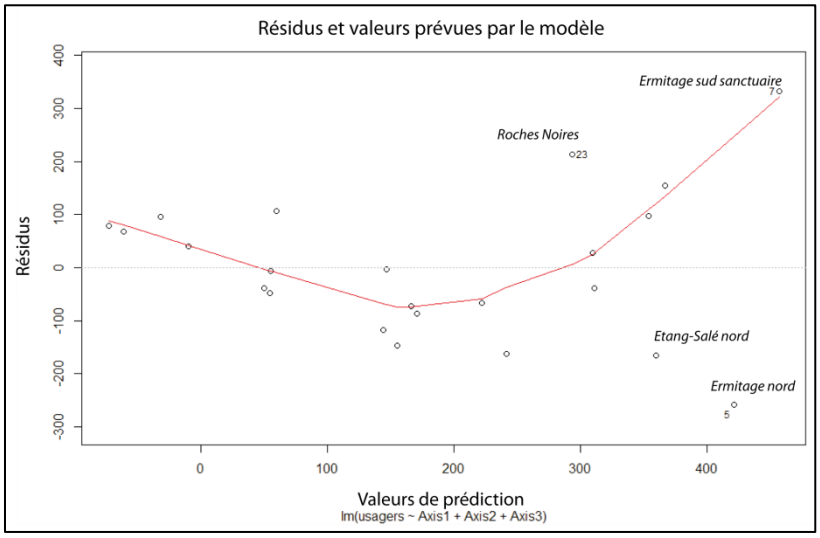


Figure 66 - Résidus de la régression linéaire multiple et valeurs prévues par le modèle.

Pour certains sites, le modèle surestime la réalité (Figure 66). Le site d'Ermitage nord présente tous les atouts d'un site attractif. Ce qui peut expliquer qu'il y ait moins d'usagers qu'attendu est que la partie nord du site est peu accessible du fait d'une forte urbanisation littorale, et que la zone de baignade est de très faible profondeur et de faible largeur. La présence d'herbiers peut aussi décourager certains usagers qui l'associent (à tort) à un milieu impropre, du moins ne correspondant pas aux "standards" de la plage corallienne. La plage de l'Etang-Salé accueille également moins d'usagers que prévu par le modèle, ce qui peut s'expliquer par la nature basaltique du sable (sable noir) qui encore une fois ne correspond pas aux standards de la plage corallienne, et qui est par ailleurs rendu peu praticable dès que la température est haute (risques de brûlure).

D'autres sites enregistrent une plus forte fréquentation que celle prévue par le modèle linéaire. Le site d'Ermitage sud sanctuaire correspond à une zone de faible longueur qui concentre pourtant tous

[124] Le R^2 ajusté consiste à pénaliser le R^2 par l'augmentation du nombre de variables utilisées

les atouts requis : poste de MNS, restaurants, sanitaires, nombreuses places de parkings, plage de sable blanc, zone de baignade sans corail et sécurisée, etc. Ce site enregistre d'ailleurs les plus forts scores de fréquentation au kilomètre linéaire, se positionnant même comme un site en "surfréquentation". Lors de journées "pic" comme celle du 22 avril 2012, on peut compter jusqu'à 1,8 usager au mètre linéaire.

Boucan-Canot est une plage qui dispose de tous les agréments possibles, mais où la baignade peut être risquée (courants) et où les zones ombragées sont peu représentées. Il demeure l'un des sites les plus "en vogue" et apprécié par certaines catégories d'usagers (jeunes adultes notamment) (Mirault, 2006) pour les activités de plage (beach-volley), les sports de glisse (surf et bodysurf) qu'il facilite. En outre cette plage est l'une des seules (avec la plage de l'Etang-Salé) où l'on peut se baigner "en pleine mer", sans être limité par les faibles profondeurs d'eau caractéristiques des zones de bains récifales (dépressions d'arrière-récif).

Enfin, la plage de Roches-Noires n'est autre qu'une "plage urbaine" à proximité de nombreuses commodités, mais qui présente "les inconvénients de ses avantages". Sa proximité immédiate au centre-ville induit un problème de stationnement, sa zone de bain "ouverte sur l'océan" et le potentiel dangereux que cela comporte sont autant de paramètres qui ont amené le modèle à sous-estimer la fréquentation réelle. Dans les faits, cette plage bénéficie comme Boucan-Canot d'un effet de mode, elle est assez fréquentée par les jeunes car un des spots de surf les plus réputés s'y trouve. En outre, cette plage draine une catégorie d'usagers venus profiter des avantages de la ville (shopping) et de la plage. Ces derniers sont de ce fait plus enclins à se garer à des distances plus ou moins grandes.

Le modèle linéaire n'explique donc pas le lien entre fréquentation et les atouts attractifs des différents sites, du fait que quelques sites n'épousent pas le modèle (forts résidus). En outre la liste des variables à prendre en compte pour pouvoir expliquer la répartition n'est pas exhaustive, ce qui aurait pu contribuer à affiner le modèle linéaire.

Conclusion du chapitre 5

La fréquentation en 2010 se compose à 90 % de plageurs et de baigneurs qui tendent à se répartir entre 4 points "névralgiques" que sont la plage de Boucan-Canot au nord (9 % des observations en 2010), l'ensemble des complexes récifaux de l'Ermitage-Saline (61 % des observations), Saint-Leu (5 %) au centre et l'Etang-Salé au sud (9 %). On comptait en 2010 en moyenne 2 fois plus d'usagers l'après-midi que le matin à l'échelle de la réserve, ces derniers affectionnant tout particulièrement les dimanches d'été, en période de vacances scolaires. La variabilité observée entre janvier et juillet est plus importante pour les sites peu fréquentés ou en essor (effets de mode lié à de nouveaux aménagements comme à Saline Trou d'eau), et plutôt faible pour les sites populaires comme l'Ermitage ou l'Etang-Salé

Bien que l'essentiel de l'activité se concentre sur le secteur nord de la réserve, chacun des 15 usages étudiés a son schéma de répartition propre dicté en partie par les contraintes du milieu et par celles liées à leur pratique. Bien qu'un plus grand nombre d'activités se rencontre plus souvent les après-midi pour des questions de température et d'ensoleillement, préférentiellement pendant les week-ends, certains usages à l'instar de la plongée sous-marine se rencontrent tout autant le matin en période hivernale. La vocation commerciale et touristique de cette activité peut expliquer que sa répartition se calque sur les vacances scolaires qui sont plus nombreuses en hiver (avril, Juillet).

Un lien positif entre les atouts à l'échelle du site et la répartition de la fréquentation a été mis en évidence par le biais d'une régression linéaire, mettant ainsi en évidence l'effet attractif exercé par les aménités (plages de sable), les commodités (présence de postes de maîtres-nageurs-sauveteurs) et le niveau d'accessibilité (présence de parkings en nombre) sur les usagers. Ce type de constat est primordial car il contribue à mieux éclairer les politiques d'aménagement de l'espace fronto-littoral et de mitigation des pressions menées par les décideurs politiques en collaboration avec le gestionnaire de la RNMR.

Chapitre 6. Évolution spatio-temporelle de la fréquentation : une mutation du paysage des usages

Entre 2010 et 2012, les suivis se sont poursuivis sur la base du même échantillonnage temporel et spatial dans la perspective d'avoir suffisamment de réplicas pour pouvoir calibrer un suivi pérenne tout en optimisant son échantillonnage. Sur cette période, une série inhabituelle[125] d'attaques de requin sur la côte Ouest dans le périmètre de la réserve marine est venue perturber les dynamiques de répartition en créant un traumatisme, voire une psychose chez les usagers et mettre à mal la légitimité du dispositif réserve. Les implications sur l'économie balnéaire (commerces, clubs de surf, etc.) et le climat politico-social induit ont contribué à taxer cette période de "crise requin". Ces changements qui ont été largement palpables et identifiables ont été relayés par voie de presse mais n'ont pas fait l'objet d'une caractérisation par voie académique. Les données de 2011, 2012 et 2013 présentent donc l'opportunité d'apporter un éclairage sur les effets potentiels de cette crise au regard de l'année 2010 de référence dont les données avaient été acquises dans des conditions sociales et environnementales neutres.

Les facteurs pouvant agir sur la répartition des usagers sont nombreux, qu'ils soient pérennes ou événementiels. Le présent chapitre vise à analyser, cartographier et synthétiser les variations spatiales et temporelles qui ont marqué l'évolution 2010-2012, et de les interpréter à la lumière de la crise requin et des chiffres du tourisme. A ces fins, les données de 2013 acquises dans le cadre du programme selon un autre échantillonnage (cf. 4.A.3.1.2.) sont exploitées. À partir du deuxième semestre 2011, des arrêtés préfectoraux et municipaux ont en effet été promulgués pour interdire, réguler ou limiter toute activité de baignade ou nautique sur les zones à risque suite aux premières attaques (annexe 9). Ces derniers ont pu contribuer, en sus du traumatisme social impliquant des modifications dans les habitudes, à impacter le schéma de répartition initial. Enfin, les variations observées sont comparées aux chiffres du tourisme afin d'évaluer dans quelle mesure la fréquentation peut dans un tel contexte constituer un indice de santé touristique.

[125] Entre 1980 et 2011, E. Lagabrielle *et al.* (2012) ont recensé 1,16 attaques de requin par an. En 2011, 7 attaques se sont produites dont 6 dans le périmètre de la réserve marine, et 3 en 2012 dont 2 dans la RNMR, portant à 5 le nombre moyen d'attaques sur cette période.

6.A. Évolution de la répartition globale

L'évolution 2010-2012 de la répartition de la fréquentation globale, tous usages confondus est ici décrite. Rappelons que dans un souci de bonne comparabilité, les résultats de l'année 2013 obtenus selon un échantillonnage différent ne sont pas mobilisés ici.

6.A.1. Variations temporelles interannuelles 2010-2012

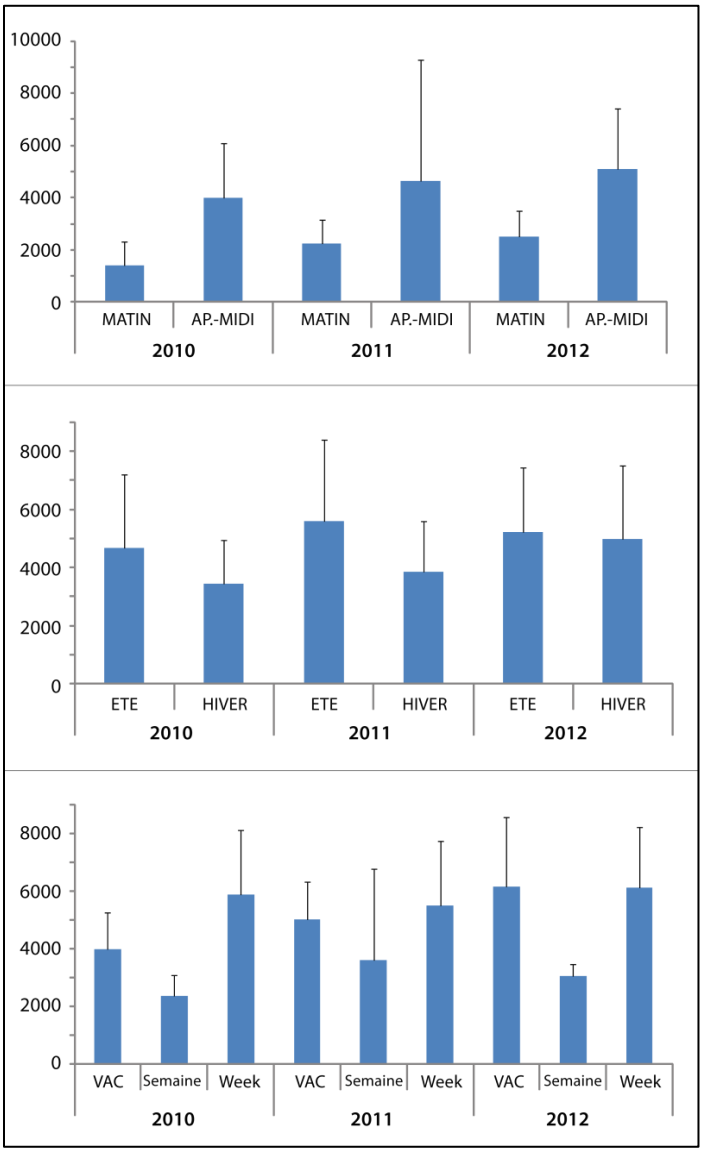


Figure 67 - Évolution interannuelle 2010-2012 de la fréquentation globale

D'une façon générale, le nombre moyen d'observations par vol s'est accru d'une année sur l'autre (+15,7 % entre 2010 et 2011 et +10 % entre 2011 et 2012). Entre 2011 et 2012, la fréquentation se maintient sensiblement (+0,7 %) les après-midi, et connaît une augmentation plus significative pour le créneau matinal[126] en passant de 2 247 à 2 499 observations (+11 %) (Figure 67). Cet accroissement est particulièrement marqué en période hivernale pendant les vacances (+26 % entre 2010 et 2011, et +22 % entre 2011 et 2012) (Tableau 30).

En revanche, pendant les week-ends de période scolaire, la fréquentation moyenne baisse entre 2010 et 2011 (-6,2 %) pour augmenter à nouveau entre 2011 et 2012 (+10 %), faisant ainsi écho à l'affluence touristique qui a stagné entre les premiers semestres 2010 et 2011 pour augmenter de 4,8 % au premier semestre 2012[127]. Cette information est d'autant plus à considérer qu'il s'agit de l'échantillon retenu pour l'analyse cartographique de l'évolution 2010-2012 (cf. 4.A.3.1.1.). Le gain de 11 % du créneau matinal sur la même période peut, quant à lui, s'expliquer par un changement dans les pratiques impactées par la crise requin. En effet, les attaques ayant lieu préférentiellement l'après-midi, les habitudes horaires des usagers s'en voient modifiées.

[126] Les vols matinaux de 2010 n'ont pas été intégrés à l'analyse car réalisés à un créneau horaire différent des autres années (cf. 4.B.1.2.).
[127] www.insee.fr

Tableau 30 - Fréquence d'observation par vol les après-midi, arrondie au nombre entier, par strate et par année.

	Période scolaire			
	Week-end	**Semaine**	**Vacances**	**Année**
2010	5881	2374	3967	4004
2011	5513	3608	5018	4640
2012	6116	3052	6144	5104

Au sein des différentes catégories d'usages, la tendance générale se scinde en trois compartiments (Tableau 31) :

- un premier concerne les usages qui ont vu leur nombre moyen de pratiquants constamment augmenter entre 2010 et 2012 comme c'est le cas pour les activités plagiques, la pêche à pied la plupart des activités nautiques et le jet ski ;
- un second concerne ceux dont le nombre moyen d'usagers baisse constamment sur la même période, un critère auquel les activités de pêche embarquée, kite-surf, plongée sous-marine et de surf répondent ;
- un dernier se caractérise par des variations interannuelles oscillant entre baisse et augmentation de la fréquentation moyenne : le windsurf qui est une activité qui reste fortement dépendante des conditions météorologiques, elles-mêmes variables d'une saison et d'une année sur l'autre, le canoë-kayak, les activités de découverte du milieu marin, la chasse sous-marine.

Pour l'échantillon retenu (cf. 4.B.1.1.1.), le même tableau d'évolution moyenne interannuelle des usages a été produit et se trouve en annexe 12.

Tableau 31 - Fréquence d'observation par usage et par année (nombre d'observations cumulées de l'après-midi rapportées au nombre de vols).

	2010 (n = 26)	2011 (n = 22)	2012 (n = 24)
Baignade	1036,7	1078,0	1099,8
Plage	2690,5	3280,9	3757,5
Plongée	12,1	8,1	7,8
Activités de découverte	0,7	1,0	0,8
Chasse sous-marine	1,3	0,7	1,1
Pêche embarquée	6,2	5,2	4,9
Pêche à pied	35,4	37,6	44,3
Surf	141,2	151,2	92,4
Windsurf	3,4	1,0	1,5
Kitesurf	2,9	2,0	1,5
PMT	53,1	56,3	66,9
Canoé, kayak, voile	18,5	11,2	13,5
Pédalo	0,8	1,2	1,7
Paddle	0,8	4,9	9,1
Jet Ski	0,8	0,9	1,2

6.A.2. Variations spatiales interannuelles 2010-2012

Le cumul des observations de l'échantillon 2010-2012[128] retenu (cf. 4.B.1.1.1.) laisse apparaître une très forte variabilité interannuelle pour les sites de l'Ermitage sanctuaire (μ = 886,5 usagers/kml et σ = 371,7), Ermitage sud sanctuaire (1 510 usg/kml, σ = 659,54) de Boucan-Canot (μ = 743,24 usg/kml et σ = 287,04), et dans une moindre mesure de Saline nord (Figure 68). D'une façon générale, on constate que les sites en proie aux plus fortes variabilités comptent parmi les sites les plus fréquentés par les usagers plageurs. À l'inverse de certaines activités dont la pratique est constante dans le temps et l'espace comme la plongée sous-marine ou le surf (hors crise requin), les usages plagiques augmentent bien davantage en proportion durant les jours de congé (week-end, vacances). La baignade et la "bronzette" sont en effet des pratiques accessibles au plus grand nombre. Les usages plagiques se font ainsi le "marqueur" des variations du calendrier scolaire.

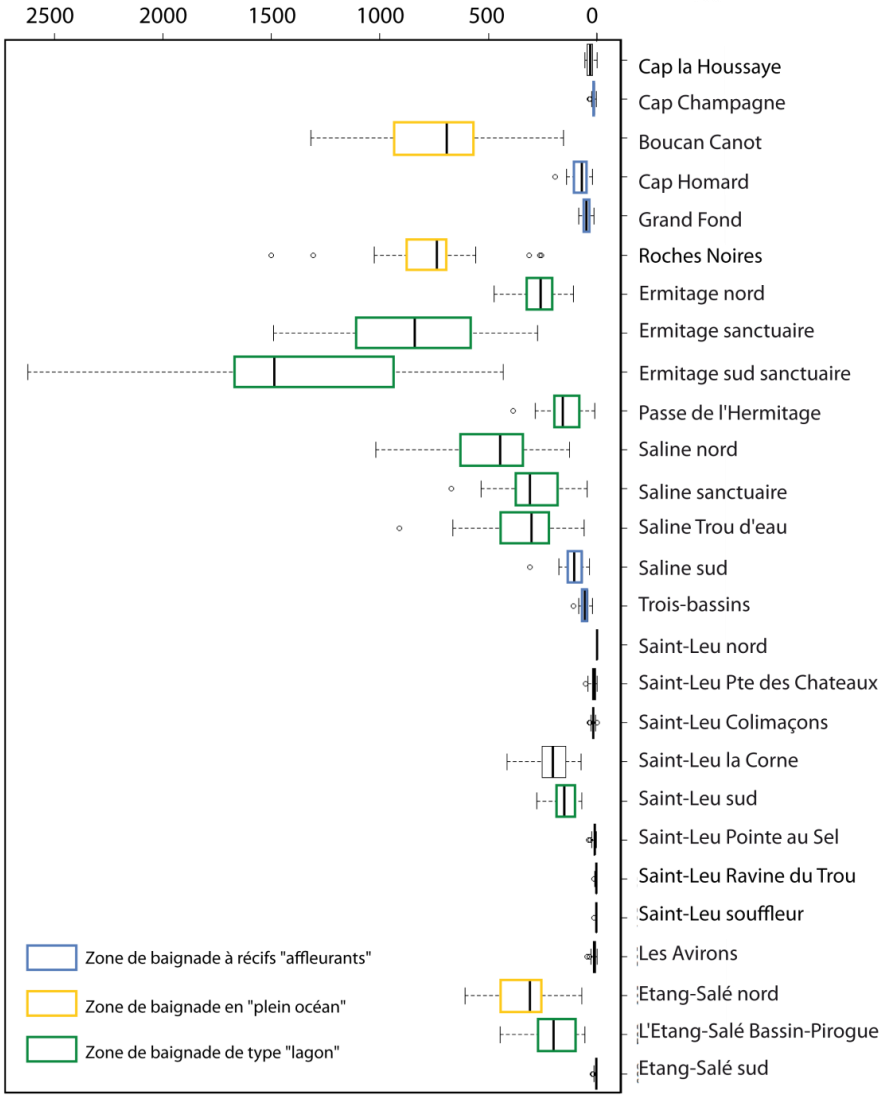
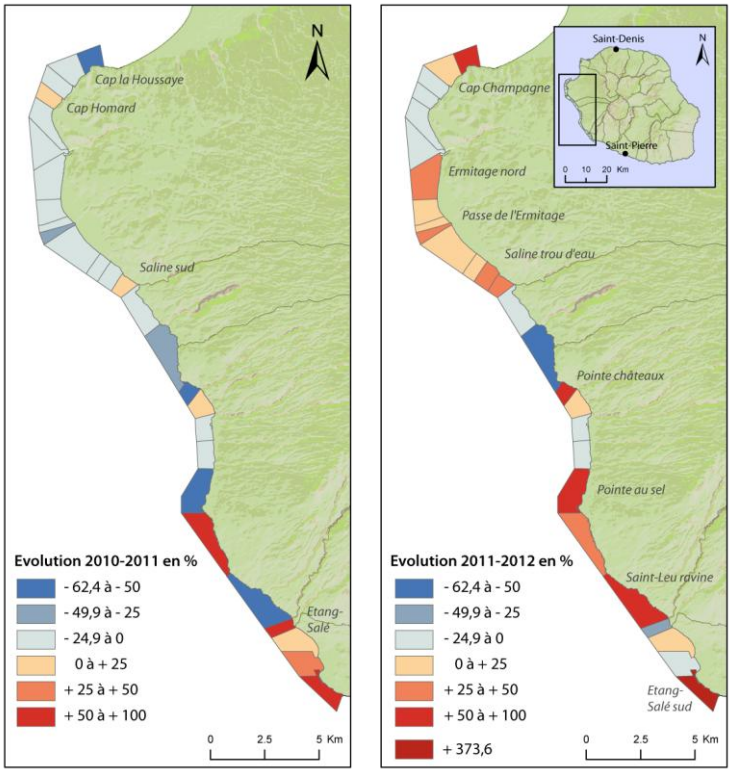


Figure 68 - Distribution 2010-2012 du nombre moyen d'observation par secteur ramené au kilomètre linéaire.

[128] L'échantillon retenu pour l'analyse spatiale interannuelle de la répartition de la fréquentation globale et des usages est présenté dans les détails en annexe 8.

Certains sites en revanche affichent une fréquentation constante dans le temps avec une faible variabilité. C'est le cas de l'Etang-Salé nord dont la fréquentation moyenne 2010-2012 était de 351,40 usagers/kml, pour un écart-type 134,87, de Saline trou d'eau ou Saline Sanctuaire, ou encore Roches-Noires (μ = 806,03 usg/kml et σ= 272,6) (Figure 68). La fréquentation moyenne de ces sites est nettement moins importante, et la plus faible variabilité constatée peut être expliquée par le profil des usagers fréquentant ces sites, relevant davantage d'une catégorie d'usagers "habitués" des lieux que d'une fréquentation occasionnelle. Les sites dont les scores moyens et la variabilité sont faibles correspondent généralement à des sites peu fréquentés du fait de leurs atouts faiblement attractifs (plages de galets, côtes rocheuses) : parties nord et sud de Saint-Leu, Etang-Salé sud, ou Cap la Houssaye.



Secteur	Zone	2010	2011	2012
1	Cap la Houssaye	-0.66	-0.75	-0.67
2	Cap Champagne	-0.78	-0.79	-0.75
3	Boucan Canot	1.55	1.32	0.99
4	Cap Homard	-0.64	-0.61	-0.63
5	Grand-Fond	-0.39	-0.42	-0.51
6	Roches noires	0.05	-0.05	-0.18
7	Ermitage nord	1.21	1.13	1.43
8	Ermitage Sanctuaire	2.04	1.96	2.02
9	Ermitage Sud Sanctuaire	1.40	1.18	1.23
10	Passe de l'Ermitage	-0.70	-0.74	-0.68
11	Saline Nord	2.58	2.59	2.73
12	Saline Sanctuaire	-0.15	-0.13	-0.15
13	Saline Trou d'Eau	0.11	0.17	0.46
14	Saline Sud	-0.52	-0.49	-0.42
15	Trois Bassins	-0.28	-0.27	-0.37
16	Trois Bassins Sud/saint-leu	-0.82	-0.82	-0.79
17	Saint-Leu Pte Châteaux	-0.77	-0.80	-0.74
18	Saint-Leu Colimaçons	-0.74	-0.73	-0.70
19	Saint-Leu Varangue	0.22	0.24	-0.03
21	Saint-Leu sud	-0.08	-0.03	-0.21
22	Saint-Leu Pte au Sel	-0.67	-0.77	-0.69
23	Saint-Leu Souffleur	-0.81	-0.79	-0.75
24	Saint-Leu Ravine du Trou	-0.79	-0.81	-0.77
25	Les Avirons	-0.81	-0.78	-0.77
26	Etang-Salé nord	1.38	1.80	1.66
27	Etang-Salé Bassin Pirogue	-0.11	0.21	0.03
28	Etang-Salé sud	-0.83	-0.82	-0.74

-0.83 0 2,73

Figure 69 - Évolution absolue de la répartition de la fréquentation globale entre 2010 et 2012, exprimée en % d'évolution (à gauche) et évolution relative intersites et interannuelle (à droite), valeurs moyennes centrées et réduites.

Nous avons vu précédemment que d'une façon générale et sur cet échantillon (après-midi de période scolaire), la fréquentation moyenne avait légèrement baissé entre 2010 et 2011, contrairement aux périodes de vacances. Cette baisse qui est partout visible, cible plus particulièrement les secteurs nord : moitié moins d'usagers à Cap la Houssaye, -10 % en moyenne dans le secteur de l'Ermitage et la Saline ou encore -33 % sur le secteur de Trois-Bassins, haut lieu de surf (Figure 69). Les augmentations notables se font à l'Etang-Salé (+37,2 % pour Etang-Salé Bassin Pirogue et +80 % aux Avirons ou Etang-Salé sud). Certains secteurs ont connu une hausse ou une baisse significatives, mais étant très peu fréquentés à l'origine et/ou de très petite taille, il convient de relativiser ces augmentations considérées comme aberrantes[129].

[129] Les secteurs de (du nord au sud), Cap Champagne, Trois-Bassins, Saint-Leu nord, Saint-Leu Pointe Châteaux, Colimaçons, la Pointe au sel, Saint-Leu souffleur, Saint-Leu ravine du trou ou Etang-Salé sud sont des zones dont des secteurs très peu fréquentés (de l'ordre de la

Dans le même temps et de façon relative, on notera que la part d'usagers observés à l'Etang-Salé nord (+0,42 point) ou Etang-Salé Bassin Pirogue (+0,10 point) a augmenté au détriment des secteurs de Boucan-Canot (-0,23 points) ou des secteurs de l'Ermitage (Figure 69). En 2011, 3 attaques de requin ont eu lieu sur la période échantillonnée : la première le 19 février à Grand-Fond (au sud de Cap Homard), la seconde le 15 juin à Boucan-Canot et la dernière le 6 juillet à Roches-Noires. Si ces trois événements peuvent avoir eu un effet sur la répartition, ce mouvement a été tardif. Ce point sera discuté plus loin.

Entre 2011 et 2012 la tendance générale est à la hausse, une tendance particulièrement visible dans les secteurs de l'Ermitage et la Saline, soit les plans d'eau récifaux. Le secteur d'Ermitage nord a ainsi vu sa fréquentation moyenne augmenter de 31,7 % entre 2011 et 2012, ou autres faits notables : l'importante augmentation des secteurs de la Saline Trou d'eau (+45,4 %) et de Saline sud (+25,7 %). Le secteur du Cap La Houssaye épouse la tendance inverse de l'année précédente (+74,5 %), une augmentation corrélée à l'augmentation brute du nombre de pêcheurs à pied (de récif et à la côte) au sein de la réserve (Figure 69). Les secteurs soumis à une baisse sont plus équitablement répartis à l'échelle de la réserve. Les secteurs nord de Boucan-Canot à Roches-Noires voient leur fréquentation baisser, de même que les secteurs de Saint-Leu varangue et Saint-Leu sud dont la baisse entamée en 2011 s'accroît davantage (-17,3 et -15,4 %).

La part relative des usagers augmente dans le même temps pour les secteurs de Saline Trou d'eau (+0,29 point), Ermitage nord (+0,20 pts), ou encore Saline nord (+0,14 pts). Dans la continuité de 2011, cette part baisse pour les secteurs de Boucan-Canot (-0,33 pts) et Roches-Noires (-0,13 pts) (Figure 69). Plus au sud, la baisse notable se localise sur le secteur de Saint-Leu Varangue (-0,21 pts) ou Etang-Salé Bassin Pirogue et Etang-Salé nord (-0,18 et -0,14 pts). En 2012, sur la période échantillonnée, une seule attaque a eu lieu le 23 juillet 2012, donc en fin de campagne. Les baisses notables dans les secteurs originellement bien fréquentés (Boucan-Canot et Roches-Noires et secteurs nord), sont imputables aux arrêtés de baignade qui ont couru sur de longues périodes, prohibant toutes activités plagique et nautique sur ces zones (annexe 9). Dans un contexte d'augmentation générale moyenne entre 2011 et 2012, on peut imputer la hausse de la fréquentation absolue et relative sur ces secteurs de la Saline et l'Ermitage à un report d'usagers des secteurs nord vers les plans d'eau récifaux.

dizaine d'usagers en moyenne) et dont les valeurs sont à interpréter avec précaution. Les secteurs de la Passe de l'Ermitage ou des Avirons sont à la fois très peu fréquentés et de très petite taille, ce qui implique les mêmes limites que précédemment, de façon plus exacerbée.

6.B. Évolution de la répartition des usages-indicateurs

Cette partie vise à décrire l'évolution spatio-temporelle pour une série d'usages que nous avons qualifiés "d'indicateurs" au regard de divers critères relevant des enjeux de gestion, de leur exposition (risque requin) ou de leur relation au tourisme.

6.B.1. Sélection "d'usages-indicateurs" de changements

Dans le cadre de son plan de gestion (GIPRNMR, 2012), le GIPRNMR a ciblé certaines activités à suivre en priorité au regard des enjeux qu'ils mobilisent :

- Les activités de pêche (pêche embarquée, pêche à pied traditionnelle, et chasse sous-marine) car elles sont intimement liées aux problématiques de gestion durable des ressources. Par ailleurs, certaines pratiques sont ancrées dans la tradition réunionnaise, et les gestionnaires sont responsables de leur maintien (pêche à pied traditionnelle).
- Les usages plagiques ("plageurs" et baigneurs) qui intéressent les gestionnaires car cette part des usagers constitue une part non négligeable des pressions exercées sur le récif. Rappelons qu'en 2010, cette part des usagers qui comptait pour 90 % de la fréquentation globale et peut atteindre les 760 usagers par hectare sur des zones comme Ermitage sud sanctuaire (ou 2,17 usagers au mètre linéaire), peut représenter une pression non négligeable (cf. 5.A.1). Ces pressions localisées induisent des impacts déjà documentés en milieu frangeants, qu'ils relèvent des impacts mécaniques (Kay and Liddle, 1989 ; Leujak and Ormond, 2008 ; Epstein *et al.*, 2005) ou du dérangement de la faune (Chabanet *et al.*, 2005) lors des activités de baignade ;
- Les activités nautiques qui sont essentiellement pratiquées sur les plans d'eau récifaux. L'année 2011 a vu l'apparition d'une nouvelle activité, le paddle ou "stand-up paddle" et l'augmentation des pratiques, faisant ainsi probablement écho à la crise requin (reports des activités de surf). En outre, par l'utilisation de pagaies, de palmes et de canoë-kayaks, l'ensemble des activités nautiques peuvent induire un contact avec le substrat et causer des impacts (Allison, 1996 ; Hannak *et al.*, 2011), ce qui justifie que le gestionnaire lui porte une attention particulière ;
- La plongée sous-marine, pour les problématiques de gestion des spots de plongées, des dispositifs d'amarrage et du risque de surfréquentation. Les impacts de la plongée sur le substrat corallien sont bien connus (Hawkins et Roberts, 1993 ; Hawkins et Roberts, 1994 ; Sala *et al.*, 1996 ; Rouphael et Inglis, 1997 ; Rouphael et Inglis 2002 ; Barker et Robert, 2004), et les stratégies de réduction de la fréquentation et des impacts par les plongeurs fait d'ailleurs l'objet d'élaboration de protocoles par les gestionnaires, en collaboration avec les chercheurs (Van Treeck et Schuhmacher, 1999). En outre, elle constitue un indicateur de santé touristique. E. Mirault (2006) dans sa thèse citait le président du CRESSM de l'époque qui faisait état de l'augmentation du nombre de clubs de plongée, alors même que le nombre de licenciés stagnait, une tendance qui pourrait indiquer que La Réunion deviendrait une "destination plongée" ;
- Le surf s'est avéré être une activité directement concernée par la crise requin qui sévit depuis 2011. Cette activité est la plus impliquée dans les attaques, du fait qu'elle se pratique en zone de pente externe. Une cinquantaine d'attaques a eu lieu depuis 1980 sur des surfeurs, dont un tiers s'est soldé par une issue fatale (Lagabrielle *et al.*, 2012). En outre,

c'est l'une des activités les plus impliquées dans l'économie balnéaire réunionnaise (clubs de surf) et dans le rayonnement sportif et culturel de l'île à l'échelle nationale et à l'étranger.

Nous concentrerons notre analyse de l'évolution 2010-2012 sur ces activités-cibles, puisque de par les divers arguments précités, elles constituent un témoin intéressant du changement interannuel du paysage des activités et parce que d'autre part (et à cet égard), elles relèvent des priorités du gestionnaire dans le cadre du plan de gestion.

6.B.2. Évolution de la répartition spatiale et temporelle 2010-2012 des usages-indicateurs

Dans cette partie sont présentées les caractéristiques de l'évolution temporelle et spatiale des cinq catégories d'activités sus-nommées. Pour chaque catégorie, la distribution interannuelle pour les trois strates "week-end de période scolaire", "semaine de période scolaire" et "vacances scolaire" est présentée à l'aide de boîtes à moustaches (statistiques descriptives). Afin de permettre la comparaison, seules les données de l'après-midi sont utilisées pour les raisons invoquées en méthodologie (cf. 4.B.1.1.1.). Une cartographie de l'évolution est ensuite produite, laquelle exprime lorsque c'est possible, l'évolution en pourcentage[130], ou au cas échéant, la différence interannuelle du nombre moyen d'observations en points. Les données mobilisées pour la cartographie sont toutes issues du même échantillonnage justifié en partie méthodologie (cf. 5.B.2), et ont au préalable été standardisées d'après le protocole décrit en partie 4.B.1.1.1.2. (kilomètre linéaire, densité par hectare, ou nombre d'observations par corps-mort selon les usages concernés).

Pour chaque usage étudié, nous présentons sous forme de fiches (6.B.2.1. à 6.B.2.5) le diagnostic d'évolution spatio-temporelle.

[130] Pour certains usages, la donnée est disponible dans chaque secteur d'une année sur l'autre, permettant ainsi la représentation en pourcentage d'évolution, cartographiquement plus explicite. Pour d'autres usages, l'absence de données dans certains secteurs certaines années ne permettait pas ce traitement.

6.B.2.1. Les usages "plagiques"

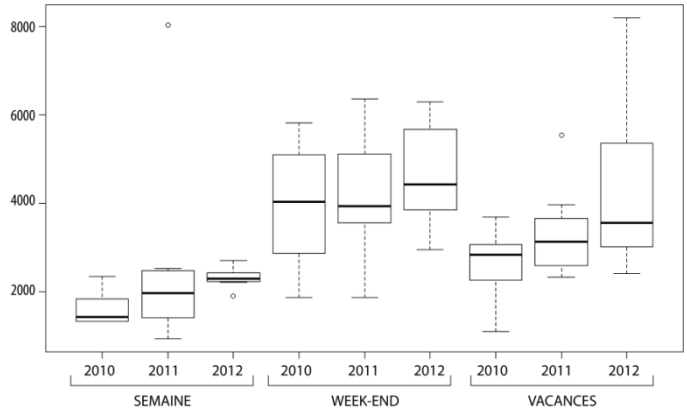


Figure 70 - Distribution des observations de plageurs entre 2010 et 2012 (après-midi)

Les usages plagiques se rencontrent davantage pendant les week-ends, puis pendant les vacances scolaires en second lieu. Le schéma de répartition inter-strates persiste d'une année sur l'autre, mais est marqué par une augmentation constante du nombre moyen de plageurs. Les vacances scolaires de l'année 2012 sont marquées par une très forte variabilité, explicable par les effets de la crise requin[131] (Figure 70). Spatialement, au sein de la strate du week-end, la baisse de fréquentation en 2011 touche plus particulièrement les secteurs nord à l'instar des zones de l'Ermitage sanctuaire et sud sanctuaire (-35,6 % et -26,1 %) ou encore de la Saline sanctuaire (-52 %). Les gains se font au sud sur les secteurs de l'Etang-Salé (hausse de 57,7 %) ou encore à Saint-Leu souffleur[132]. En 2012, une hausse générale profite aux secteurs récifaux : 192,9 % de fréquentation en plus à Cap Champagne, et une hausse notable dans les secteurs de Saline sanctuaire (+115,6 %) ou Saline trou d'eau (+102,4 %) (Figure 71).

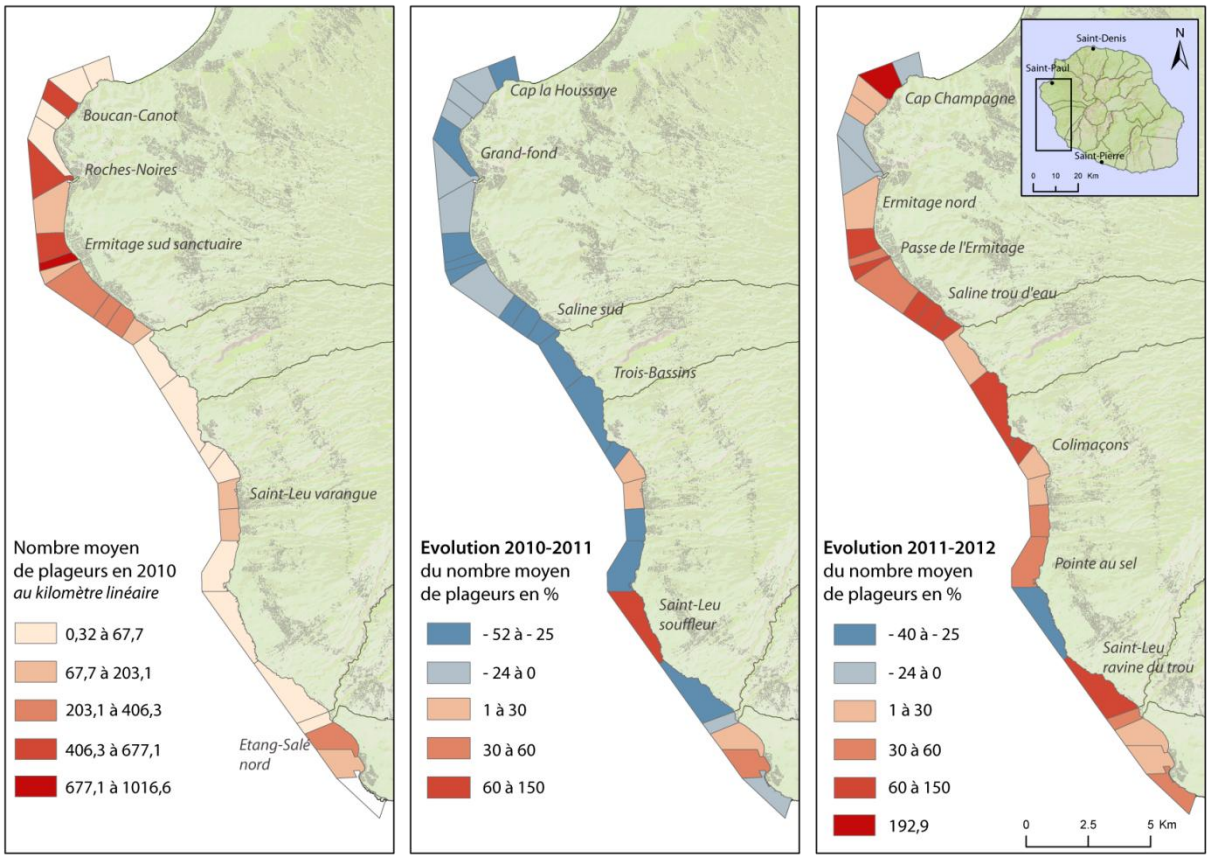


Figure 71 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de plageurs, pendant les week-ends scolaires (après-midi) exprimée en %.

[131] Explicable par les arrêtés préfectoraux/municipaux de baignade qui ont vu le jour suite aux attaques de requins.

[132] Fait partie des secteurs où la fréquentation moyenne est très faible et dont les scores d'évolution son sensibles à la moindre variation. Ici la hausse de + 150 % résulte d'un passage de 1,7 à 4,3 observations entre 2010 et 2011.

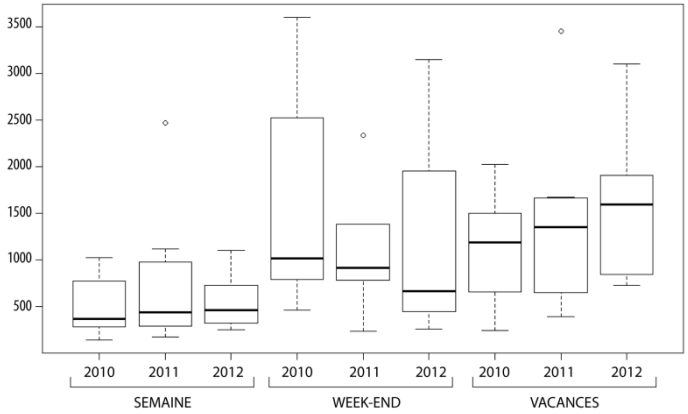


Figure 72 - Distribution des observations de baigneurs entre 2010 et 2012 (après-midi)

Les schémas d'évolution interannuelle pour l'activité de baignade sont semblables à l'échelle des strates "semaine" et "vacances". En revanche, la strate du week-end est soumise à une baisse d'une année sur l'autre et est régie par une très forte variabilité intra-annuelle pour 2010 et 2012 (Figure 72). C'est en période de vacances scolaire que l'activité la plus importante a été enregistrée pour les 3 années.

Entre 2010 et 2011, au sein de la strate du week-end, le seul secteur de Saline sud est soumis à une hausse minime de 5,3 %. Tout le reste du linéaire côtier accuse une baisse de la fréquentation par les baigneurs, les plus notables concernant les secteurs de Cap la Houssaye (-77 %) ou Boucan-Canot (-45 %). Les baisses importantes des secteurs des Colimaçons et de Pointe au sel sont imputables à une fréquentation faible et fort variable. L'année 2012 marque un retour de l'activité de baignade, notamment dans les secteurs récifaux de l'Ermitage et la Saline, les évolutions les plus notables se faisant à la Saline trou d'eau (+66,7 %) et à Ermitage nord (+54,2 %) (Figure 73).

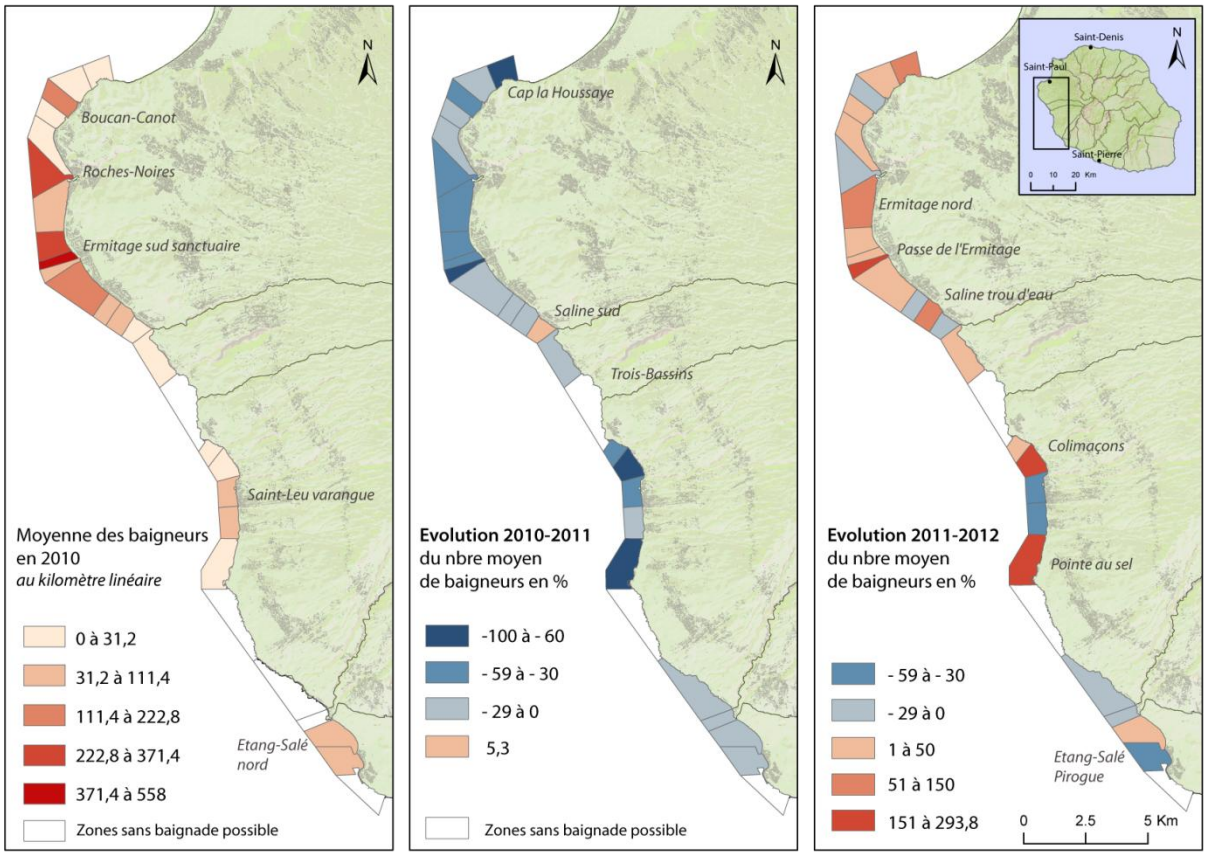


Figure 73 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de baigneurs au kilomètre linéaire (en % d'évolution)

6.B.2.2. Les activités nautiques

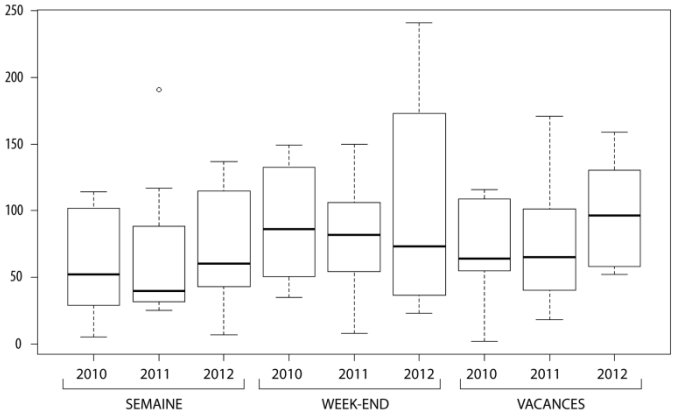


Figure 74 - Distribution des observations de d'engins d'activités nautiques entre 2010 et 2012 (après-midi)

La pratique des activités nautiques[133] est la plus constante dans le temps. Bien que le nombre d'engins/de pratiquants observés reste plus important en période de week-end il tend à baisser entre 2010 et 2012. L'année 2012 est marquée par un regain d'activité en semaine et pendant les vacances scolaires qui devient la strate la plus fréquentée (Figure 74).

Entre 2010 et 2011, au sein de la strate du week-end, une baisse de la fréquentation se généralise dans les secteurs nord sur la base d'une fréquentation originellement très faible (de 0,63 à 3,75 usagers par zone en moyenne). Très fréquentés en 2010, les secteurs de Saline nord et Ermitage nord sont marqués par des tendances antagonistes d'augmentation pour le premier (+38 %) et de baisse pour le second (-22 %) (Figure 75). En 2012, les activités nautiques se concentrent encore davantage sur les complexes de l'Ermitage et la Saline ce qui est particulièrement marqué pour les secteurs d'Ermitage sanctuaire (+35 %) et Saline trou d'eau (une augmentation cumulée de 142 % entre 2010 et 2012).

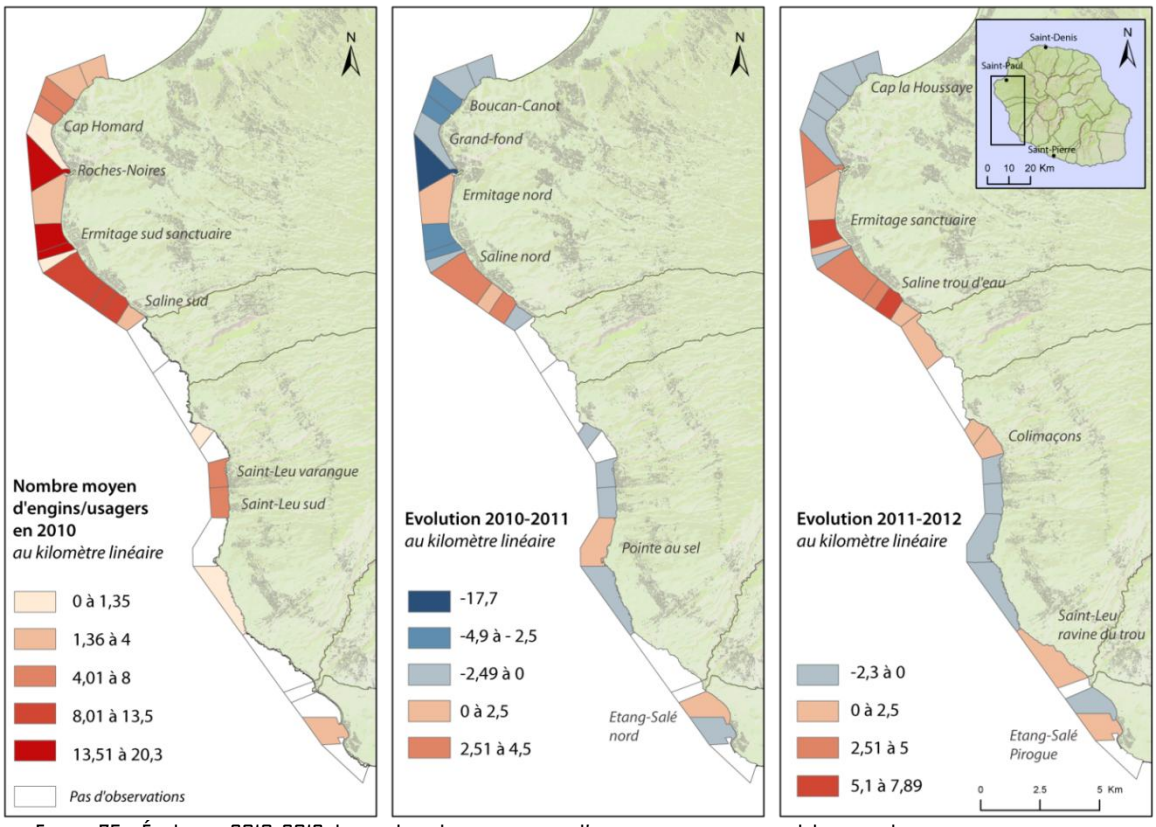


Figure 75 - Évolution 2010-2012 du nombre de pratiquants d'activités nautiques au kilomètre linéaire

[133] Rappelons qu'elle englobe les usages suivants: palmes-masque-tuba (PMT), canoë-kayak et autres optimists et dériveurs, le pédalo et le paddle (cf. 3.B.3.3.2.) et que l'unité de recensement est l'usager dans le cas du PMT et du paddle, et l'engin pour les autres usages.

6.B.2.3. La plongée sous-marine

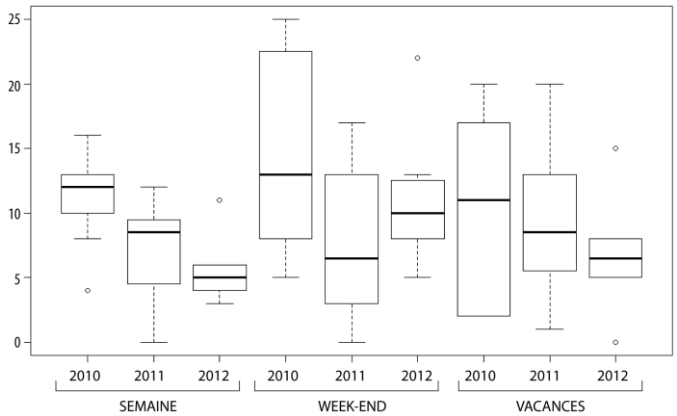


Figure 76 - Distribution des observations de bateaux de plongée entre 2010 et 2012 (après-midi)

L'activité de plongée sous-marine a été plus importante en 2010, année durant laquelle elle a également fait l'objet d'une forte variabilité. Soumise à une baisse constante d'une année sur l'autre, sa pratique est plus importante à l'échelle des week-ends. Cette baisse marquée fait probablement écho à la crise requin et toucherait plus particulièrement la communauté de plongeurs locaux comme en témoigne la baisse très marquée du week-end en 2011 (Figure 76).

Spatialement, au sein de la strate du week-end, l'activité de partage entre le nord et le sud de la réserve. Elle est plus importante dans les secteurs de Cap la Houssaye (1,6 bateau/ corps-mort), Cap Champagne (0,4) et Ermitage nord (0,4). Le secteur de Saint-Leu sud est également très fréquenté (0,4). En 2011, la baisse touche les secteurs les plus fréquentés au nord, mais l'activité reprend en 2012 dans ces mêmes secteurs (de +6 à +50 % en moyenne sur la base de faibles scores). A noter que Saint-Leu sud, l'un des spots les plus fréquentés de la réserve est soumis à une baisse constante depuis 2010 (-60 % entre 2010 et 2012), ce qui constitue, au regard des faibles hausses par ailleurs un marqueur de crise pour ce secteur (Figure 77).

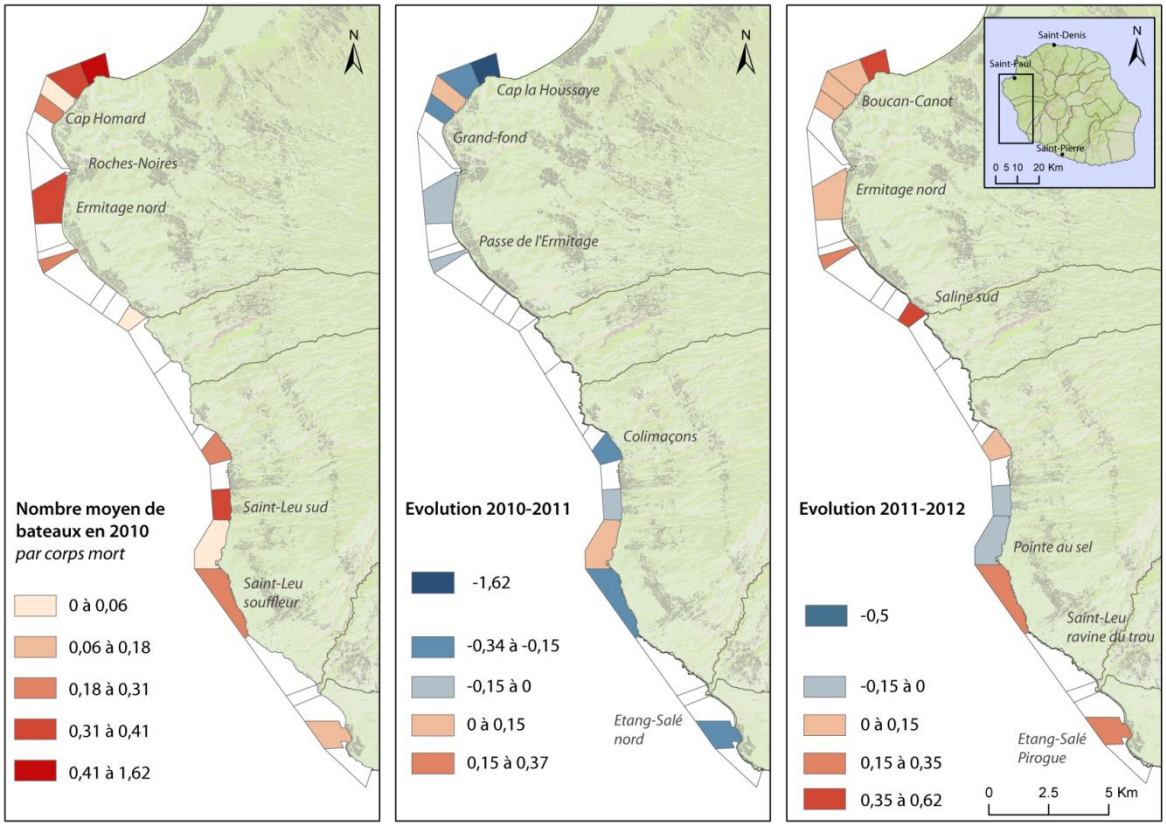


Figure 77 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de bateaux de plongée par corps-morts.

6.B.2.4. Le surf

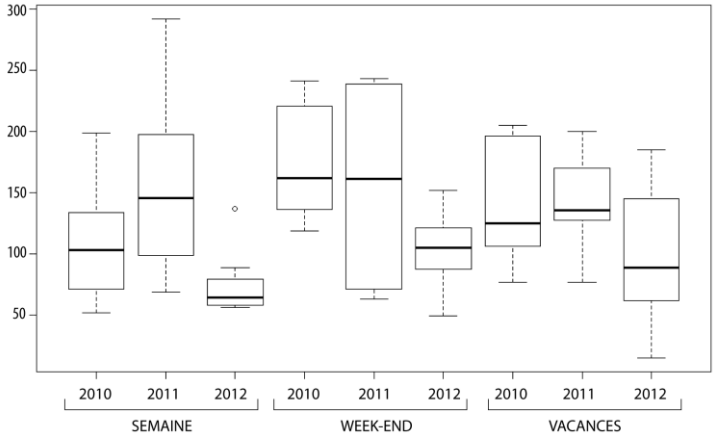


Figure 78 - Distribution des observations de d'engins d'activités nautiques entre 2010 et 2012 (après-midi)

Le surf est une activité relativement constante et dont la plus forte fréquentation se fait pendant les week-ends. Entre 2010 et 2011 on observe une augmentation de la fréquentation moyenne en semaine et un maintien sur les autres strates. L'année 2012 se caractérise par une baisse de la fréquentation par les surfeurs au sein des trois strates et la plus forte variabilité concerne l'année 2011, ce qui peut constituer des marqueurs de crise (Figure 78).

Spatialement pour la strate du week-end, une décroissance de l'activité est partout notable entre 2010 et 2012. En 2011, l'activité générale se maintien mais se replie dans le "bastion" de l'Etang-Salé nord (+66 %) et quelques sites où l'activité est résiduelle (Ermitage passe), faisant probablement écho aux 2 attaques de requins survenues au nord au premier semestre 2011. En 2012, une activité résiduelle reprend sur les sites d'Ermitage (spot des Brisants) et de Roches-Noires (1,5 observation en moyenne) ou quelques bodyboarders ont été observés au sein du périmètre autorisé de baignade quand la houle est présente. Ailleurs, la baisse s'accentue, à l'instar du fameux spot de Trois-Bassins (-44 %) et également à l'Etang-Salé nord (-25 %) mais s'accroît légèrement sur le spot des brisants au sud de l'Etang-Salé nord (+13 %) (Figure 79).

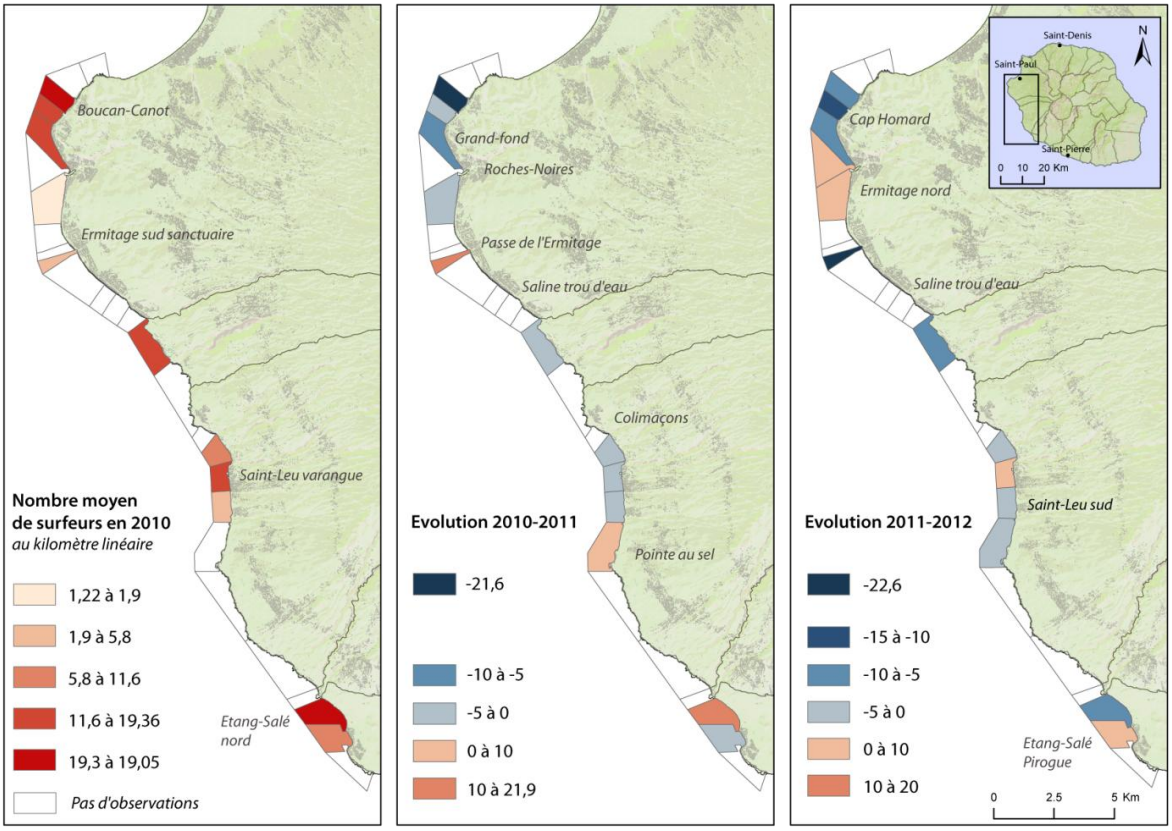


Figure 79 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de surfeurs au kilomètre linéaire

6.B.2.5. La pêche à pied traditionnelle

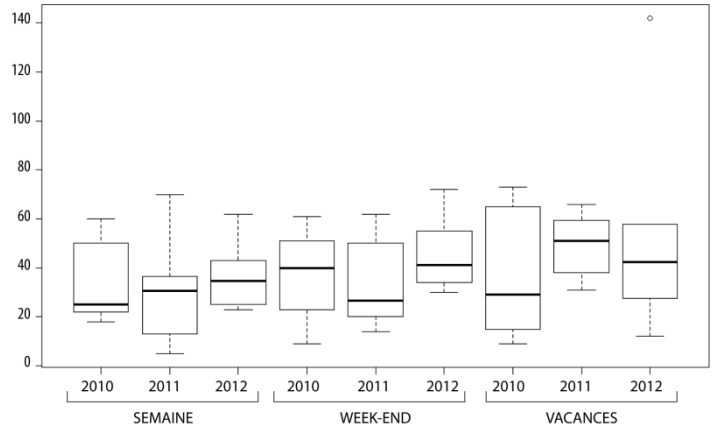


Figure 80 - Distribution des observations entre 2010 et 2012, pour le créneau de l'après-midi, pêche à pied.

Le schéma de répartition temporel interstrates est inconstant d'une année sur l'autre pour l'activité de pêche à pied. En 2010 la période privilégiée par les pêcheurs était les week-ends, et en 2011 les vacances scolaires. Les deux périodes étaient également fréquentées en 2012. D'une façon générale, et à contre-courant des activités précédentes, la fréquentation moyenne augmente (Figure 80).

Spatialement, pour la strate du week-end, ces dynamiques se traduisent pour la pêche à pied à la côte par une baisse de l'activité sur l'ensemble de la réserve entre 2010 et 2011, laquelle est plus notable à Saint-Leu où l'essentiel de l'activité se concentre sur les digues du port (-18 %). Sur quelques sites une augmentation est notable à l'instar des Avirons (+23 %), ou de Saint-Leu Souffleur (+12,7 %). En 2012, on observe un début d'activité sur les zones de la Saline, un regain à Cap la Houssaye (+80 %) où l'activité demeure la plus importante, mais également à Etang-Salé sud (+27 %) et tout le linéaire côtier de Saint-leu, à l'exception du site portuaire où une baisse est constatée (-77 %) (Figure 81).

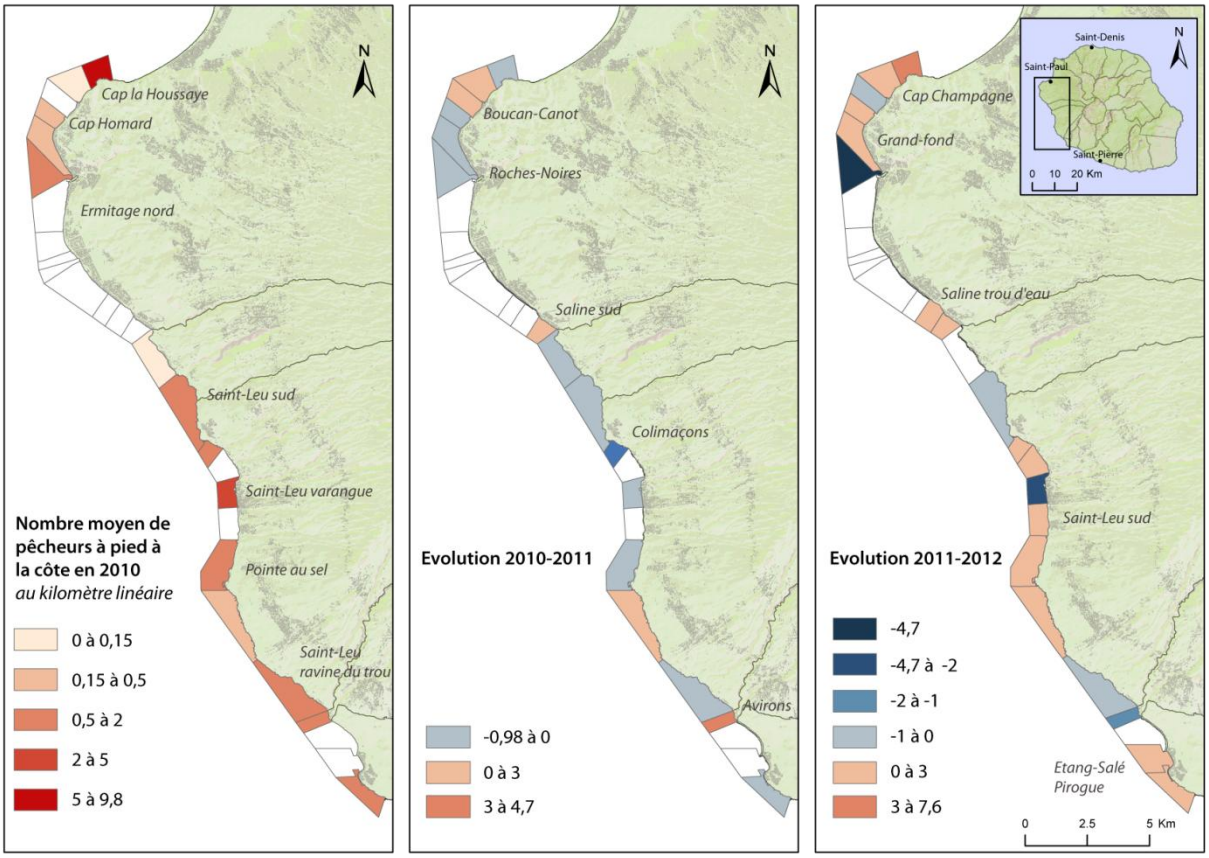


Figure 81 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de pêcheurs à pied à la côte au kilomètre linéaire.

En ce qui concerne la pêche à pied pratiquée sur le récif, on observe une baisse généralisée au sud, une augmentation de l'activité sur la passe de l'Ermitage (+1,9 observation en moyenne), ainsi que l'apparition de nouveaux "spots" à l'instar de Grand-Fond (1,3 pêcheur en moyenne en 2011) ou de la Saline trou d'eau (0,3 pêcheur en 2011) (Figure 82). En 2012, l'activité sur les sites de Saint-Leu et de l'Etang-Salé augmente (+0,3 observation en moyenne), mais cet accroissement est encore plus marqué sur le site de Saline sud (+700 % en passant d'une fréquentation moyenne de 0,3 à 2,4 pêcheurs entre 2011 et 2012). Alors que l'activité baisse également à Grand-Fond (-0,5 observations en moyenne), une activité naît à Cap Champagne avec 0,1 observation en 2012 (Figure 82).

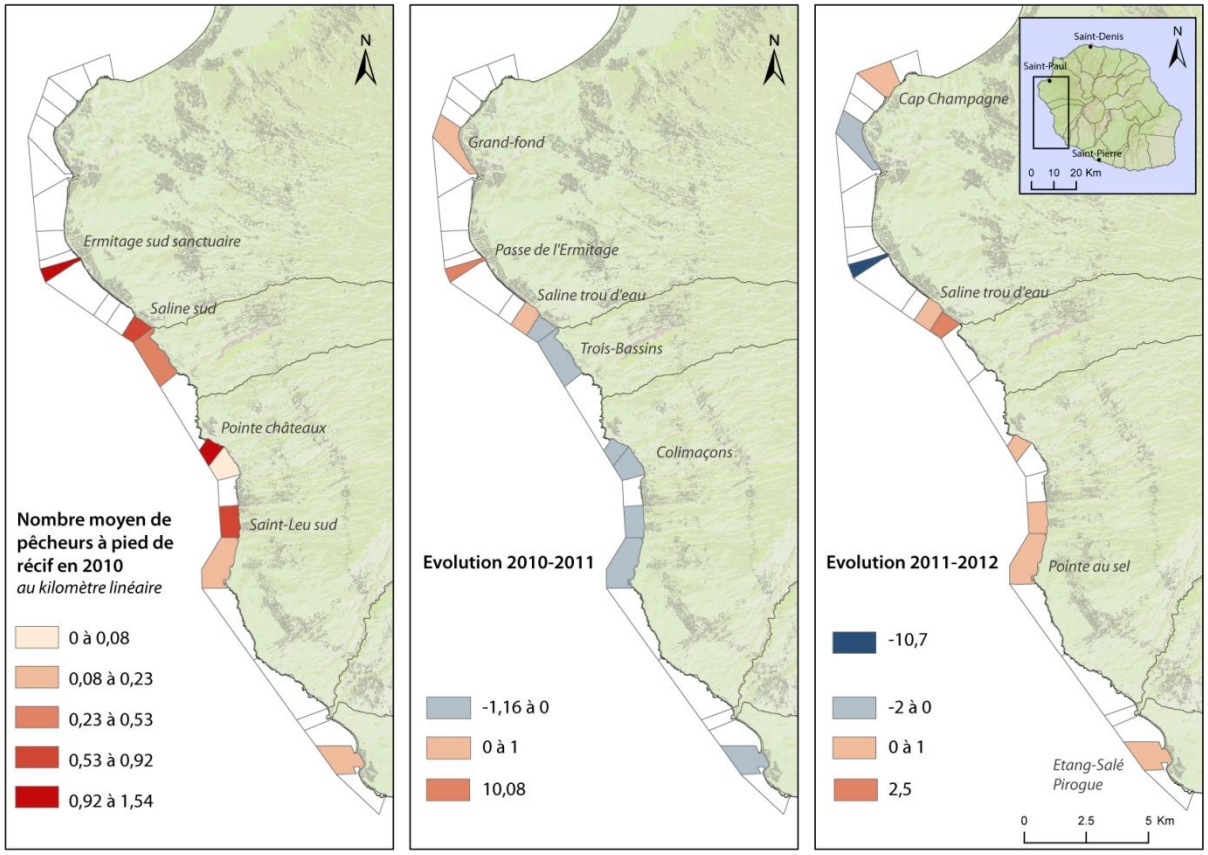


Figure 82 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de pêcheurs à pied de récif, au kilomètre linéaire

6.C. Synthèse 2010-2012 : une mutation du paysage des usages

Cette partie vise à dresser pour chaque année une typologie des usages à l'échelle de la réserve.

6.C.1. Année 2010 : une fréquentation à trois profils, entre surf, usages plagiques et usages à vocation professionnelle

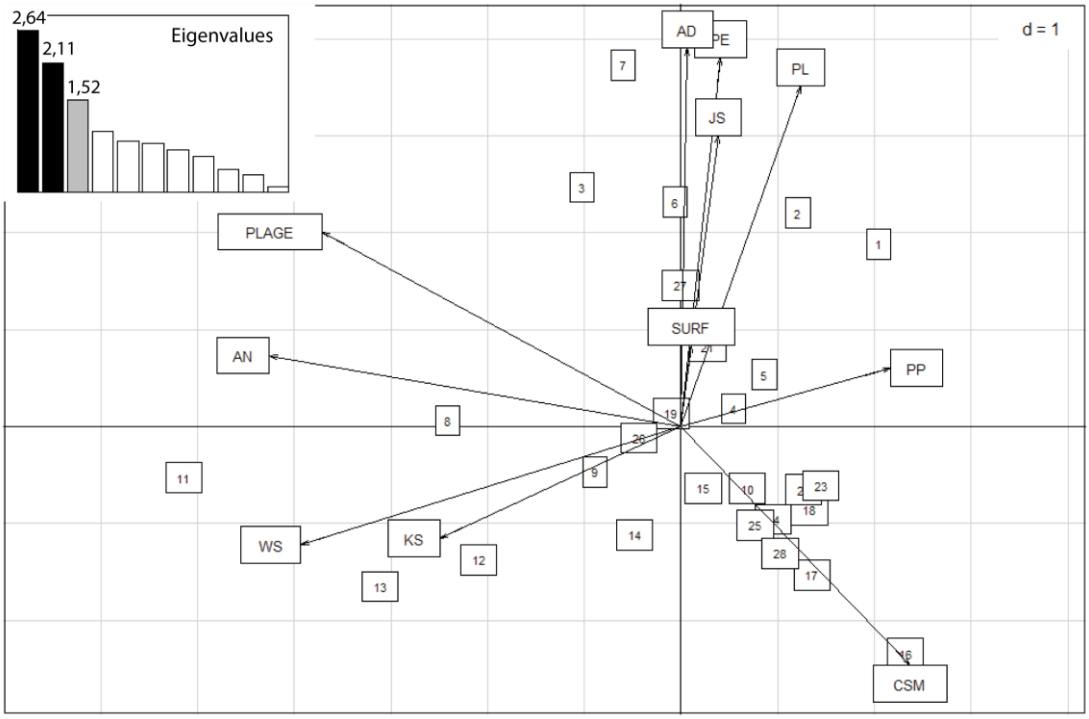


Figure 83 - Projections sur les axes 1 (26,4%) et 2 (21,1%) des observations (sites) et des variables (activités) pour l'année 2010 (PE: Pêche embarquée; PP: Pêche à pied; AD: Activités de découverte; JS: Jet ski; B: Baignade; AN: Activités nautiques; WS: Windsurf; KS: Kitesurf; CSM: Chasse sous-marine; PL: Plongée).

Tableau 32 - Contribution absolue (abs.) et relative (rel.) des variables aux 3 axes de l'ACP pour 2010 exprimé en % de l'inertie de l'axe.

	Comp 1 abs.	*Comp 1 rel.*	**Comp 2 abs.**	*Comp 2 rel.*	**Comp 3 abs.**	*Comp 3 rel.*
Pêche embarquée	**0,2**	*0,6*	**22,1**	*46,8*	**1,37**	*2,09*
Chasse ss.-marine	**8,5**	*22,6*	**9,2**	*-19,5*	**0,01**	*0,01*
Pêche à pied	**7,1**	*18,8*	**0,5**	*1,1*	**6,05**	*9,2*
Plongée	**2,3**	*6,2*	**18,7**	*39,8*	**10,4**	*15,8*
Activités de découverte	**0,01**	*0,02*	**23,2**	*49,1*	**8,53**	*-13*
Plage	**20,9**	*-55,3*	**6,1**	*13,02*	**8,53**	*-13*
Surf	**0,02**	*0,05*	**1,08**	*2,2*	**41,46**	*-63,1*
Windsurf	**23,5**	*-62,1*	**2,2**	*-4,8*	**6,38**	*9,7*
Kitesurf	**9,4**	*-25,07*	**2,03**	*-4,1*	**4,12**	*6,3*
Activités nautiques	**27,5**	*-72,9*	**0,8**	*1,7*	**2,15**	*3,2*
Jet ski	**0,2**	*0,6*	**13,7**	*29,1*	**10,99**	*16,7*

Pour 2010, 62,8 % de la variance est expliquée par 3 axes de projection (Figure 83). Le premier axe participe à 26,4 % de l'inertie totale, et est lui-même déterminé par les activités de loisirs que sont les catégories d'activités nautiques (canoë-kayak, pédalo, PMT et paddle à hauteur de 27,5 %), le windsurf (23,5 %) et les activités plagiques (plage et baignade). Les plus fortes contributions à l'inertie de l'axe 2 qui explique 21,1 % de la variance totale, sont le fait des bateaux de découverte du milieu marin, de la pêche embarquée, de la plongée et dans une moindre mesure, le jet ski, soit essentiellement des activités recourant à des engins motorisés. Le 3ème axe qui explique quant à lui 15,2 % de la variance est fortement déterminé par l'activité de surf (Tableau 32).

Grâce à une classification ascendante hiérarchique des sites en utilisant les coordonnées des 3 premiers axe de l'ACP, 4 classes ont été identifiées, cartographiées et interprétées (Figure 84).

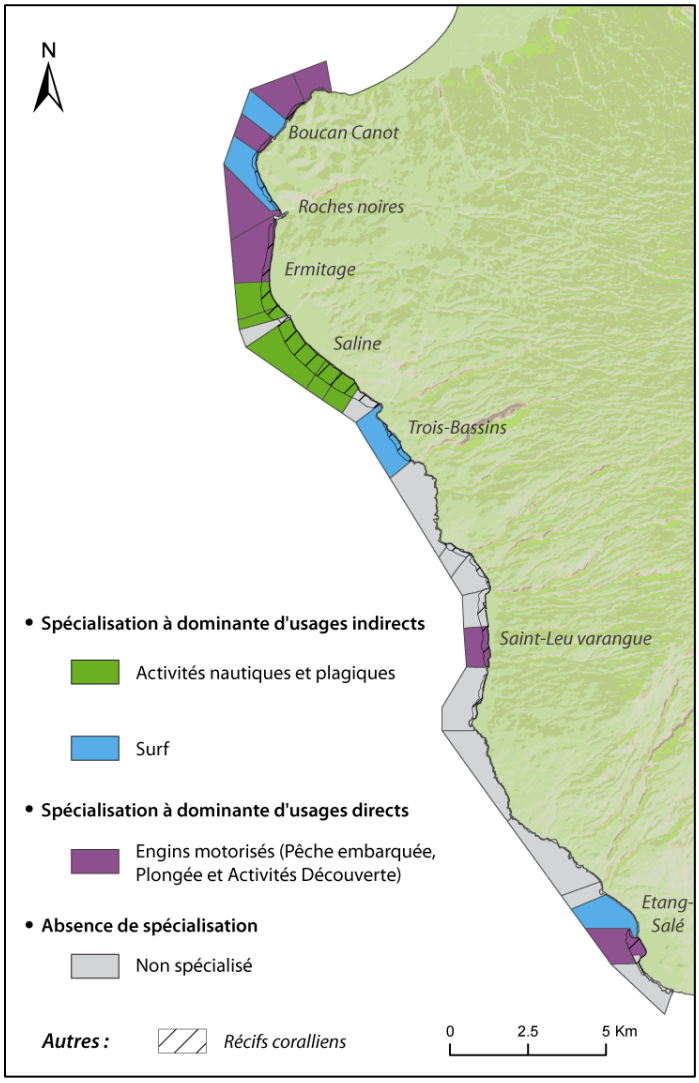


Figure 84 - Typologie 2010 de la spécialisation des secteurs à partir des 4 groupes du dendrogramme (annexe 10).

En 2010, année de référence en matière de répartition, nous avons identifié 4 types de spécialisation que nous avons agrégé au sein de 3 groupes : i) les types à dominante de loisirs, non motorisé, ii) les types à dominante d'usages extractifs et motorisés, iii) les types non spécialisés, à savoir qu'aucun usage n'est prédominant.

Un premier type de secteur est associé aux activités nautiques et plagiques. Les sites de la Saline (de Saline nord à Saline trou d'eau) et les deux sites d'Ermitage sanctuaire et sud sanctuaire sont caractérisés par une surreprésentation des activités nautiques et plagiques. Ces sites sont par ailleurs les plus fréquentés (cf. 5.B.).

On dénombre 4 secteurs caractérisés par une surreprésentation des activités de surf : Boucan-Canot, Grand-Fond, Trois-Bassins, et Etang-Salé, lesquels secteurs intègrent les spots de surf les plus populaires de la côte Ouest.

Un troisième type de secteur est associé à la présence d'engins motorisés en tous genres, auxquels quelques usagers recourent pour leur activité : pêche embarquée, plongée sous-marine ou activités de découverte du milieu marin. Au sein de ces secteurs, la présence relative des bateaux de pêche y est la plus importante au regard de la réserve marine, ce qui leur confère une vocation principalement extractive. Sans surprise, une part de ces secteurs est à proximité d'un port (Roches-Noires, Saint-Leu) ou un bassin de mouillage (Etang-Salé), et le reste des secteurs se répartissent essentiellement dans la réserve nord, zone privilégiée par les opérateurs de plongée sous-marine ou de découverte du milieu marin.

Enfin, une douzaine de secteurs demeurent non spécialisés, soit parce qu'il y a eu trop peu d'observations (côtes à falaises rocheuses essentiellement fréquentées par quelques pêcheurs à la côte) soit parce qu'aucune activité ne fait l'objet d'une surreprésentation par rapport aux autres au regard de l'ensemble de la réserve (Figure 84).

6.C.2. Année 2011 : une surreprésentation des sports aérotractés et des usages directs

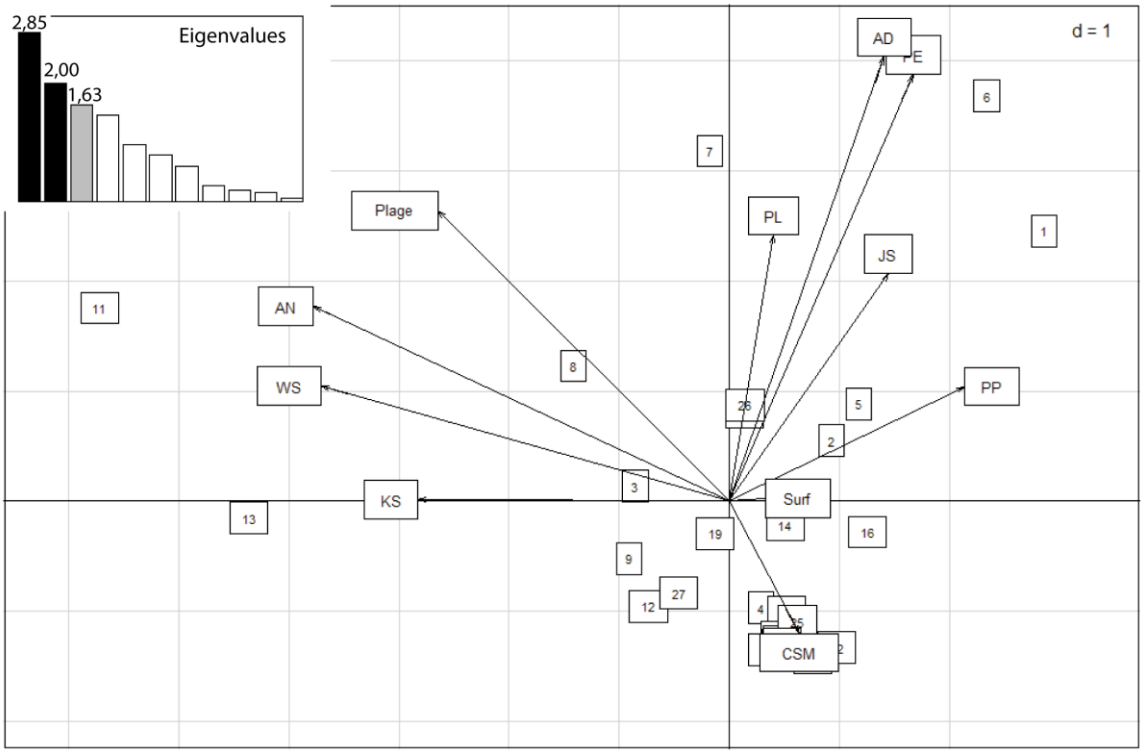


Figure 85 - Projections sur les axes 1 (inertie de 28,5 %) et 2 (inertie de 20 %) des observations (sites) et des variables (activités) pour l'année 2011 (PE: Pêche embarquée; PP: Pêche à pied; AD: Activités de découverte; JS: Jet ski; B: Baignade; AN: Activités nautiques; WS: Windsurf; KS: Kitesurf; CSM: Chasse sous-marine; PL: Plongée)

Tableau 33 - Contribution absolue (abs.) et relative (rel.) des variables à l'inertie des 3 axes pour 2011 exprimées en % de l'inertie de l'axe.

	Comp 1 abs.	*Comp 1 rel.*	**Comp 2 abs.**	*Comp 2 rel.*	**Comp 3 abs.**	*Comp 3 rel.*
Pêche embarquée	**5,0**	*14,4*	**27,2**	*54,6*	**5,1**	*-8,3*
Chasse ss.-marine	**0,7**	*2,09*	**2,6**	*-5,2*	**8,3**	*13,7*
Pêche à pied	**8,2**	*23,6*	**1,9**	*3,9*	**0,9**	*1,5*
Plongée	**0,3**	*0,8*	**10,6**	*21,27*	**21,9**	*35,8*
Activités découverte	**3,6**	*10,2*	**29,5**	*59,3*	**10,5**	*17,2*
Plage	**12,7**	*-36,3*	**12,6**	*25,3*	**3,03**	*-4,9*
Surf	**0,1**	*0,5*	**0**	*0*	**25,6**	*-41,8*
Windsurf	**25**	*-71,4*	**1,9**	*3,9*	**0,1**	*-0,2*
Kitesurf	**14,4**	*-41,3*	**0**	*0*	**0**	*0*
Activités nautiques	**25,8**	*-73,9*	**5,6**	*11,4*	**1,1**	*1,8*
Jet ski	**3,8**	*10,8*	**7,7**	*15,5*	**23,1**	*-37,8*

Pour 2011, 64,9 % de la variance est expliquée par 3 axes de projection (Figure 85). Le premier axe participe à 28,5 % de l'inertie totale, et est lui-même déterminé essentiellement par les activités nautiques (canoë-kayak, pédalo, PMT et paddle), le windsurf et dans une moindre mesure par le Kitesurf et les activités plagiques (plage et baignade). Les plus fortes contributions à l'inertie de l'axe 2 qui explique 20 % de la variance, sont le fait de la pêche embarquée et des activités de découverte du milieu marin, soit essentiellement des activités recourant à des engins motorisés. Comme en 2010, le 3ème axe est fortement déterminé par l'activité de surf (Tableau 33), mais également par le jet ski et la plongée sous-marine.

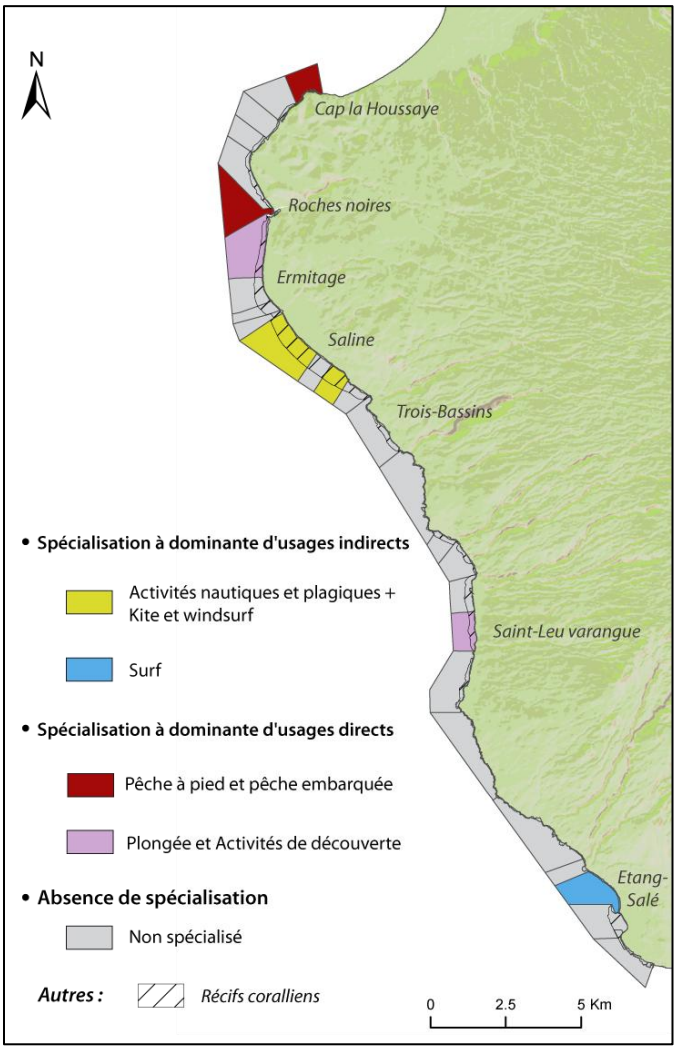


Figure 86 - Typologie 2011 de la spécialisation des secteurs à partir des 5 classes du dendrogramme (annexe 10).

En 2011, le paysage des activités change. Des nouveaux types de secteurs apparaissent, lorsque d'autres évoluent vers un nouveau type de profil. Dans le même temps on observe une augmentation de la part des sites non spécialisés qui passent de 11 en 2010 à 15 en 2011, témoignant d'une "perte d'identité" pour ces sites (Figure 86).

Par rapport à 2010, le fait marquant réside dans l'apparition de nouveaux types de spécialisation plus "pointues", notamment en ce qui concerne les types à dominante d'usages directs. Deux zones apparaissent ainsi comme associées à la présence accrue de pêcheurs : le Cap la Houssaye au nord spécialisé dans la pêche à pied, et Roches-Noires où la présence du port et d'une digue prisée par les pêcheurs à pied explique cette spécialisation.

Deux zones déjà associées en 2010 aux usages directs se spécialisent plus précisément dans la plongée et les activités de découverte du milieu marin (Saint-Leu varangue et Ermitage nord).

Enfin, trois sites sont spécifiquement associés aux usages indirects. Des trois secteurs spécialisés dans le surf en 2010, il ne reste que celui de l'Etang-Salé au sud de la réserve en 2011, un constat qui fait écho aux trois attaques de requins ayant touché le nord entre le 19 février et le 6 juin. On notera la déspécialisation d'un certain nombre de sites à vocation balnéaire que sont les sites de l'Ermitage sanctuaire et sud sanctuaire, faisant écho à la baisse relative de la fréquentation plagique et nautique sur ces secteurs en 2011. Les secteurs de Saline nord et Trou d'eau connaissent dans le même temps une surreprésentation des sports aérotractés (Kitesurf et windsurf) (Figure 86). Cette nouvelle configuration peut s'expliquer par une augmentation absolue du nombre de pratiquant telle que constatée par des spécialistes de la discipline (cf. 3.B.3.3.1.), tout comme elle peut résulter d'une augmentation relative, les activités plagiques ayant baissé sur ce secteur en 2011 (cf. 6.B.2.1.). Enfin, les archives consultées sur Windguru[134] n'ont pas permis de différencier 2011 de 2010 de façon significative, d'autant que la nature aléatoire de l'échantillonnage des vols peut également avoir joué un rôle fortuit dans la surreprésentation des jours d'exposition au vent.

[134] Windguru (www.windguru.cz) est un site de prévision basé sur des modèles météorologiques conçu principalement pour les kitesurfeurs et les windsurfeurs, de plus en plus légitimé par la communauté scientifique et utilisé dans les publications scientifiques.

6.C.3. Année 2012 : Une réappropriation des sites par les usages plagiques et les activités extractives et le déclin du surf

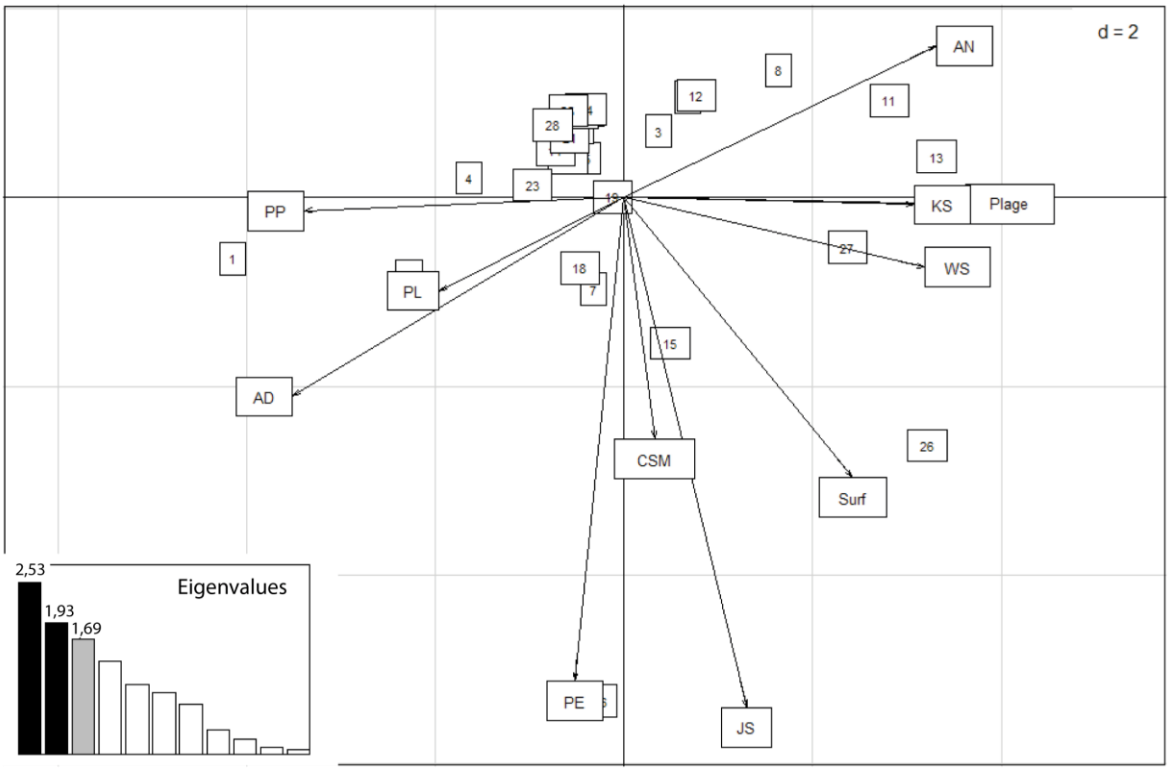


Figure 87 - Projections sur les axes 1 (inertie de 25,3 %) et 2 (inertie de 19,3 %) des observations (sites) et des variables (activités) pour l'année 2012 (PE : Pêche embarquée ; PP : Pêche à pied ; AD : Activités de découverte ; JS : Jet ski ; B : Baignade ; AN : Activités nautiques ; WS : Windsurf ; KS : Kitesurf ; CSM : Chasse sous-marine ; PL : Plongée).

Tableau 34 - Contributions absolue et relative des variables à l'inertie des 3 axes pour 2012, exprimées en % de l'inertie de l'axe.

	Comp 1 abs.	*Comp 1 rel.*	**Comp 2 abs.**	*Comp 2 rel.*	**Comp 3 abs.**	*Comp 3 rel.*
Pêche embarquée	**0,3**	*-0,8*	**33,1**	*-64*	**9,1**	*-15,4*
Chasse ss.-marine	**0,1**	*0,3*	**8,2**	*-15,9*	**19,4**	*32,9*
Pêche à pied	**14,4**	*-36,7*	**0,0**	*-0,05*	**1,3**	*-2,2*
Plongée	**4,8**	*-12,2*	**1,2**	*-2,3*	**7,1**	*-12,1*
Activités découverte	**15,6**	*-39,6*	**5,5**	*-10,8*	**11,4**	*-19,4*
Plage	**16,5**	*41,9*	**0,0**	*-0,01*	**14,5**	*-24,6*
Surf	**7,3**	*18,7*	**11,0**	*-21,4*	**12,6**	*21,4*
Windsurf	**12,8**	*32,5*	**0,6**	*-1,3*	**0,07**	*0,1*
Kitesurf	**11,9**	*30,3*	**0,0**	*-0,01*	**0,9**	*-1,5*
Activités nautiques	**13,7**	*34,9*	**3,2**	*6,3*	**22,8**	*-38,7*
Jet ski	**2,1**	*5,3*	**36,7**	*-71,2*	**0,5**	*-0,9*

Pour 2012, 61,7 % de la variance est expliquée par 3 axes de projection (Figure 87). Le premier axe qui participe à 25,3 % de l'inertie cumulée, est expliqué deux groupes de variables en opposition : la pêche à pied et les activités de découverte d'une part (30 % de contribution) et les activités de plage, les activités nautiques et les sports de glisse d'autre part (54,9 % de contribution). Les plus fortes contributions à l'inertie de l'axe 2 qui explique 21,4 % de la variance, sont le fait de l'activité de jet ski et de pêche embarquée. Le 3ème axe (16,9 % de la variance) est fortement déterminé par les activités nautiques, suivi de la chasse sous-marine et des activités de plage dans une moindre mesure (Tableau 34).

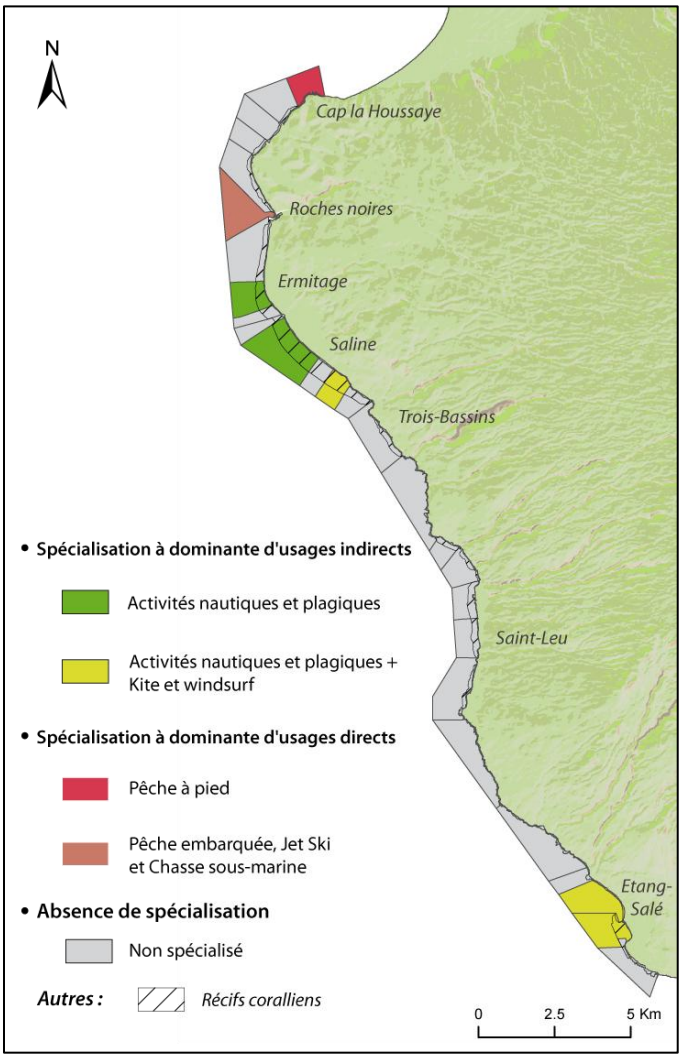


Figure 88 - Typologie 2012 de la spécialisation des sites à partir des 5 classes du dendrogramme (annexe 10).

L'année 2012 est marquée par deux processus majeurs : une réappropriation lente des sites de l'Ermitage et la Saline par les usages indirects, notamment les usages plagiques, ainsi qu'une spécialisation fine de secteurs dans les usages directs à vocation extractive (Figure 88). En parallèle, le nombre de secteurs non spécialisés continue d'augmenter en passant de 15 en 2011 à 20 en 2012.

En parallèle de cette déspécialisation, s'opère un retour d'activité plagique sur le site de l'Ermitage sanctuaire, et une réappropriation du site de Saline nord, explicable par une présence moins accrue des kitesurfeurs et des windsurfeurs par rapport à 2011. Seul le site de Saline trou d'eau reste le "bastion" des sports aérotractés, tel que défini par ailleurs par le règlement de l'AMP. Fait nouveau, les sites de l'Etang-Salé sont également associés aux activités nautiques, plagiques et sports aérotractés, au détriment de l'activité de surf qui n'est plus associé à aucun secteur en 2012.

Enfin, les deux mêmes secteurs du Cap la Houssaye et de Roches-Noires restent spécialisés dans les usages directs extractifs. En sus, une surreprésentation des chasseurs sous-marins et du jet ski contribue à la spécialisation du secteur de Roches-Noires en 2012 (Figure 88).

Entre 2010 et 2012 on observe une déspécialisation croissante des sites, témoin de la disparition de certains usages (surf) et de la redistribution de certains autres (activités plagiques), en partie explicable par la crise requin qui touche l'île depuis le premier semestre 2011. En outre, cette déspécialisation des sites doublée de la réappropriation de secteurs par les usages plagiques notamment, témoigne d'un repli dans un espace circonscrit où la présence d'un front récifal garantit une sécurité minimum pour la baignade : Ermitage, Saline et Etang-Salé. Enfin, un autre fait notable est celui du retour progressif des activités extractives entre 2010 et 2012, témoin d'une réappropriation de la réserve par les usagers pêcheurs.

6.D. Des variations interannuelles explicables par de nombreux facteurs

Entre 2010 et 2012 le schéma de répartition spatiale et temporelle de la fréquentation a évolué. Ces variations interannuelles et intersites ont été plus marquées pour certains usages que pour d'autres. En parallèle et dans le même temps, les climats social, politique et économique réunionnais ont été marqués par des événements, des fluctuations, des crises qui ont pu contribuer au changement du paysage des usages balnéaires. Nous avons identifié plusieurs facteurs susceptibles de faire fluctuer la fréquentation balnéaire spatialement et/ou temporellement. Ces derniers ont été classés en trois catégories, et les facteurs listés de façon non exhaustive :

- les facteurs de variations ponctuels qui se caractérisent par leur nature relativement peu prévisible et spontanée, pouvant contribuer à faire varier le nombre d'usagers sur un pas de temps variable pouvant aller de l'échelle horaire à l'échelle journalière. Ces facteurs relèvent de domaines variés tels que la météorologie (une ondée passagère, les régimes de vent et de houle, etc.), l'événementiel culturel ou sportif (Figure 89), une attaque de requin pouvant perturber la dynamique de fréquentation d'un site, quoique ce dernier facteur puisse être amené à s'inscrire dans un pas de temps plus long sitôt qu'il évolue en crise sociale ou "crise requin"[135] ou que des contraintes structurelles prennent le relais (arrêtés préfectoraux ou municipaux).

- les facteurs de variation cycliques qui se caractérisent par des cycles de présence/absence, s'inscrivant dans un pas de temps plus long, de l'échelle mensuelle à saisonnière, et adoptent des périodes de retours plus ou moins longues. Outre "l'effet saison" par ailleurs analysé en partie 5.A.1.2, les flux touristiques peuvent à ce titre constituer un facteur de variation potentiel en contribuant à faire grossir les effectifs de façon cyclique. Par les éléments structurels qui peuvent accompagner sa survenue, une attaque de requin peut également constituer un facteur de variation cyclique. Les arrêtés préfectoraux et municipaux interdisant ou réglementant la pratique de certaines activités à risque contribuent largement à bouleverser la répartition des usagers. Les premiers résultats des études ayant porté sur les comportements des requins et les conditions environnementales pendant les attaques ont désigné la période hivernale comme étant une période privilégiée d'occurrence temporelle d'attaques de requins (Lagabrielle *et al.*, 2012 ; Soria *et al.*, 2014).

- les facteurs de variation pérennes qui relèvent de paramètres immuables (aménités du site), matériels (infrastructures) ou de la configuration du terrain (aménagement). Ces deux derniers paramètres ne sont que rarement soumis à des changements, ou alors ces derniers sont empreints d'une inertie relativement importante, se répercutant dans des variations s'opérant de façon lente dans le temps (augmentation interannuelle d'un site suite à l'installation de nouvelles infrastructures).

[135] La "crise requin" est le nom donné au climat social et politique qui s'est installé suite à une augmentation soudaine de la fréquence des attaques de requins dès le premier semestre 2011. L'attaque qui a couté la vie à Mathieu Schiller le 19 septembre 2011 marque le début de la crise avec la naissance des premiers arrêtés préfectoraux et municipaux de baignade, les premières répercussions sur l'économie balnéaire, le tourisme, et sur la distribution des usagers et l'évolution de leur perception de la mer et de ses dangers, non mesurée ici.

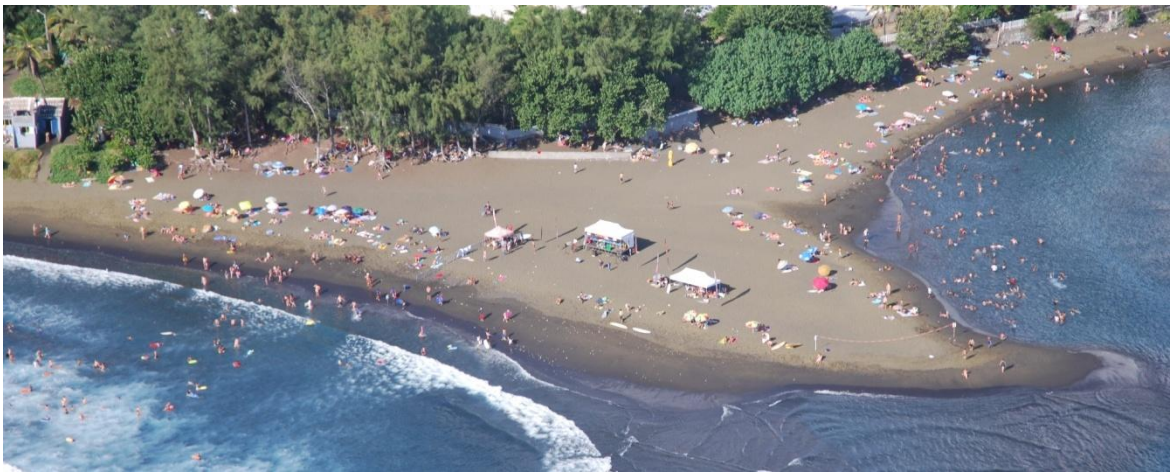


Figure 89 - Manifestation sportive autour des sports de glisse à l'Etang-Salé. Cliché du 25 avril 2010 à 16h

Tous les facteurs de variation identifiés ici peuvent impacter les dynamiques de fréquentation à leurs échelles temporelles respectives, mais les différents usages ne sont pas également touchés par ces perturbations. Au regard de certains éléments perturbateurs de dynamiques, certaines activités font office de marqueur soit parce qu'elles sont directement touchées (effet d'une crise requin sur les activités les plus exposées telles que la baignade ou le surf) soit parce qu'elles subissent les effets corollaires de cette "crise" (mesures réglementaires induites). Tous les facteurs de variation ne feront pas ici l'objet d'une analyse. Compte tenu du fait que l'évolution 2010-2012 a tout particulièrement été touchée par la crise requin, ses répercussions spatio-temporelles sur la fréquentation sont analysées ici et nous verrons dans quelle mesure certains usages peuvent constituer des marqueurs de crise. Dans un second temps, les courbes du tourisme seront superposées à nos données 2010-2013 de fréquentation afin d'évaluer dans quelle mesure les variations de cette dernière fait écho aux fluctuations des chiffres du tourisme.

6.D.1. Crise requin : la fréquentation comme marqueur de crise ?

À partir du premier trimestre 2011, La Réunion a connu sur sa côte Ouest une succession d'attaques de requins. Sur toute la période échantillonnée pour les besoins de cette thèse, une douzaine d'attaques ont été recensées, dont 10 se sont déroulées sur la côte Ouest dans le périmètre de la réserve marine amenant certains auteurs à la faire figurer au rang des zones "les plus à risques depuis 2011" (Taglioni et Guiltat, 2015). Historiquement, on est passés d'une fréquence de 0,6 attaque par an entre 1980 et 2007 à 1,5 attaque par an depuis (Taglioni et Guiltat, 2015), si bien que les rares auteurs ayant publié sur le risque requin évoquent une "permanence" du risque à partir de 2011 (Thiann-bo Morel et Duret, 2013).

En "première ligne" les surfeurs sont les premières victimes de ces attaques, du fait notamment que la pratique de ce sport place les usagers en avant du front récifal, au commencement de la pente externe, là ou déferlent les vagues. En octobre 2011, alors que 5 attaques s'étaient déroulées depuis le début de l'année, dont 2 à l'issue fatale, un premier arrêté préfectoral daté du 5 octobre (arrêté 2011-641) a été promulgué, interdisant toute activité nautique et balnéaire dans la bande des 300 mètres à compter du bord, entre Boucan-Canot et Saint-Paul. Dès lors deux autres arrêtés lui ont succédé, lesquels ont largement contribué, en plus des implications psychologiques, culturelles et économiques, à altérer les dynamiques et le paysage des activités.

Historiquement, les usages les plus directement touchés par les attaques de requin sont les activités de surf, de chasse sous-marine, et de canoë-kayak. Depuis les années 1980, sur 36 attaques, 18 impliquaient des surfeurs dont un tiers s'est soldé par une issue fatale (Lagabrielle *et al.*, 2013). En 2011, année pic historique des attaques de requins sur l'île, 7 attaques ont eu lieu, dont 6 dans l'ouest : 4 attaques sur des surfeurs et 2 sur des kayaks de mer (Lagabrielle *et al.*, 2012). Alors qu'en 2011 les attaques étaient concentrées dans les secteurs nord de la réserve, deux attaques ont eu lieu en 2012, l'une à Trois-Bassins le 23 juillet sur un surfeur, et l'autre à Saint-Leu le 5 août sur un surfeur. En 2013, 3 attaques ont eu lieu entre Ermitage nord et l'Etang-Salé (Tableau 35). Notons que chaque année, les attaques ont eu tendance à se produire en période hivernale, tant et si bien qu'elle est considérée par les spécialistes et les autorités comme une période considérée désormais "à risque". Les campagnes de suivis de la fréquentation se sont déroulées chaque année entre janvier et juillet. Aussi, les répercussions de ces attaques sur les comportements n'ont été prises en compte que tardivement, ou alors ont été perçues l'année suivante.

Tableau 35 - Dates, localisation et activités impliquées dans les attaques de requin entre 2011 et 2013 sur la période de notre étude et au sein ou à proximité de notre périmètre d'étude.

Date	Lieu	Activité impliquée
19/02/2011	Grand Fond	Surf
15/06/2011	Boucan-Canot	Surf
06/07/2011	Roches-noires	Surf
15/07/2011	Ermitage nord (Brisants)	Canoë-kayak
19/09/2011	Boucan-Canot	Surf
05/10/2011	Cap la Houssaye	Canoë-kayak
23/07/2012	Trois-Bassins passe	Surf
05/08/2012	Saint-Leu	Surf
08/05/2013	Ermitage nord (Brisants)	Surf
15/07/2013	Saint-Paul (hors réserve)	Baignade

Nous avons identifié plusieurs dynamiques marquant une variabilité interannuelle spatiale et/ou temporelle et pouvant être potentiellement associées à la "crise requin" :

- les pertes et gains relatifs des secteurs exposés (baignade en pleine mer comme Boucan-Canot ou Etang-Salé) et des secteurs protégés des attaques (zones récifales de l'Ermitage ou la Saline), suite aux premières attaques. En la matière, les activités de baignade et de surf ont vu leur dynamique spatiale bouleversée;
- la baisse de certaines activités dont la pratique peut impliquer une prise de risque de la part d'une catégorie d'usagers ayant une perception accrue du risque. Ainsi, la plongée sous-marine et le surf ont-il vu leur fréquentation chuter sur toute ou une partie de la période concernée (ce qui n'est pas le cas de la baignade) ;
- l'augmentation de certaines activités peut également constituer un indicateur de crise dans la mesure où elles peuvent constituer une solution de repli sécurisante (activités nautiques pratiquées sur les plans d'eaux récifaux, en milieu protégé par le front récifal).

6.D.1.1. Les répercussions sur la répartition temporelle

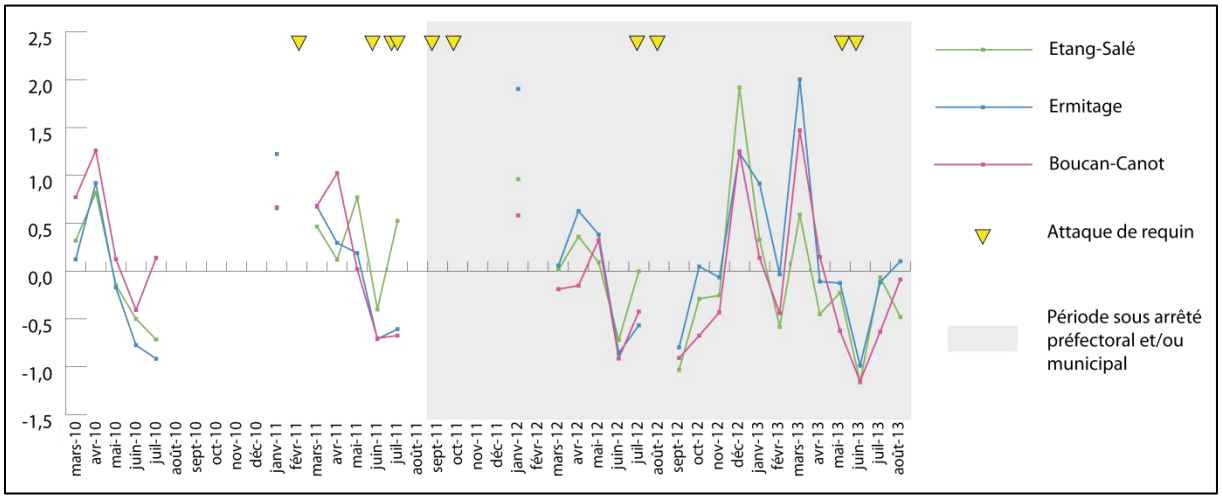


Figure 90 - Fréquentation, attaques de requin et arrêtés de baignade sur la période échantillonnée pour les sites de Boucan-Canot, l'Ermitage et l'Etang-Salé (données de baignade de l'après-midi centrées réduites).

Entre mars 2010 et Août 2013, 10 attaques de requin ont été recensées sur la côte Ouest dans le périmètre de la réserve marine. Elles se sont généralement produites pendant la saison hivernale australe, entre juin et août. L'absence de synchronisation entre l'occurrence temporelle des attaques et les dates de vols ainsi que l'interruption des campagnes de suivis pour les seconds semestres 2010 et 2011 n'a pas permis d'étudier plus finement les impacts post-attaque. La Figure 90 illustre la répartition mensuelle relative des baigneurs à l'échelle de trois sites aux profils bien différents :

- Boucan-Canot qui est une plage ouverte sur l'océan et où se sont déroulées deux attaques depuis 2011, et se situe au nord de la réserve, région la plus touchée par ces événements et ciblée par les arrêtés préfectoraux et municipaux de baignade et d'activités nautiques (annexe 9) ;
- Ermitage sanctuaire au centre de la réserve qui possède, au même titre que la Saline, le profil de plage "protégée" par le front récifal et aux zones de bain à faible hauteur d'eau ;
- l'Etang-Salé au sud qui détient, à peu de chose près, la même configuration que Boucan-Canot, à la différence qu'aucune attaque ne s'y est déroulée avant 2013 et que donc aucun arrêté de baignade n'a été émis avant juillet 2013 (annexe 9).

Les trois sites épousent à peu de chose près les mêmes dynamiques temporelles, voyant leur fréquentation baisser au milieu de l'hiver austral en juin et juillet. On notera par ailleurs que cette baisse de fréquentation correspond également à la période privilégiée où surviennent les attaques de requin, rendant par là même plus difficilement perceptibles les effets induits. En 2010 et 2011 Boucan-Canot est une "plage d'avril", à savoir que ce mois enregistre des scores de fréquentation importants au regard de sa distribution sur l'échantillon 2010-2013. En 2012 néanmoins, sa fréquentation baisse nettement, ce qui résulte très probablement des effets de l'arrêté préfectoral n°1400[136] ayant pris effet le 20 septembre 2011 et couvrant toute la période. Dès lors, la

[136] Une myriade d'arrêtés préfectoraux et municipaux ont été proclamés et se sont succédés dès la fin 2011, interdisant, limitant ou réglementant les activités de baignade, les activités nautiques et les sports de glisse, généralement dans la bande des 300 mètres à partir du bord. La plupart des arrêtés municipaux n'ont pas de date de date de fin, et sont donc officiellement toujours valables à ce jour (annexe 8).

fréquentation relative des sites de L'Ermitage et de l'Etang-Salé devient plus importante jusqu'à la fin de la période échantillonnée (Figure 90).

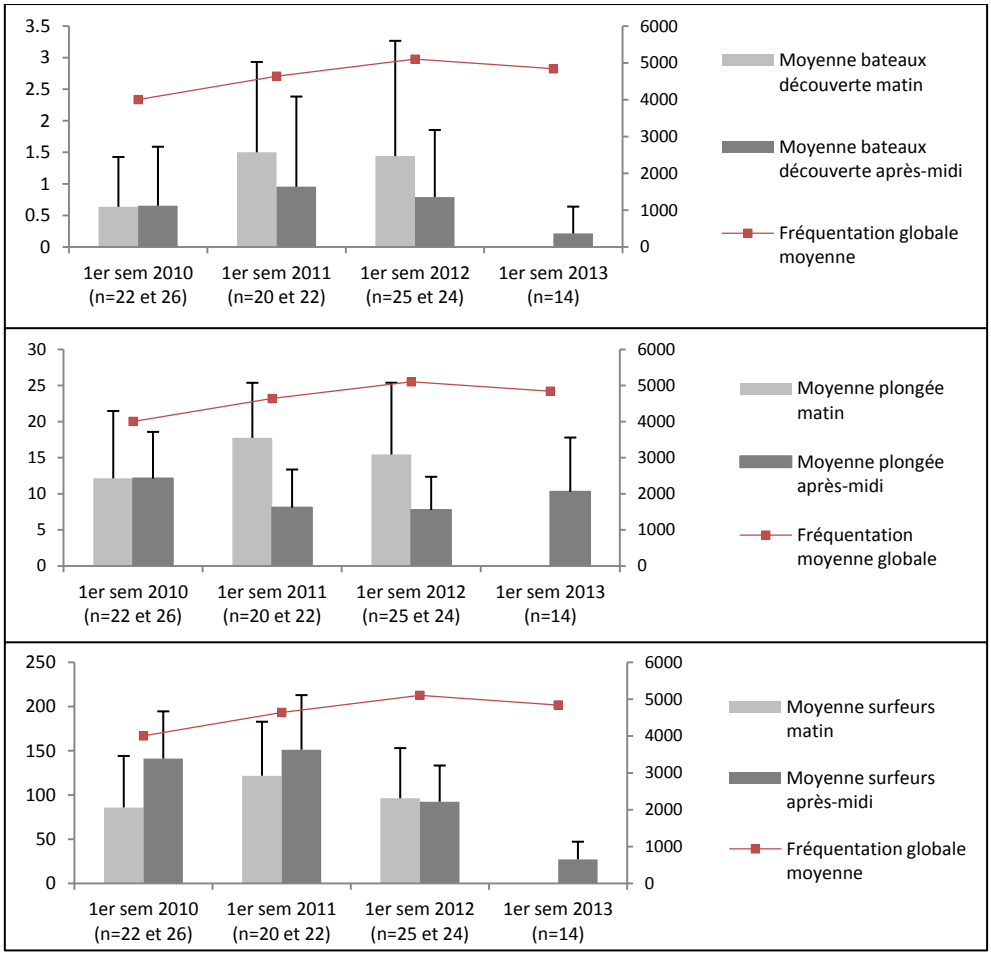


Figure 91 - Evolution temporelle des activités de surf, de plongée sous-marine et de découverte du milieu marin, sur fond de fréquentation globale moyenne, par semestre, les après-midi.

Certaines dynamiques temporelles interannuelles observées peuvent être expliquées par les perturbations induites par la crise requin. Nous postulons ici qu'en dehors de tout effet de mode impliquant une augmentation ou une baisse dans la pratique de certains usages, les scores observés au sein de chaque catégorie d'usages tendent à épouser les mêmes tendances que les scores de fréquentation globale. Ainsi, la fréquentation par les bateaux de découverte du milieu marin mesurée à l'échelle du semestre (bien que soumise à une variabilité importante sur la période), épouse la même tendance que de la fréquentation globale (Figure 91). En revanche, on observe pour les activités de plongée sous-marine et de surf une dynamique inversée de baisse entre 2010 et 2012. Pour la première catégorie d'usage, cette baisse s'amorce dès 2011 (- 33 %). Compte tenu du fait que les attaques se sont produites à la fin de la période échantillonnée, l'effet crise requin est ici discutable. En revanche, la baisse constatée entre 2011 et 2012, sur fond d'une augmentation globale moyenne de 10 % de la fréquentation globale sur l'échantillon de l'après-midi et d'une hausse du tourisme de 4 % entre les deux semestres, peut hypothétiquement être interprétée comme un effet induit de la crise requin. Les tendances sont les mêmes pour l'activité de surf qui

subit une baisse notable de 38 % en passant d'un nombre moyen de 151,2 surfeurs en 2011 les après-midi à 92,4 surfeurs en 2012 (Figure 91).

6.D.1.2. Répercussions spatiales de la crise requin

Les attaques de requin se sont produites tout le long du linéaire côtier ouest. Les premières se sont produites au nord, puis elles se sont chronologiquement déplacées vers le sud. En 2011, 100 % des attaques se sont produites dans le secteur nord de la réserve, entre le Cap la Houssaye et Roches-Noires. En 2012, les deux attaques recensées se sont déroulées sur un spot de surf très fréquenté, le spot de Trois-Bassins, et à Saint-Leu, situés au centre de la réserve. En 2013, une attaque se produit pour la première fois dans le sud de la réserve à l'Etang-Salé, et une seconde au sud de Roches-Noires.

D'une façon générale, les effets induits sur la répartition spatiale ont été de deux ordres :

- des reports d'usagers d'un site à un autre, notamment pour les activités de plage/baignade et de surf, soit des perturbations dans la répartition relative ;
- une baisse dans le nombre absolu de pratiquants de certaines activités.

Un premier constat porte sur le ratio baigneur-plageur. On comptait en 2010 en moyenne 3 fois plus d'usagers sur les plages que dans les zones de bain au moment des relevés à 15h30 (Lemahieu *et al.*, 2010) (Figure 92). Alors même que la fréquentation moyenne par les plageurs et les baigneurs chute entre 2011 et 2012 pour tous les sites à l'exception d'Ermitage nord, ce rapport plage/bain se creuse progressivement depuis 2010 pour atteindre son pic en 2012. C'est le cas pour les sites de Boucan-Canot (jusqu'à 6 fois plus de plageurs que de baigneurs en 2012), Ermitage sanctuaire (2,7 fois plus), ou l'Etang-Salé (4,4 fois plus), témoignant d'une désaffection des usagers pour les pratiques de baignade. Ce phénomène fait écho à la crise requin qui a atteint son apogée en 2012, année marquée par de nombreux arrêtés de baignade, mais également par un épisode marquant de pollution en février 2012 à Saint-Leu, suite au débordement d'une station d'épuration qui avait détérioré le récif corallien et rendu impropre la baignade (annexe 1). C'est d'ailleurs un facteur d'explication de la forte désertion par les baigneurs en 2012 sur le site de Saint-Leu sud où le rapport bain/plage s'est particulièrement creusé (5,9 fois plus de plageurs que de baigneurs) (Figure 92).

Les sites de Roches-Noires et Ermitage nord se comportent différemment. A Roches-Noires, la part relative des baigneurs augmente en 2011 et se stabilise en 2012, alors que dans le même temps la fréquentation moyenne du site baisse. Ce n'est qu'en 2013 que le rapport se creuse et que la part relative des plageurs augmente. Cet impact tardif s'explique probablement par la réactivité de la municipalité qui, dès la fin 2011[137], a mis en place des dispositifs de surveillance et de sécurisation de la baignade. Ermitage nord présente toutes les caractéristiques d'un site sécurisant pour les usagers : une faible profondeur de la zone de bain, la proximité du front récifal, la présence d'un poste de maître-nageur-sauveteur peuvent expliquer la tendance inversée visible sur ce site, à savoir que la part relative des baigneurs ne fait qu'augmenter entre 2011 et 2013 (Figure 92).

[137] Arrêté municipal 2001-708 fixant au 1er novembre un périmètre restreint baignade avec délimitation par des bouées de 10h30 à 16h30.

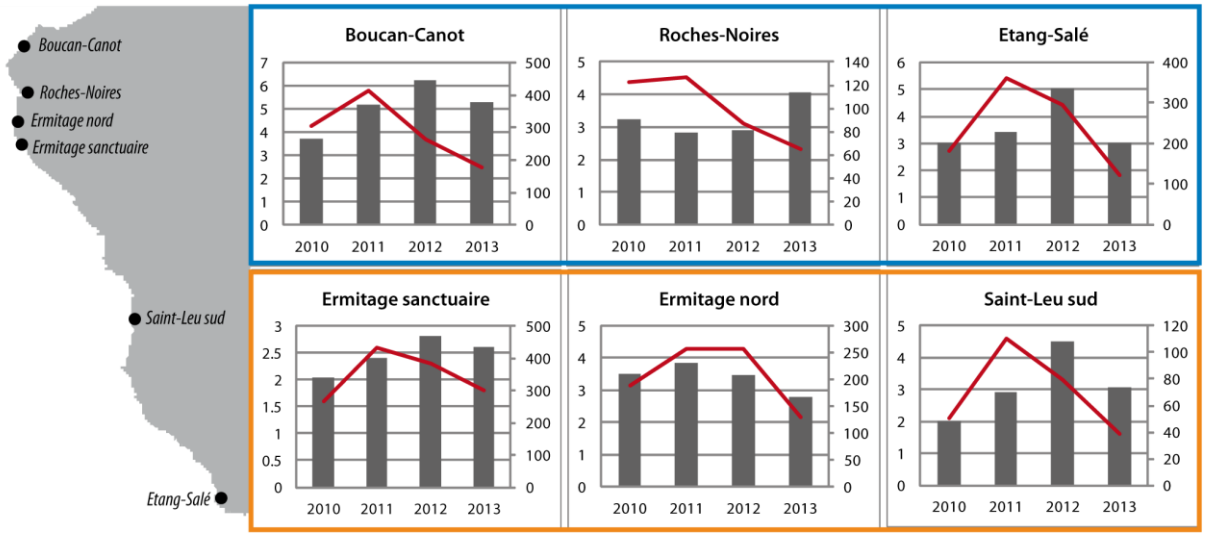


Figure 92 - Ratio plageurs/baigneurs à partir du cumul des observations par année et par secteur (plages "ouvertes" sur l'océan en encadré bleu et plages protégées par le récif en encadré orange) et fréquentation plagique moyenne annuelle (courbe rouge).

Ces deux dynamiques antagonistes peuvent par ailleurs s'expliquer par la localisation spatio-temporelle des attaques. Comme l'illustre bien la Figure 93, les attaques ont pour conséquence une augmentation relative des baigneurs sur les plages "protégées" telle que l'Ermitage sanctuaire par rapport aux sites de baignade de type "ouverts sur l'océan" tels que Boucan-Canot ou l'Etang-Salé d'une part ; d'autre part, la proximité des attaques aux plages concernées a pour effet la baisse de la fréquentation sur ces sites. Ce constat peut autant s'expliquer par les possibles impacts "psychologiques" des attaques sur les usagers et leurs répercussions sur les habitudes, que par les arrêtés de baignade proclamés dès septembre 2011 sur la commune de Saint-Paul ayant pour vocation l'interdiction de la pratique des activités nautiques et de baignade. Suite à l'attaque du 15 juin 2011 à Boucan-Canot, on observe une augmentation relative de la fréquentation par les baigneurs sur le site sudiste de l'Etang-Salé qui passe d'une contribution de 31 % sur la période pré-attaque à 58 % sur la période post-attaque. Ce site est connu pour offrir les mêmes services et partager une configuration similaire avec Boucan-Canot (poste de MNS, spots de surf, sanitaires, etc.). On peut donc postuler ici qu'il existe suite aux attaques de requins un phénomène de "report" d'usagers des sites "en crise" ou soumis aux arrêtés, aux sites "protégés" que sont les plages de l'Ermitage et de la Saline, ou distants géographiquement des attaques (Etang-Salé).

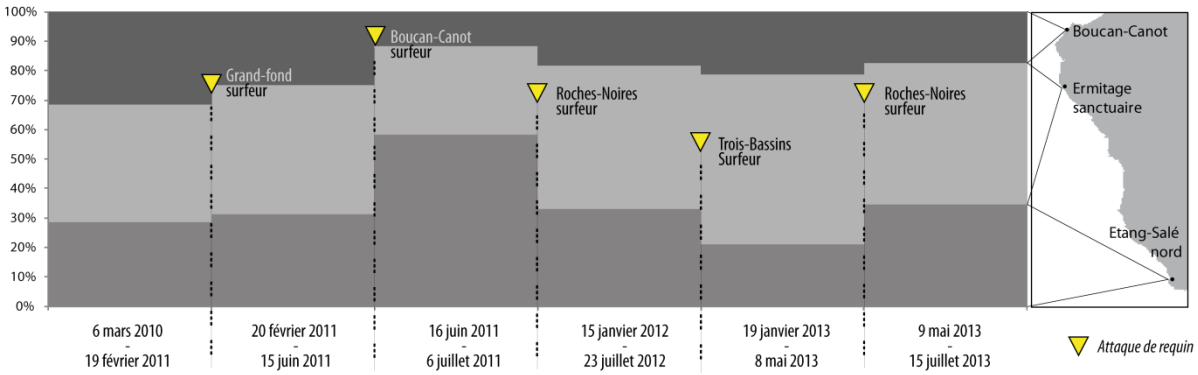


Figure 93 - Contribution moyenne relative des sites de Boucan-Canot, Ermitage sanctuaire et Etang-Salé dans l'activité de baignade entre chaque attaque recensée sur la période échantillonnée 2010-2013.

L’activité la plus tristement emblématique de cette crise requin est également la plus impactée : le surf. Sur les 10 attaques recensées entre 2010 et 2013 qui ont eu lieu dans le périmètre de la réserve, 7 ont impliqué des surfeurs, dont 4 se sont soldées par une issue fatale. Le schéma de répartition initial de 2010 a été largement décrit en partie 5.B.2.4., se caractérisant par la prédominance de quelques sites dans la répartition des surfeurs, à l’instar de l’ensemble Boucan-Canot/Grand-Fond, la passe de Trois-Bassins et l’Etang-Salé. En 2011, alors que toutes les attaques se sont produites dans le secteur nord de la réserve, majoritairement à la fin du premier semestre, on observe une baisse de l’activité dans les secteurs de Grand-Fond et Cap Homard (baisses de 29,6 % et 37,2 %), au profit des zones de Trois-Bassins (+ 16,6 %), de Saint-Leu la Corne (+ 70 %) et de l’Etang-Salé (+ 29 %) (Figure 94). En 2012, le schéma de répartition se caractérise par une dichotomie Nord/Sud, lorsque deux attaques en plein hiver austral se produisent sur les spots de surfs centraux de Trois-Bassins et de Saint-Leu la Corne (spot de "la Gauche de Saint-Leu") à la fin de notre campagne de relevé. Durant tout le premier semestre 2012, la baisse d’activité s’est poursuivie sur les secteurs nord (jusqu’à -97 % d'activité), un effet auquel les arrêtés de baignade et sports nautiques ont contribué. Cette même tendance s’était par ailleurs déjà amorcée sur les secteurs de Trois-Bassins et de la Corne (-53,7 % et -45,8 %), avant que ne se produisent les attaques, indiquant que la série d’attaques de 2011 a probablement eu une portée plus large sur les dynamiques de répartition géographiquement parlant. En 2013, la baisse touche tous les spots, seul le "bastion" de l’Etang-Salé subsiste sur toute la durée, même s’il accuse également une baisse de -78 % entre 2012 et 2013. Le nombre moyen de surfeurs à la passe de Trois-Bassins passe sur la même période de 16,1 à 2,9 surfeurs. On observe également une stabilisation voire un très léger regain de l’activité sur le spot de Boucan-Canot qui passe d’un nombre moyen de 0,41 à 0,53 surfeur entre 2012 et 2013 (Figure 94). Peut-être ce regain annonce-t-il une dynamique de résilience, d’un retour progressif vers le schéma de répartition initial ?

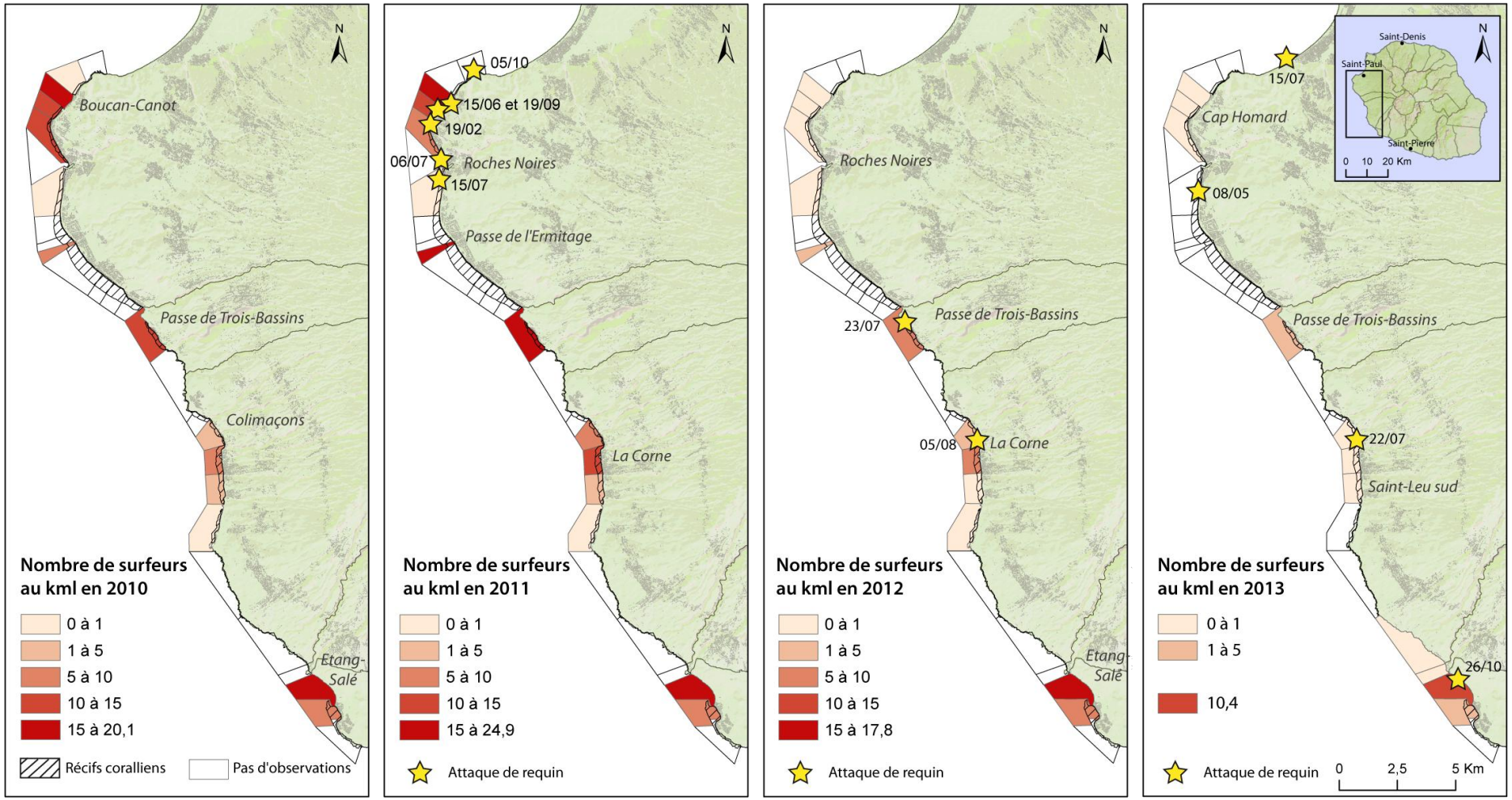


Figure 94 - Cartographie des attaques sur fond d'évolution de l'activité de surf entre 2010 et 2013.

6.D.1.3. L'année 2013 : l'année de résilience ?

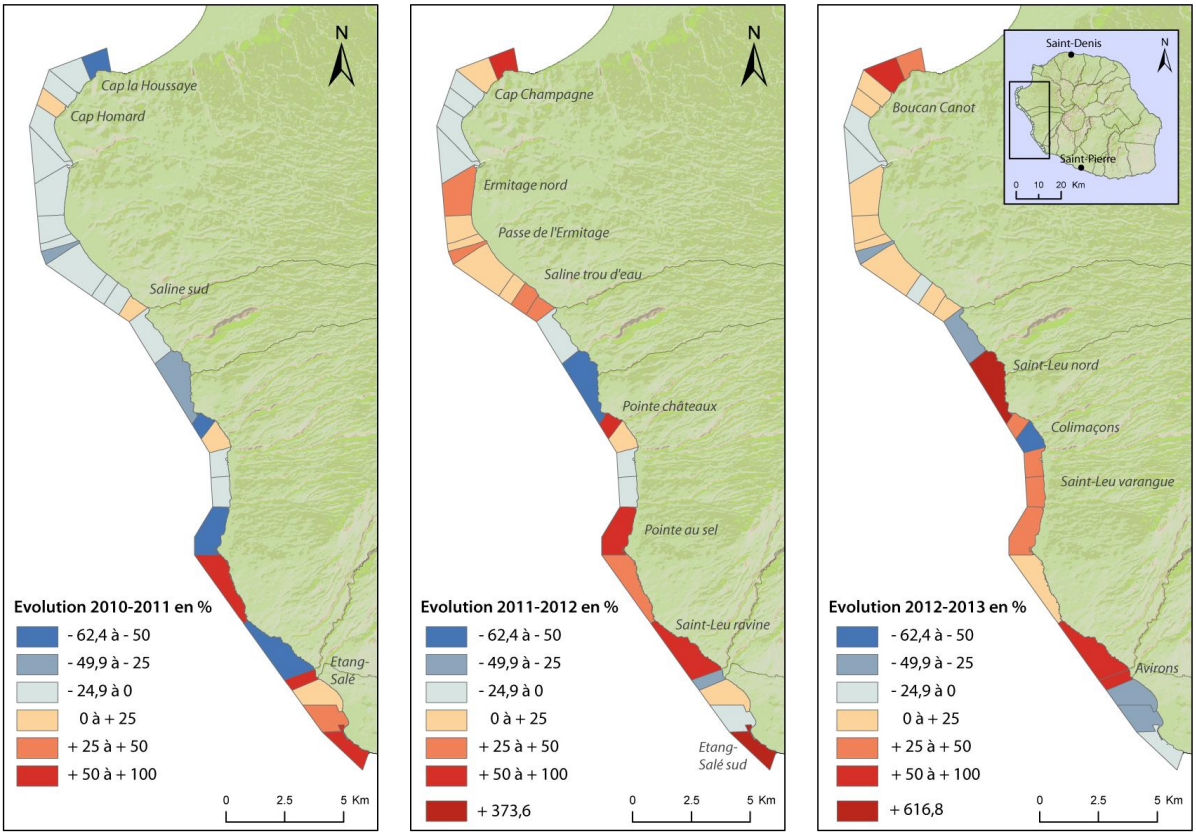


Figure 95 - Évolution spatiale interannuelle de la fréquentation globale (en % d'évolution moyenne)

Alors que l'année 2011 a été marquée par une baisse généralisée de la fréquentation les week-ends après-midi en période scolaire et l'année 2012 par un retour progressif des usagers qui restent néanmoins cantonnés dans les zones récifales (cf. 5.B), on observe, outre le maintien voire l'augmentation moyenne de la fréquentation des plages "protégées" de l'Ermitage et la Saline, une dynamique duale en 2013 i) d'appropriation de nouveaux sites jusque là peu prisés, et ii) de réappropriation, malgré les deux attaques de requins[138] qui se sont produites sur le premier semestre, des plages dites "à risques", c'est a dire les sites qui comportent des zones de bain ouvertes sur l'océan.

L'augmentation générale de la fréquentation moyenne et les effets probables de la crise requin ont eu pour effet l'appropriation nouvelle de sites jusque-là peu fréquentés et délaissés, à l'instar de :

- Cap Champagne, une plage bordée d'un récif frangeant affleurant offrant peu de possibilités en termes de baignade, mais qui profite probablement de la "diffusion" offerte par sa proximité à Boucan-Canot et les nombreux services et infrastructures qui la bordent (Figure 96) ;
- Saint-Leu Ravine du Trou qui est un secteur jusque-là déserté car assez hostile, et où quelques usagers viennent poser leur parasol, malgré une baignade peu sécurisante et la présence de rochers (Figure 97).

[138] Une attaque à proximité de Roches-Noires le 08/05/2013 et une seconde hors réserve le 15/07/2013, toutes deux fatales (voir Tableau 35)

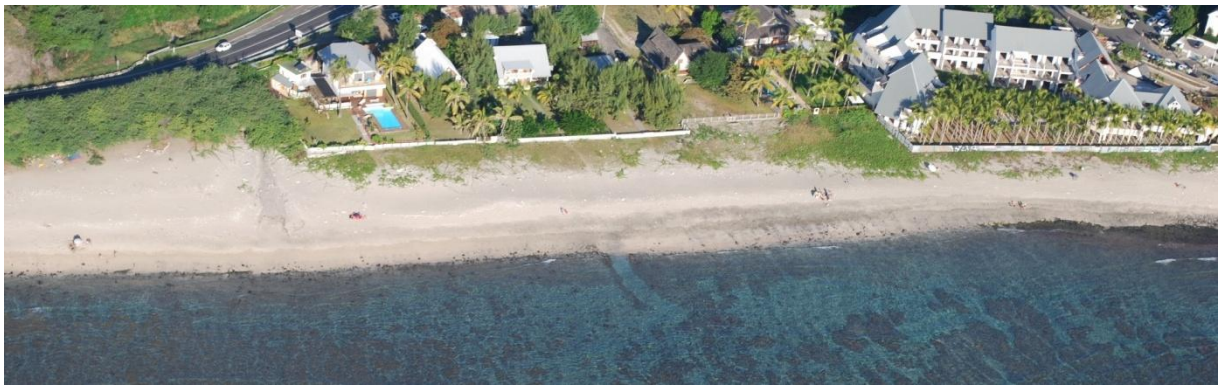


Figure 96 - Une fréquentation naissante sur la plage de Cap Champagne, cliché du 20 mai 2012 à 16h32.

Figure 97 - Une fréquentation plagique naissante sur la plage de Ravine du Trou, cliché du 17 mai 2012 à 16h10.

En outre, pour l'échantillon concerné, on observait suite à une baisse qui s'est maintenue entre 2010 et 2012 suite à la crise requin, une augmentation de 12,7 % du nombre moyen d'usagers et d'engins sur le secteur de Boucan-Canot qui voit également sa contribution dans la répartition générale augmenter en 2013 (Figure 95 et annexe 11). Sans pouvoir parler de "rétablissement" ou d'emprunter le terme écologique de "résilience", on peut néanmoins constater une amorce dans le rétablissement d'un schéma initial de répartition, dicté par trois "pôles d'attractivité" que sont : Boucan-Canot, le complexe récifal Ermitage-Saline, et Saint-Leu. Seul le site de l'Etang-Salé fait exception à cette règle et accuse une baisse absolue (-28 % entre 2012 et 2013) autant que relative (-0,8 points) de sa fréquentation (Figure 95 et annexe 11), une baisse dont on peut se demander si elle ne réside pas dans une "réattribution" d'usagers qui avaient pendant la crise déserté le site de Boucan-Canot au profit du complexe Ermitage-Saline et aux sites de l'Etang-Salé nord et Etang-Salé bassin pirogue. Enfin, l'augmentation marquée des secteurs de Cap la Houssaye, Saint-Leu nord, Pointe au sel ou encore Saint-Leu ravine du Trou qui sont, tout ou partie, des côtes sauvages à falaises rocheuses, se trouve être corrélée à l'augmentation du nombre moyen de pêcheurs à pieds de 57 % entre 2012 et 2013 qui affectionnent ce type de côtes pour leur pratique.

6.D.2. La fréquentation fait-elle écho à la conjoncture touristique ?

Après une baisse importante de la fréquentation touristique en 2005 et 2006 suite à la crise du Chikungunya, les chiffres du tourisme ont commencé à remonter en 2007 (+ 36 % entre 2006 et 2007[139]) pour se stabiliser et augmenter sensiblement d'une année sur l'autre par la suite. Pour la période concernée par la présente étude, nous avons utilisé les données de nuitées[140] comme indicateur de la dynamique touristique afin de les comparer aux tendances observées dans les dynamiques de fréquentation balnéaire 2010-2013. Disposant de données journalières, nous avons pu observer des tendances similaires entre le nombre d'usagers observés et le nombre de nuitées enregistrées par les établissements pour chaque jour échantillonné entre mars 2010 et Août 2013 (Figure 98). Cette relation a été testée par voie statistique et s'est avérée significative sur un échantillon de 29 observations, avec un coefficient de corrélation de 0,61.

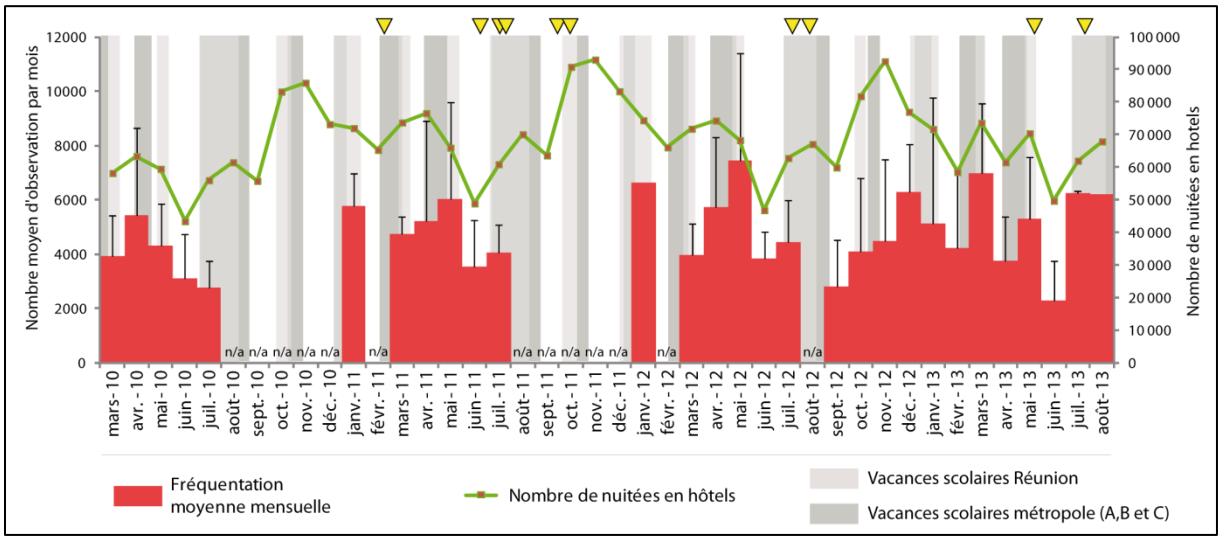


Figure 98 - Évolution de la fréquentation mensuelle observée entre mars 2010 et Août 2013 sur fond de fréquentation touristique (nbre de nuitées en hôtels).

Entre 2012 et 2013, la fréquentation globale moyenne baisse de 5 %, alors que le nombre total de touristes recensés au premier semestre baisse de 9 % sur la même période. Alors que cette baisse pourrait faire écho à la crise requin, quoique son effet perçu sur la fréquentation touristique présenterait alors une certaine inertie, on peut se demander si certains usages a priori associés à des pratiques touristiques suivent les mêmes tendances. À partir de ce questionnement, nous avons superposé les données annuelles de chaque activité aux données du tourisme. Les variations interannuelles de l'activité plagique se calquant relativement bien sur la courbe du tourisme (Figure 99). Les bateaux de découverte du milieu marin, qui embarquent essentiellement des touristes semblent subir de plein fouet la baisse touristique du premier semestre 2013, voyant leur activité chuter de 72 % par rapport au premier semestre 2012.

Certains usages peuvent constituer des indicateurs témoins de certaines dynamiques : le surf constitue, au regard de ce que nous avons pu démontrer en amont, un indicateur de la crise requin.

[139] www.insee.fr

[140] Les nuitées sont le nombre total de nuits passées par les clients dans un établissement. Deux personnes séjournant trois nuits comptent pour six nuitées (2 personnes X 3 nuits). Six personnes séjournant une nuit chacune comptent aussi pour 6 nuitées (6 personnes X 1 nuit). C'est un indicateur fiable et largement utilisé pour l'évaluation du dynamisme touristique, notamment lors de la production des tableaux de bord du tourisme par le ministère de l'artisanat, du commerce et du tourisme.

Sur cette base, les activités plagiques et l'activité de découverte du milieu marin apparaissent comme de potentiels indicateurs de santé touristique.

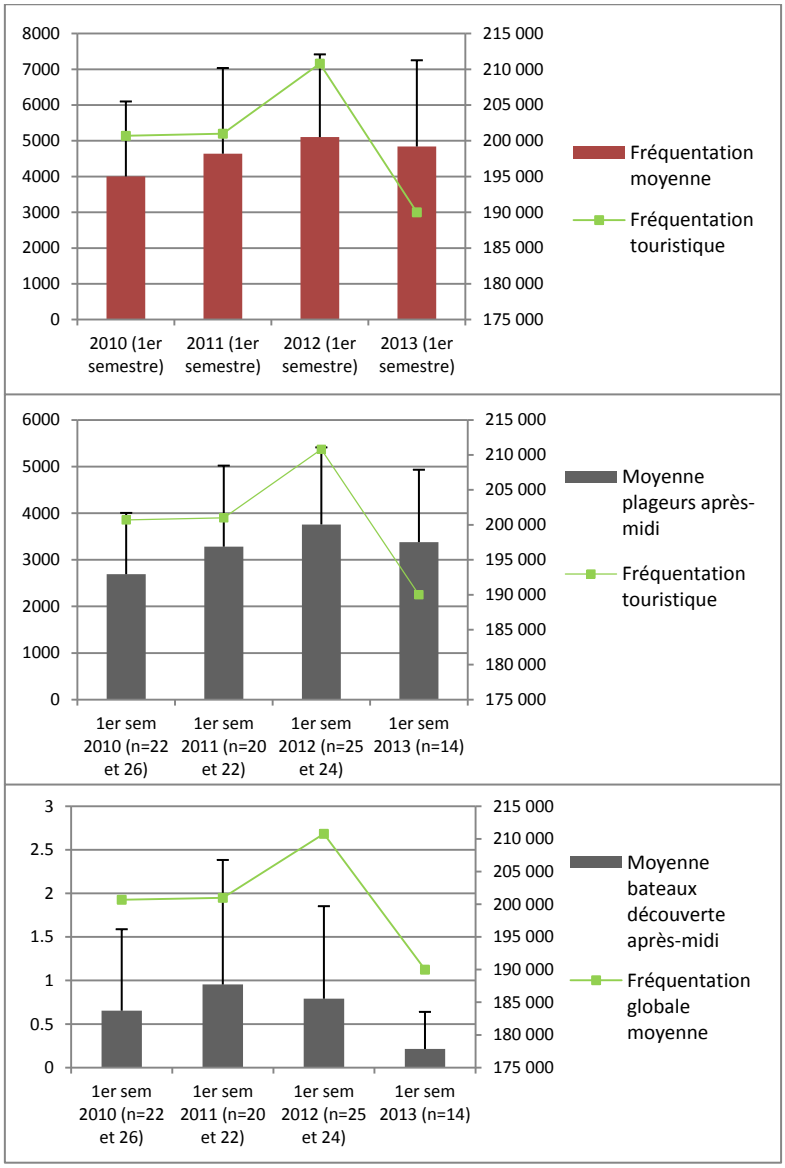


Figure 99 - Fréquentation moyenne et fréquentation touristique aux premiers semestres 2010, 2011, 2012 et 2013 pour : la fréquentation globale (en haut), les plageurs (milieu) et les bateaux de découverte (en bas)

Les conjonctures sociales et économiques qui caractérisent les années 2011-2013 ont ainsi dans une certaine mesure influé sur les scores de fréquentation, et plus particulièrement sur certains usages. À cet égard, l'année 2010 fait office d'état initial dans le cadre de cette thèse, car aucun événement, aucune crise particulière n'est venue perturber les dynamiques balnéaires. La partie suivante vise à comparer les données de l'état zéro aux données historiques de fréquentation issues des rapports de V. Cazes-Duvat et O. Pesmes (2001) et de la DDE (1982) en vue de dégager une tendance d'évolution décennale.

6.E. Comparaison historique des scores de fréquentation

Deux études portant sur la quantification de la fréquentation des plages de l'ouest de La Réunion réalisées à des fins diverses ont été identifiées. Une première réalisée en 1981 par la DDE (DDE, 1982) a visé à dénombrer les usagers des plages à des fins d'amélioration des infrastructures et des aménagements littoraux sur la commune de Saint-Paul (linéaire côtier s'étendant de Boucan-Canot à la Saline). La seconde menée par V. Cazes-Duvat et O. Pesmes entre 1999 et 2001 (Cazes-Duvat et Pesmes, 2002) a contribué à évaluer la vulnérabilité environnementale et la capacité de charge des plages du grand Ouest Réunionnais (Saint-Paul à Saint-Pierre). Les quelques comptages réalisés par E. Mirault dans le cadre de sa thèse (2006) ne sont pas mobilisés ici car les usagers de la plage et de l'arrière-plage ont été confondus et que nous ne disposons pas d'assez d'informations sur l'échantillonnage temporel adopté.

Lorsque la donnée était disponible à l'échelle des différents sites et sur la période concernée (afin de ne pas négliger l'effet saison) les données de 1981, 1999, 2000 et 2001 ont été comparées aux données de la présente étude (Tableau 36). En dépit de l'hétérogénéité des méthodologies d'acquisition déployées et des échantillonnages, et malgré le fait que ces derniers ne sont pas toujours explicités, une démarche de comparaison historique des résultats a ici été opérée. Elle laisse apparaître des écarts importants entre les résultats historiques et ceux de cette étude, se soldant, contre toute attente, par des évolutions négatives pour la plupart des sites.

Entre 1981 et 2010, pour la période de septembre/novembre, seul le site de Boucan-Canot est soumis à une hausse du nombre moyen d'observations pour les seuls plageurs (+12 %), les sites de Roches-Noires et de l'Ermitage/Saline accusant une baisse, laquelle est très importante pour l'activité de baignade. Entre juin 2000 et juin 2010, la seule hausse notable concerne le complexe Ermitage-Saline pour l'activité de plage uniquement (+53,1 %). Entre avril 2000 et avril 2010, cette hausse concerne un plus grand nombre de sites, à l'instar de Ermitage-Saline (+47 % de plageurs et +42 % de baigneurs) et Saint-Leu (+38 % de plageurs et +33 % de baigneurs). En matière de répartition relative à l'échelle des sites qui ont bénéficié d'un suivi sur la période 2000-2010, on observe la contribution grandissante du site Ermitage-Saline entre le début et la fin de la décennie 2010. Inversement, les plages "ouvertes" sur l'océan, à l'instar de Boucan-Canot, Roches-Noires et l'Etang-Salé voient leur part relative baisser sur la même période.

La hausse du nombre d'usagers qui profite à Boucan-Canot entre 1981 et 2010 peut se justifier par un effet de mode alimenté par la partie jeune de la population (18-25 ans) désireuse de se jeter "dans le grand bain" (zone de bain profonde), profiter des vagues (sports de glisse) et des services offerts (nombreux snacks-bars, sports de plage). Fortement emblématique de La Réunion balnéaire, plage la plus fréquentée par les touristes au début des années 2000 (Mirault, 2006), la proximité au chef-lieu et la desserte par le réseau de bus en font un site optimal pour cette catégorie de population, notamment pendant les vacances scolaires. Entre 2000 et 2010, la hausse de fréquentation identifiée profite aux secteurs Ermitage-Saline au détriment des sites de Boucan-Canot et de Roches-Noires. Ce constat peut s'expliquer par un regain d'attrait des populations pour le "lagon" dont les propriétés plus sécurisantes des zones de bain, l'installation de postes de maîtres-nageurs-sauveteurs et de commodités (sanitaires, restauration) séduisent un public plus familial (Mirault, 2006). D'une part elle s'inscrit dans une augmentation démographique globale de la fréquentation, qui se caractérise en local par l'installation croissante de familles venues de

métropole le long de la côte récifale (Saint-Paul, Saint-Leu), et qui affectionnent plus particulièrement le "lagon" pour le côté sécurisant qu'il peut offrir aux plus jeunes ; d'autre part, il est possible que les premiers effets de contraction des distances-temps liés à l'ouverture de la route des tamarins en 2009 soient perçus à travers les données de 2010. Déjà en 2006, les enquêtes avaient permis de déterminer que quelques usagers pouvaient traverser l'île pour atteindre les plages de l'Ermitage ou la Saline, ce qui n'était pas le cas pour Boucan-Canot dont les usagers étaient tous originaires de l'Ouest ou du Nord (Mirault, 2006). On peut postuler que cette amélioration du réseau routier a pu achever d'ancrer et amplifier ces comportements. Des enquêtes de perception sont dans tous les cas nécessaires afin de pouvoir valider ou d'invalider ces hypothèses.

Tableau 36 - Evolution historique des scores de fréquentation par les plageurs et les baigneurs pour 6 sites, entre 1891 et 2010 (sources : DDE, 1981 ; Cazes-Duvat et Pesmes, 2001).

Site	Zone	Score Sept-Nov 1981 (DDE)	Score Sept-Nov 2012 (Lemahieu)	Evolution sept-nov 1981-2012	Score juin 2000 (Cazes-duvat)	Score juin 2010 (Lemahieu)	Evolution juin 2000-2010 en %	Score avril 2001 (Cazes-duvat)	Score avril 2010 (Lemahieu)	Evolution Avril 2001-2010 en %
Boucan Canot	Plage	255	287,5	12,7	597	492	-17,6	1042	671	-55,3
	DAR + PL	95	35,2	-62,9	120	73	-39,2	342	289	-18,3
Cap Homard	Plage				43	33	-23,3	83	49	-69,4
	DAR + PL				2	6	200,0	26	26	0,0
Roches Noires	Plage	241	131,5	-45,4	585	243	-58,5	651	312	-108,7
	DAR + PL	75	17,5	-76,7	383	45	-88,3	177	173	-2,3
Ermitage et Saline	Plage	1680	1628,2	-3,1	1829	2800	53,1	1813	3454	47,5
	DAR + PL	918	413,75	-54,9	862	504	-41,5	1354	2351	42,4
Saint-leu	Plage				105	406	286,7	351	568	38,2
	DAR + PL				113	72	-36,3	308	462	33,3
Etang-salé	Plage				688	576	-16,3	1452	814	-78,4
	DAR + PL				366	160	-56,3	652	401	-62,6
Totaux					**5693,0**	**5410,0**	**-5,0**	**8251**	**9570**	**16**

Conclusion du chapitre 6

Entre 2010 et 2012, la fréquentation moyenne a augmenté sensiblement et de façon constante (+10 %), une augmentation visible notamment en saison hivernale, pendant les périodes de vacances scolaires. L'évolution n'a pas été semblable au sein des différentes périodes, étant marquée pour les week-ends en période scolaire par des fluctuations (-6,2 % entre les premiers semestres 2010 et 2011 et +10,9 % entre les premiers semestres 2011 et 2012) qui font écho à la fréquentation touristique des premiers semestres (+0,14 % entre les premiers semestres 2010 et 2011 et +10,9 % entre les premiers semestres 2011 et 2012). Sur cette période, nous avons observé une dynamique duale d'augmentation de la fréquentation moyenne pour certaines activités (activités de pêche, paddle, canoë-kayak, etc.) et de baisse pour d'autres (activités plagiques, surf, découverte du milieu marin, plongée sous-marine, etc.) (annexe 12).

Spatialement, les évolutions ont été marquées par une très forte variabilité touchant les sites de l'Ermitage et de Boucan-Canot ou Roches-Noires, explicables en partie par la crise requin qui a induit des reports d'usagers des sites "à danger" (Boucan-Canot ou Roches-Noires pour leur zone de bain en plein océan) aux sites "sécurisés" par le front récifal (zone de l'Ermitage). Plus fortement impactés par la crise requin qui touche l'île depuis 2011, ces bouleversements ont plus spécifiquement concerné les activités plagiques, les plongeurs sous-marins et les surfeurs qui ont vu leur nombre moyen baisser et/ou leur dynamique de répartition spatiale affectée.

Nous avons pu voir que les facteurs agissant sur la répartition étaient nombreux, qu'ils soient pérennes ou événementiels. Originellement dictée par le niveau d'équipement et de services des sites, la fréquentation plagique se montre sensible à la conjoncture (crise requin, tourisme). C'est également le cas des activités de découverte du milieu marin qui paraissent affectées par les fluctuations du tourisme. Les données de 2013 laissent présager une amorce d'un retour au schéma de fréquentation initial, doublé de l'apparition de nouvelles dynamiques spatiales d'appropriation de sites jusque-là peu ou pas fréquentés.

Conclusion partielle

Relativement pionnière en milieu tropical récifal, cette étude de fréquentation menée sur 4 ans (2010-2013) a permis la constitution d'une base de données conséquente permettant de décrire la répartition spatio-temporelle de 15 usages à une bonne résolution spatiale (zonage de 44 kilomètres de long composé de 113 zones) et à une bonne résolution temporelle (8 vols par mois en moyenne entre janvier et juillet 2010-2012 et 2 vols par mois entre août 2012 et août 2013). Cet effort d'échantillonnage spatio-temporel a été rendu possible par le déploiement d'une méthode aéroportée garantissant un bon rapport distance-temps (44 kilomètres en 50 minutes) et mobilisant un seul observateur.

Lancé une année avant que la crise requin ne vienne frapper l'île en 2011, le suivi de fréquentation a présenté l'opportunité de constituer une base de connaissance initiale sur les aspects quantitatifs de la fréquentation et sur sa répartition spatio-temporelle en contexte politico-social neutre. Constituée à 90 % plageurs et de baigneurs, elle se répartit préférentiellement autour de "foyers", à l'instar des secteurs de l'Ermitage pourvus en commodités (postes de MNS) et présentant un bon niveau d'accessibilité et d'équipement en parkings. Dans ces secteurs, lors de journées "pic" comme celle du 22 avril 2012, on peut compter jusqu'à 1,8 usager au mètre linéaire, ce qui, au regard de la faible largeur de l'estran (une vingtaine de mètres en moyenne) représente une pression non négligeable.

L'état initial 2010 constitue une information précieuse pour le gestionnaire et les acteurs du territoire. D'une part il a permis de dépeindre les schémas de répartition initiaux de la fréquentation globale et des différents usages ; d'autre part il a mis en exergue le rôle attractif de nombreux paramètres sur les dynamiques de répartition. L'accessibilité, et le pourvoiement des sites en commodités apparaissent comme des critères fondamentaux de répartition. Ces sites, déjà relativement très fréquentés au début des années 1980 (cf.6.E.), s'avèrent présenter des aménités appréciées du public (plans d'eau récifaux appelés à défaut "lagons", sable blanc, arrière-plages ombragées, etc.) ce qui pourrait justifier qu'ils aient fait l'objet d'aménagements qui font aujourd'hui leur succès. La mise en évidence de ce lien est primordiale en ce qu'il permet de mieux éclairer les politiques d'aménagement littoral.

D'une façon générale, la fréquentation nautique et balnéaire a montré dans son évolution une tendance à la hausse entre 2010 et 2012. Ces tendances qui sont également observées pour les activités de pêche à pied (+25,1 % entre 2010 et 2012), ou pour la plupart des activités nautiques à l'instar du palmes-masque-tuba (+25,9 %), ne se vérifient pas pour certaines activités soumises à une baisse à l'instar de la plongée sous-marine (-35,5 %) ou le surf (-34,5 %). Les évolutions observées entre 2010 et 2013 ont été très marquées par le contexte de crise induit par les attaques de requins à répétition. Le nombre d'usagers et la répartition spatio-temporelle des activités plagique (baignade notamment), de surf ou de plongée sous-marine s'en sont retrouvés les plus affectés sur cette période. Alors que certains stigmates de cette crise requin sont encore visibles aujourd'hui, un retour à la "normale", c'est à dire au schéma de répartition initial, semble s'amorcer en 2013 (cf. 6.D.1.3.).

Si le lien entre la crise requin et les baisses des fréquentations touristique et balnéaire ne peut être ici scientifiquement établi pour cause d'un manque de données suffisantes, nos résultats ont démontré qu'il pouvait constituer une hypothèse solide permettant d'envisager la construction d'indicateurs sociaux. La mise en évidence de ces relations entre les divers usages et les conjonctures

touristique et politico-sociale est importante en ce qu'elle contribue à améliorer la gestion par la définition d'indicateurs et à mieux orienter les politiques de gestion et d'aménagement de ces "espaces périnéritiques" (Raffestin, 1986).

PARTIE 3. Les données de fréquentation à l'épreuve de l'opérationnel

"Geography as a great intellectual melting pot and the preeminent interdisciplinary environmental discipline"[141]

(Skole, 2004)

L'une des orientations majeures du plan stratégique pour la biodiversité 2011-2020 a été une réduction des pressions anthropiques sur les récifs coralliens et autres écosystèmes côtiers vulnérables[142]. Cette référence aux pressions d'origine humaine répond à un constat de mise en difficulté croissante des missions de conservation confiées aux gestionnaires d'AMP face à des degrés toujours plus élevés d'interaction entre l'homme et le milieu. Sur la trentaine de références mobilisées pour cette étude, 23 sont déployées sous la tutelle, ou en collaboration avec un gestionnaire dans un contexte d'AMP. La plupart des études de fréquentation sont adossées à un plan de gestion, ou des programmes scientifiques en collaboration avec un gestionnaire. Qu'elles soient qualitatives, quantitatives ou comportementales, les données socio-économiques sont cruciales pour le gestionnaire. Certains auteurs postulent même, à juste titre, qu'elles devraient arriver en amont de l'établissement d'une AMP en guise de prédiagnostic (Mirault, 2006 ; Thomassin, 2011), ce qui permettrait sans doute d'anticiper un certain nombre d'obstacles tels que les conflits d'usages ou un défaut d'acceptabilité de la part des usagers, comme le rappellent R.V. Salm *et al.* (2000)[143].

Cette partie vise à explorer la dimension appliquée de cette thèse à travers une contribution aux objectifs de gestion par le biais d'indicateurs relatifs aux usages, et à la recherche multidisciplinaire à travers l'intégration de notre suivi au réseau de suivis existants. En vue d'explorer nos données à travers le prisme de la gestion, nous détaillerons la méthodologie empruntée pour le développement d'indicateurs de gouvernance et de pression. De même, nous présentons les démarches entreprises pour confronter les données de pression aux données du milieu (chapitre 7). Alors que de plus en plus de programmes se montent autour de la conservation et du suivi des récifs coralliens, l'intégration des données écologiques et économiques est souvent souhaitée, rarement concrétisée. Cette démarche se confronte effectivement à la difficile mise en commun des jeux de données, dont la nature, le mode d'acquisition et l'unité diffèrent en fonction des besoins de l'étude.

Alors que chaque vol réalisé a constitué une opportunité de reporter les infractions à la réglementation observées, le chapitre 8 présente les résultats de l'analyse comparée entre nos observations d'infractions et les données sur l'effort de surveillance déployé par le GIPRNMR. De la même façon, un nombre d'usagers rapporté à une unité de surface constitue une donnée de pression dès lors qu'il existe un enjeu environnemental. Or les problématiques des impacts sous-tendent toujours les orientations scientifiques prises par les gestionnaires. Une cartographie des

[141] "La Géographie en tant que *melting pot* intellectuel et qu'éminente discipline environnementale interdisciplinaire"

[142] Site internet de l'Agence des Aires Marines Protégées [URL:http://www.aires-marines.fr/Partager/Relations-internationales/Convention-sur-la-diversite-biologique]

[143] "*The success of either depends on the existence of appropriate legal frameworks, acceptance by coastal communities, an effective and well supported management system, and the delineation of areas so their boundaries are clear and they can be treated as self-contained units*".

pressions au regard de différents types d'impacts identifiés dans la littérature est ainsi réalisée. Enfin, un tableau de métriques et d'indicateurs de gouvernance et de pression potentiels est élaboré sur la base des analyses et des relations mises en exergues dans le cadre de cette thèse. Étant donné que l'intégration d'indicateurs ne peut s'envisager sans la pérennisation du suivi, une discussion relative au potentiel reproductible du suivi est engagée à la lumière des expériences menées par ailleurs et débouche sur un ensemble de recommandations pour une mise en observatoire.

Le dernier chapitre 9 engage une démarche exploratrice et pionnière à La Réunion visant à explorer le potentiel des données de fréquentation en matière d'intégration disciplinaire. D'une part, les cartographies sur la sensibilité récifale et la répartition des densités d'observations de tortues vertes sont croisées avec la cartographie des pressions afin d'opposer les pressions aux enjeux, et d'évaluer le niveau de vulnérabilité et de risque d'impacts. D'autre part, dans une approche spatialisée, près d'une dizaine de jeux de données écologiques renseignant sur l'état du benthos (algues, couverture corallienne), des coraux (reproduction des coraux, maladies des coraux) ou des poissons (herbivores, carnivores et corallivores) sont ainsi confrontés à des données relatives aux niveaux de pressions directes (fréquentation) et indirectes (teneur en nitrates) pour l'évaluation des interrelations Hommes-milieu à travers le diagnostic sur l'état de santé récifale.

Chapitre 7. Démarche pour l'intégration interdisciplinaire et contribution aux enjeux de gestion en contexte réunionnais

On distingue trois grands ensembles d'indicateurs pouvant potentiellement être produits pour évaluer la performance d'une AMP (cf. 2.B.1.1.) : les indicateurs biophysiques, socio-économiques et de gouvernance (Pomeroy, 2005). Dans chacune de ces catégories, nous avons pu montrer que les données d'usages étaient parfois sollicitées pour contribuer au développement d'indicateurs (cf. 2.B.2.) utiles à la gestion. Ainsi, à l'échelle de notre terrain d'étude, le gestionnaire promeut des démarches scientifiques intégrées en matière de suivis de l'éco (socio) système corallien (cf. 3.C.4.), remettant ainsi au goût du jour les suivis socio-économiques.

L'objectif de ce chapitre est double : d'une part il vise à détailler la méthodologie qui nous a servis à explorer les données d'usages à travers le prisme de la gestion en vue de développer des indicateurs de gouvernance et de pression. La base de données nous permet d'identifier des métriques susceptibles de renseigner sur l'efficacité de gestion par le gestionnaire en questionnant la répartition spatio-temporelle des usages qui entrent en conflit avec la réglementation. En outre, toute observation ramenée à une surface constitue une information sur la pression anthropique directe observée. Cette dernière est cartographiée de façon thématique au regard de problématiques spécifiques identifiées dans la bibliographie existante.

D'autre part, ce chapitre présente les jeux de données tiers qui ont pu être obtenus en vue de procéder à une analyse des interactions Hommes-milieu. L'essentiel de la démarche consiste en des cartographies croisées Hommes-milieu lorsque les couches d'information existent (sensibilité récifale, densités d'observations de tortues), et une analyse exploratoire sur la disponibilité spatiale et temporelle d'une dizaine de suivis menés en 2011 dans le périmètre de la réserve marine. L'enjeu est d'identifier une échelle d'analyse pertinente pour l'étude des relations entre bio-indicateurs et indicateurs de pression.

7.A. Cartographie des infractions observées entre 2010 et 2013 : vers la production d'indicateurs sur l'efficacité de gestion

En vue d'évaluer dans quelle mesure des indicateurs de gouvernance peuvent être produits sur la base d'une comparaison entre les observations d'infractions et l'effort d'échantillonnage par les écogardes sur le terrain, une démarche recourant aux outils cartographiques et de statistiques descriptives simples est ici présentée.

7.A.2. Objectifs

Nous cherchons ici à identifier des métriques qui nous renseigneront sur la capacité du gestionnaire à rendre sa gestion efficace. Les niveaux de réglementation de la réserve concernent tous les usages. Pourtant certains sont davantage contraints par la réglementation, soit parce qu'ils sont extractifs et à potentiel d'impact, soit parce qu'ils sont à l'origine de conflits d'usages par ailleurs déjà identifiés (Thomassin, 2011). Le respect des règles dictées par le décret de création de la réserve et les différents arrêtés sont un gage de i) l'acceptation de la réserve par les usagers, ii) la connaissance par les usagers de la réglementation en vigueur et par là même constituant un indicateur de l'efficacité des politiques de communication et de sensibilisation, iii) l'efficacité du dispositif de signalisation et de démarcation des zones (bouées).

Lors de chaque vol est rapporté le nombre d'observations par type d'activité et par zone. En interprétant les données à travers une nouvelle grille de lecture, celle de la réglementation, nous obtenons des données spatialisées sur les infractions. Ces infractions peuvent être de plusieurs types, dépendant de la nature de l'activité de la zone dans laquelle l'usager ou le groupe d'usagers a été observé, et de l'heure au moment du passage de l'appareil (ici 10h00 ou 15h30).

7.A.3. Données mobilisées

7.A.3.1. Les pêches

Les activités de pêche sont soumises à une réglementation complexe, dépendante du statut (professionnel ou de loisir) des engins utilisés, du créneau horaire, etc. Une zonation intégrant toutes ces spécificités définit plusieurs niveaux de la zone sanctuaire interdisant toute activité à la zone autorisée à la pêche (Figure 100). Nous nous servons de ce zonage pour diagnostiquer les infractions à la réglementation par les pratiquants :

- de pêche à pied traditionnelle dans le "lagon"
- de chasseurs sous-marins

Le protocole aérien de suivi de fréquentation ne permettant pas d'accéder à un niveau d'information plus poussé concernant l'activité de pêche à pied traditionnelle (détention de licence, espèces ciblées, nombre et poids des captures), certains types d'infractions ne pourront être identifiés, à l'instar du non-respect des zones de pêche professionnelle par les pêcheurs en bateau (distinction des bateaux professionnels des bateaux de plaisance difficile depuis l'aéronef).

7.A.3.1.1. La pêche à pied traditionnelle

Les colonies coralliennes qui peuplent les zones récifales faisant office de nurserie pour de nombreuses espèces de poissons récifaux ou pélagiques, l'activité de pêche à pied traditionnelle qui se pratique à pied à même le récif s'est vue imposer un cadre réglementaire dès l'institution de la

réserve marine en 2007 afin de maitriser l'"effort de pêche[144]" (Fleury *et al.*, 2012). Depuis, 800 permis de pêche sont délivrés chaque année, et la pratique limitée à certaines zones et durant certains créneaux horaires. La demande en permis de pêche dépassant le nombre de permis délivrés[145] laisse supposer en outre qu'un nombre non déterminé de pêcheurs à pieds pratique hors cadre réglementaire (Fleury *et al.*, 2012).

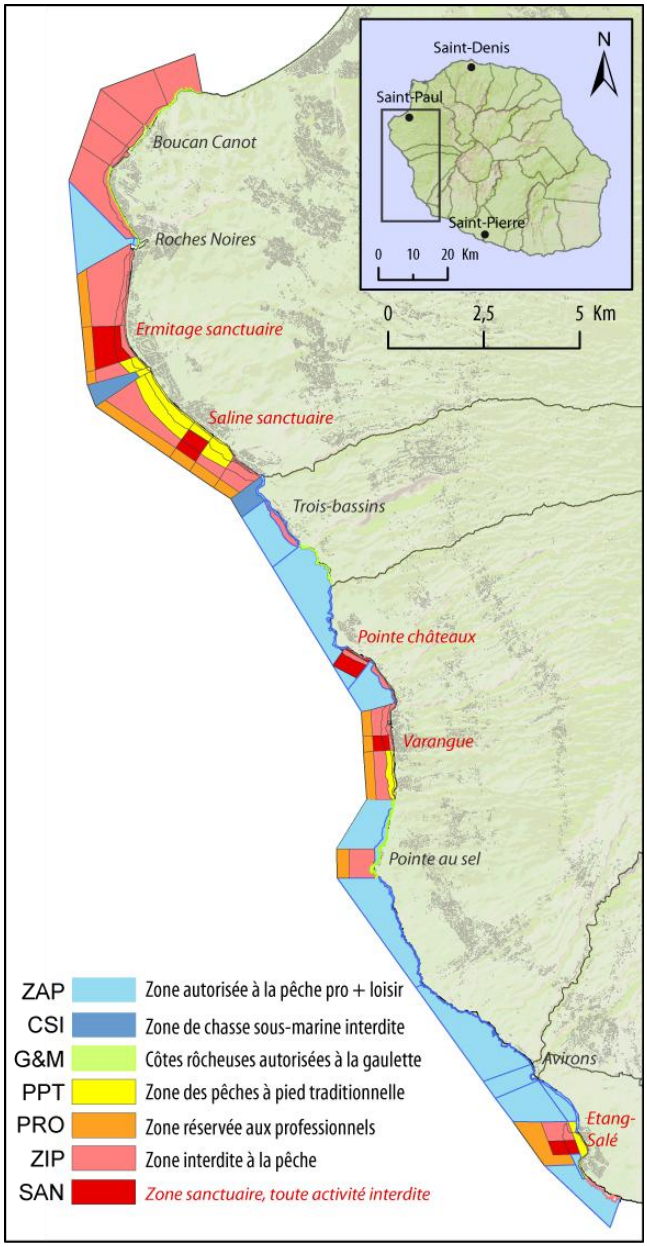


Figure 100 - Cartographie du zonage réglementaire s'appliquant aux activités de pêche au sein de la réserve marine.

Ne pouvant distinguer depuis l'aéronef une technique de pêche d'une autre, nous considérons une seule et même catégorie de pêche à pied de récif, dont le territoire légal de pratique (Zones autorisées à la pêche traditionnelle ou PPT) est représenté sur la Figure 100 en jaune et englobe les territoires de pratiques cumulés des sous-catégories de pêche (au capucin, au "*zourites*"[146] et à la gaulette). Nous sommes en mesure à partir des données collectées dans le cadre de cette thèse de dresser un diagnostic spatio-temporel pour deux types d'infractions :

- celles perpétrées dans le périmètre des zones interdites à la pêche (ZIP), et ce quel que soit le créneau horaire. Les données des vols du matin et de l'après-midi peuvent être mobilisées pour ce diagnostic.
- celles perpétrées dans le périmètre des zones autorisées à la pêche traditionnelle (PPT), en dehors des créneaux horaires d'autorisations attribuées aux divers types de pêche. Aucune n'étant autorisée l'après-midi, seules les données des vols de l'après-midi seront donc mobilisées à cette fin.

Ne pouvant par ailleurs pas vérifier si les pêcheurs observés sont en détention d'une licence de pêche, et étant confrontés à plusieurs de niveaux de réglementation (ZIP, PPT, zones intégrales de protection), nous procédons à un diagnostic par moments de la journée :

[144] L'effort de pêche est défini par la Commission Européenne comme la capacité de pêche multipliée par l'activité [URL: http://ec.europa.eu/fisheries/documentation/publications/cfp_factsheets/fishing_effort_fr.pdf]
[145] Autorisation de 800 permis par an par l'arrêté préfectoral 4038 du 26 novembre 2007
[146] Nom localement donné au poulpe

- les infractions du matin qui incluent les observations faites en ZIP et en zones de protection intégrale ;
- les infractions de l'après-midi qui incluent les observations faites en PPT, ZIP et zones de protection intégrale. Toute présence sur le récif d'un pêcheur à pied traditionnel l'après-midi à l'intérieur d'une ZAP est considérée comme une infraction puisque sa pratique n'est autorisée par arrêté préfectoral que de 5h à 12h (AP n°4038 du 15/07/08).

7.A.3.1.2. La chasse sous-marine

La fréquence des infractions commises par les chasseurs sous-marins constitue un indicateur à la fois de l'efficacité de gestion à la fois du degré d'acceptabilité du dispositif réglementaire par les chasseurs. La fréquence a été calculée à partir du cumul des observations annuelles faites depuis 2010 dans les zones non autorisées à la pratique de la chasse sous-marine, ramenées au nombre de vols. Le zonage d'interdiction à la pratique de cette activité intègre les zones interdites à la pêche (ZIP), les zones de protection intégrales dites sanctuaire, et les zones interdites à la chasse sous-marine (CSI). Toute observation faite dans ces zones, à toute heure, est considérée *de facto* comme une infraction à la réglementation.

7.A.3.2. Tous usages : une mesure du respect des zones sanctuaires

Au sein des zones intégrales de protection ou zones sanctuaires ("*no-take area*" dans la littérature anglophone), toutes les activités sont prohibées. Il existe 4 zones sanctuaires au sein de la réserve marine, chacune étant constituée d'une zone de platier et d'une zone de pente externe : Ermitage sanctuaire, Saline sanctuaire, Saint-Leu, Pointe Châteaux et Etang-Salé. Toute observation faite au sein de ces zones, indépendamment de type d'usage et de l'heure, constitue par défaut une infraction.

La métrique permettant d'évaluer le degré de respect des zones sanctuaires est élaborée à partir du cumul annuel des observations faites au sein des zones sanctuaires (4 secteurs constitués chacun de 2 zones, soit 8 zones au total). Une métrique complémentaire pourra indiquer l'usage prévalent dans le compte des infractions.

7.A.3.3. L'effort de surveillance par le GIPRNMR

Afin de confronter nos observations à la réalité terrain, nous avons mobilisé des données issues d'une base de données d'observations faites par les écogardes depuis 1997. Cette base de données recense les observations, infractions ou non, faites lors de chaque mission sur le terrain. Sur la période sélectionnée pour les besoins de notre étude, plus de 13 000 observations réalisées à toute heure du jour et de la nuit ont été réalisées par les écogardes du GIPRNMR. Nous avons appliqué un niveau supplémentaire de sélection en ne retenant que les observations faites par les écogardes au sein des créneaux horaires correspondant à notre échantillonnage fréquentation c'est-à-dire entre 10h00 et 11h00 (vol du matin) et entre 15h30 et 16h30 (vol de l'après-midi). Si plusieurs missions ont été réalisées durant ces deux laps de temps, elles ont fait l'objet d'un regroupement sous un numéro de "mission" attribué pour les besoins de cette étude. Au total 481 missions ont été identifiées sur la totalité des années 2010-2013 (Tableau 37), et 371 sur la période janvier-juillet qui nous concerne, ce qui correspond à 2 229 observations.

Tableau 37 - Effort de surveillance par le GIPRNMR, en nombre de "mission", entre 2010 et 2013 sur la période de janvier à juillet échantillonnée dans le cadre de cette thèse

	2010	2011	2012	2013
Nombre de missions	94	97	102	78
Nombre d'observations	486	672	590	481
Nbre d'observations par mission	**5,17**	**6,93**	**5,78**	**6,17**

7.A.4. Échantillonnage spatial et temporel

L'échelle spatiale privilégiée ici est la commune, puisqu'elle est un niveau géographique privilégié dans la gestion des données d'observations par le GIPRNMR. Les communes limitrophes de la réserve marine sont Saint-Paul, Trois-Bassins, Saint-Leu, les Avirons et l'Etang-Salé.

Étant donné que les missions de surveillance par les écogardes ne sont pas réalisées en simultané des vols en ULM et qu'une mission de terrain se fait ponctuellement et ne couvre pas la totalité de la réserve, les deux jeux de données sont difficilement comparables spatialement et temporellement, faute de réplicas. Nous avons donc choisi d'agréger la donnée à l'échelle supérieure de la période que nous échantillonnons, à savoir de janvier à juillet.

7.A.5. Comparaison des données

La répartition spatio-temporelle des infractions constatées dans le cadre de cette étude ont été comparées à l'effort de surveillance afin d'évaluer dans quelle mesure un "effet surveillance" qui soit dissuasif existe, à savoir si le nombre d'observations d'infractions est inversement corrélé à l'effort de surveillance. Ce lien n'est pas testé statistiquement car il est étudié à l'échelle annuelle ce qui réduit le nombre de réplicas à 4 (2010-2013). L'élaboration d'une métrique renseignant le gestionnaire sur l'efficacité de surveillance est alors discutée.

7.B. Cartographie thématique des pressions anthropiques directes et cartographies croisées pressions/vulnérabilité

Dans cette partie sont produites des cartes thématiques de pressions anthropiques directes et des cartes de sensibilité récifale et de densités d'observations de tortues vertes sont mobilisées pour illustrer la démarche de cartographie croisée pressions-vulnérabilité.

7.B.1. Cartographie des pressions anthropiques directes

Nous l'avons vu, tous les impacts occasionnés par les divers usages pratiqués en milieu marin sont dits "directs", puisque causés par un contact Hommes-milieu. On se propose ici d'envisager la fréquentation à travers le prisme de la pression sur le milieu. Toute interaction entre l'homme et le milieu marin occasionne un contact (ce que l'on a qualifié plus tôt d'impact "direct", cf. 1.C.2.2.), et tout contact induit, indépendamment de sa durée et des engins mobilisés, des conséquences (dérangement de la faune, dommages causés à la faune ou l'habitat, érosion, etc.). Il n'est pas question ici d'estimer les impacts induits, ni d'établir de liens de cause à effets entre l'usage et l'état du milieu, mais plutôt de faire état des pressions existantes, ce qui peut également s'envisager comme un diagnostic du "risque d'impact" sur le milieu.

7.B.3.1. Objectifs

Tout usage présente un risque d'impact sur le milieu marin. En fonction de ses propriétés, les impacts induits ne seront pas de même nature. Ces associations usages-impacts ont très peu été explorées dans la littérature scientifique, car il est méthodologiquement difficile et fastidieux (observation longue ou haute fréquence de suivi nécessaire) d'établir des relations de cause à effets. Les références bibliographiques ayant visé à analyser ce lien ont été rassemblées dans un tableau en partie 1.C.2.2.

À partir d'une cinquantaine de références et des caractéristiques de plus de 90 AMP réparties dans 36 pays, R.H. Thurstan *et al.* (2012) ont élaboré un indice synthétique représentant le risque d'impact associé à une quinzaine d'usages non extractifs. Visant à une généricité, il est élaboré sur une échelle de 0 (impact nul) à 4 (impact élevé), à partir de la moyenne des scores pour les divers types impacts potentiels que l'usage peut occasionner (risques de piétinement, de collision avec la faune, d'impact sur le comportement animal, etc.). Ce type de démarche, à défaut de pouvoir quantifier les impacts, permet d'envisager une quantification des pressions exercées.

Les pics de fréquentation observés permettent de représenter la pression à un instant T, ce qui ne saurait en aucun cas être représentatif de la pression réelle exercée. De nombreux événements peuvent mener à une surreprésentation d'usagers à un endroit donné, sans que ce soit représentatif d'une dynamique à long terme. Le choix est donc fait de recourir aux cumuls des observations de T0 à T3, soit de 2010 à 2012, afin de cartographier les pressions cumulées sur la période étudiée. L'accent est ici mis sur la démarche, l'échelle interannuelle étant bien trop courte pour pouvoir prétendre à analyser l'évolution des pressions.

Comme nous avons pu le voir en 1.C.2.2., et hors impacts sociaux, les types d'impacts environnementaux pouvant être associés à la présence humaine sont de deux types : directs ou indirects. Dans le cadre de cette thèse, et compte tenu du fait que nous ne disposons que de données quantitatives, seuls les impacts directs seront ici étudiés. Plus précisément, c'est le "risque d'impact direct" qui sera ici étudié à la lumière du potentiel impactant des activités pratiquées au sein de la réserve. L'objectif de cette partie est de développer une méthode standardisée de cartographie du risque d'impact direct à l'échelle de la RNMR et de bâtir sur cette base des indicateurs de pression.

7.B.3.2. Classification des types de pressions diagnostiquées et attribution d'un poids

D'après les classifications existantes dans la littérature, nous avons identifié 4 types d'impacts (Thurstan *et al.*, 2012) (cf. 1.C.2.2.) :

- Type 1 : le dérangement de la faune, ce qui implique par défaut toutes les activités humaines impliquant un rapport physique avec le milieu marin. Qualifiées de "perturbantes", les usages pratiqués sur le domaine marin sont définis comme des "actions qui interfèrent avec le fonctionnement normal des populations et qui dépassent (les effets liés à) la variabilité naturelle de l'écosystème"[147] (Thurstan *et al.*, 2012) ;
- Type 2 : le prélèvement dans la ressource, pouvant impliquer un déséquilibre trophique, impacts sur l'abondance, la taille et la biomasse ;

[147] *"acts that interfere with the normal functioning of populations beyond the natural variability of the ecosystem''*

- Type 3 : l'impact dit "mécanique" (de "*mechanical impacts*") sur le substrat et les habitats causé par une interaction trop abrupte qui se traduit par des cassures sur le corail, l'abrasion des tissus, les blessures infligées aux animaux, etc. ;
- Type 4 : l'impact physico-chimique pouvant être causé au niveau des usages par les hydrocarbures rejetés par les moteurs de bateaux, catégorie qui implique par défaut toute activité nécessitant un engin à moteur.

Chaque usage étudié dans le cadre de cette thèse peut être associé à au moins une des catégories susnommées, et leur répartition spatio-temporelle nous permet de mieux identifier et spatialiser le risque d'impact. Nous avons choisi ici de nous limiter à la caractérisation de 3 types de risques d'impacts (Tableau 38) :

- les risques d'impacts liés à la ressource, ce qui implique les activités de pêche principalement (pêche à pied, pêche embarquée, chasse sous-marine) ;
- les risques d'impacts physico-chimiques associés aux activités recourant à l'utilisation d'un engin motorisé (jet-ski, pêche embarquée, découverte du milieu marin[148], plongée sous-marine)
- les risques d'impacts mécaniques, une catégorie pouvant être déclinée en plusieurs sous-catégories :
    - le risque de collision/dérangement avec/de la mégafaune. A La Réunion, les populations de tortues vertes (*Chelonia mydas*) sont de plus en plus nombreuses (Jean *et al.*, 2010), et des populations de cétacés sédentaires ou de passage bien connues et suivies des nombreuses associations[149] (jet-ski, pêche embarquée, découverte du milieu marin, plongée sous-marine, sports de glisse). Les impacts induits par les collisions entre engins et mégafaune sont bien connus et documentés (Hazel *et al.*, 2007) ;
    - le risque détérioration du substrat corallien, qui concerne les activités principalement pratiquées sur les plans d'eau récifaux de faible profondeur (baignade, PMT, canoë-kayak, paddle, pédalo, kitesurf, windsurf, surf).

Tableau 38 - Classification des usages étudiés par types d'impacts associés

Ressource	**Impact mécanique**		**Impacts Physico-chimique**
	Sur récif	*Sur mégafaune*	
Pêche à pied Pêche embarquée Chasse ss.-marine	Baignade PMT Canoë-kayak Paddle Pédalo Kitesurf Windsurf Surf Plongée ss.-marine	Jet-ski Pêche embarquée Découverte du milieu Plongée ss.-marine Kitesurf Windsurf Surf	Jet-ski Pêche embarquée Découverte du milieu Plongée ss.-marine

[148] Tous les engins répertoriés dans cette catégorie sont motorisés

[149] Associations de protection et de suivi des cétacés dans les eaux réunionnaises Globice [URL: www.globice.org] et Abyss [URL: www.abyss.re]

En recourant à l'utilisation d'un engin motorisé pour accéder à leurs sites de pratique, certains usages ont un impact double. C'es le cas de la plongée sous-marine, ou de certaines formes de pratique de la chasse sous-marine. C'est pourquoi certains usages se retrouvent dans plusieurs catégories d'impacts. Afin de mesurer la pression liée à l'impact sur la mégafaune, nous avons considéré tous les engins à moteur et/ou pouvant atteindre des vitesses qui ne permettent pas à la faune d'éviter l'impact (sports de glisse aérotractés).

7.B.3.3. Pondération par un score d 'impact associé aux usages non extractifs

La bibliographie relative à la caractérisation des pressions et la quantification des impacts nécessaires à mieux évaluer les risques d'impacts est quasi inexistante. Sur la base de données sur les usages de plus de 90 aires marines protégées à travers le monde, R.H. Thurstan *et al.* (2012) ont dressé une typologie des usages non extractifs au regard de leur risque d'impact**.** Chaque usage a été exploré à travers divers types d'impacts (du dérangement de la faune à l'impact mécanique) et scoré de 0 (impact nul) à 4 (impact sévère). Les scores ont ensuite été moyennés, pour obtenir un coefficient d'impact allant de 0,3 à 3,7[150] (Tableau 39). Cette étude étant l'une des seules existantes à ce jour, elle a servi d'étude de référence pour l'évaluation des pressions et du risque d'impact associé sur le périmètre de la RNMR.

Tableau 39 - Score des usages non extractifs détenant un potentiel d'impact, adapté de la classification de Thurstan *et al.* (2012)

Activité	*Changement comportement*	*Blessures Stress*	*Collision*	*Pollution*	*Érosion*	*Piétinement et resuspension sédiments*	*Score moyen risque*
Jet Ski	3	4	4	3	4	4	3,6
Plongée ss.-marine	3	4	4	3	3	4	3,5
PMT	3	4	4	3	3	4	3,5
Bateaux	3	4	4	3	4	2	3,3
Scientifique	3	4	4	3	3	3	3,3
Kitesurf/windsurf	2	2	2	0	2	2	1,6
Canoë-Kayak/pédalo/paddle	1	2	1	0	2	4	1,6
Surf	1	2	1	0	2	3	1,5
Baignade	1	2	0	0	2	4	1,5

7.B.3.4. Pondération par un score d'impact associé aux usages extractifs

La classification opérée par Thurstan *et al.* (2012) n'intégrant pas les usages extractifs, nous avons reproduit sa démarche à partir de la bibliographie que nous avons pu identifier pour attribuer un score moyen de risque aux activités extractives que sont les activités de pêche (cf. 1.C.2.2.). En sus, une colonne visant à scorer l'impact lié au prélèvement dans la ressource est ajouté par nos soins (Tableau 40).

[150] Les auteurs ont scoré pour 16 activités non extractives le risque d'impact dans des conditions optimales (impact minimal car bon niveau de maitrise de l'activité) et non optimales (impact maximal car niveau amateur du pratiquant) (Thurstan *et al.*, 2012). Seuls les scores relatifs aux plus hauts niveaux d'impacts, soit qui sont liés au faible niveau des pratiquants, ont été retenus.

Toutes les activités de pêche sont considérées comme étant égales face aux risques de blessures et de stress infligé à la faune, et le score maximal a été attribué. La pêche embarquée présente les mêmes risques que les autres activités nécessitant un engin motorisé en ce qui concerne les impacts sur les comportements, les blessures, risques de collision, la pollution ou encore l'érosion. La chasse sous-marine se compare aux activités de PMT ou de plongée, à la différence près que les impacts sur les comportements sont plus prégnants. En matière de pollution, nous avons attribué un score d'impact minime à la chasse sous-marine, peu habitués à laisser derrière eux du matériel ou restes d'appâts. En revanche il est plus important pour la pêche à pied depuis la côte, une pratique très polluante de par les nombreuses lignes, hameçons, appâts et leurres coincés dans le substrat ou abandonnés sur la côte. Enfin, la pêche à pied traditionnelle de récif s'illustre davantage par le risque de piétinement du substrat et de dérangement de la faune.

Tableau 40 - Score des usages non extractifs détenant un potentiel d'impact, réalisé à partir de la bibliographie et inspirée de la classification de Thurstan *et al.* (2012)

Activité	*Changement comportement*	*Extraction ressource*	*Collision*	*Pollution*	*Érosion*	*Piétinement et resuspension sédiments*	*Score moyen risque*
Pêche embarquée	3	3	4	4	4	2	3,3
Chasse sous-marine	4	4	1	1	3	4	2,8
Pêche à pied traditionnelle de récif	4	2	0	1	3	4	2,3
Pêche à pied à la côte	2	2	0	2	2	1	1,5

A la différence des activités extractives, les activités de pêches se soldent davantage par une issue fatale pour la prise que par une" blessure" ou un "stress" infligés. Aussi, nous avons remplacé le paramètre "blessures et stress" par celui du niveau "d'extraction dans la ressource". Les scores ont été attribués d'après la littérature locale, plaçant la chasse sous-marine au premier rang en termes de prélèvement ou CaPture par Unité d'Effort (CPUE)[151] (Fleury *et al.*, 2012) et de façon relative en ce qui concerne la pêche embarquée, aucune production scientifique ou rapport ne proposant une grille de comparaison des CPUE par type de pêche. Afin de ne pas "diluer" l'effet des activités extractives, par défaut plus impactantes, celles-ci feront l'objet d'un traitement à part et d'une cartographie dédiée.

7.B.3.5. Standardisation et discrétisation des variables

Une première étape a consisté à pondérer les observations cumulées des usages par :

- la surface en hectare pour les usages de pêche embarquée, de découverte du milieu marin et de jet-ski puisque ce sont les seuls usages qui se répartissent aléatoirement sur les zones de pente externe et adoptent le moins une répartition linéaire le long de la barrière ou de la côte ;
- au kilomètre linéaire pour les autres usages.

[151] La CaPture par Unité d'Effort correspond à une mesure exprimant le volume de capture par Kg par Heure et par type d'engin.

Une seconde étape a consisté à centrer et réduire les données ainsi obtenues. En effet, compte tenu du fait qu'il ne s'agit pas des mêmes objets, que les échelles de valeur des distributions sont fortement variables, et que la précédente étape de pondération par la surface/longueur de côte a différé selon les usages, la centration-réduction s'impose afin de pouvoir standardiser l'information et la rendre comparable. Enfin la donnée centrée réduite a été pondérée au score d'impact selon l'association pression-impact ciblée. Cette démarche a été reproduite pour les 4 types et sous-types de pression dont il est question ici : la pression sur la ressource, de la pression mécanique sur le récif et sur la faune, et de la pression physico-chimique.

7.B.3.6. Cartographie des pressions

Au final, 4 cartes de pression ont été produites. Le zonage requis pour traiter de la question des pressions est le zonage de gestion de 113 zones qui propose une échelle d'analyse plus fine que le zonage en secteur utilisé pour représenter l'évolution de la fréquentation. Les zones récifales ont été représentées afin de distinguer les impacts sur récif. Une discrétisation selon une progression arithmétique en 4 classes de "faible" à "très fort" a été réalisée pour chaque carte à partir des résultats obtenus suite aux traitements opérés de standardisation opérés en amont.

7.B.2 Confrontation cartographique des cartes de pression et de vulnérabilité

7.B.2.1. Objectifs

Les cartes de pressions sont utiles au gestionnaire si elles peuvent être interprétées à la lumière d'un aléa, et dès lors qu'elles contribuent à produire une carte de vulnérabilité environnementale. Nous avons pu ici obtenir pour illustrer cette démarche les données de sensibilité récifale et de répartition des densités de tortues vertes. Déjà sous format de couches d'information elles sont ici croisées à la cartographie des pressions. D'une part cette démarche vise à dresser une cartographie de la vulnérabilité récifale (sensibilité + pression), d'autre part à évaluer les risques d'interaction entre mégafaune et Hommes (cartographie tortue + pression).

Dans un second temps, plus de 10 jeux de données écologiques renseignant sur l'état de santé récifale (benthos, poissons et coraux) sont rassemblés, entrés dans un SIG et comparés aux données de pressions directes issues de cette thèse et de pression indirecte (pollutions issues des bassins-versants). L'enjeu est d'opérer un diagnostic intégré de la santé récifale de sites sélectionnés et d'observer les relations qui se nouent entre bio-indicateurs de santé récifale et indicateurs de pression.

7.B.2.2. Fréquentation et sensibilité récifale : diagnostic sur le risque d'impact sur récifs

7.B.2.2.1. Rééchantillonnage des données de sensibilité du récif

En 2005, un consortium CAREX/ARVAM[152] a produit un outil cartographique sur les récifs coralliens de la côte Ouest, au sein duquel ensemble une série de typologies visant à décrire et caractériser les divers habitats récifaux et leur sensibilité a été produite. Nous nous intéressons ici à la cartographie de la sensibilité écologique des milieux en ce qu'elle reflète les caractéristiques intrinsèques du milieu (biodiversité, abondance des peuplements, rôle écologique, intérêt esthétique, etc.), tel un constat de la "valeur environnementale" (CAREX et ARVAM, 2005). À partir de ces critères, une échelle de sensibilité à trois niveaux a été construite et cartographiée (Figure 101) :

[152] CAREX et ARVAM sont des bureaux d'études réunionnais spécialisés en environnement et en biologie marine

- Indice 1 : milieu naturel à sensibilité écologique faible ;
- Indice 2 : milieu naturel à sensibilité écologique moyenne ;
- Indice 3 : milieu naturel à sensibilité écologique forte.

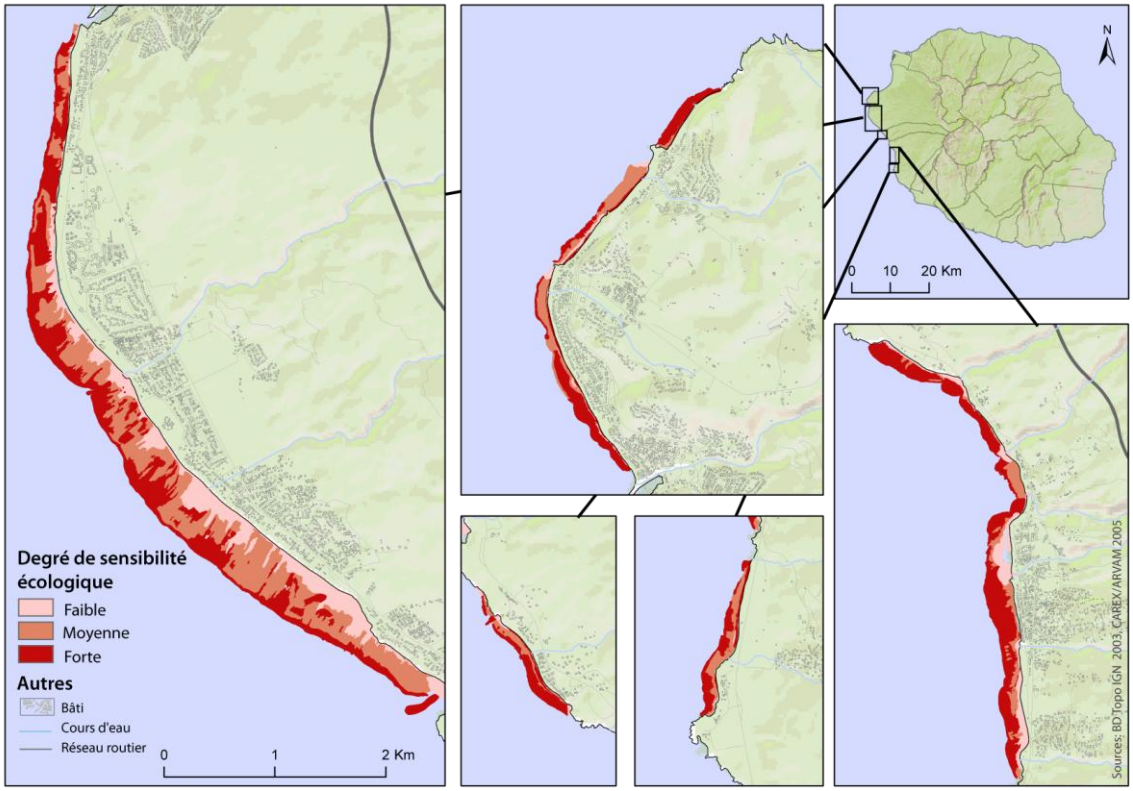


Figure 101 - Cartographie de la sensibilité du récif d'après CAREX/ARVAM, 2005.

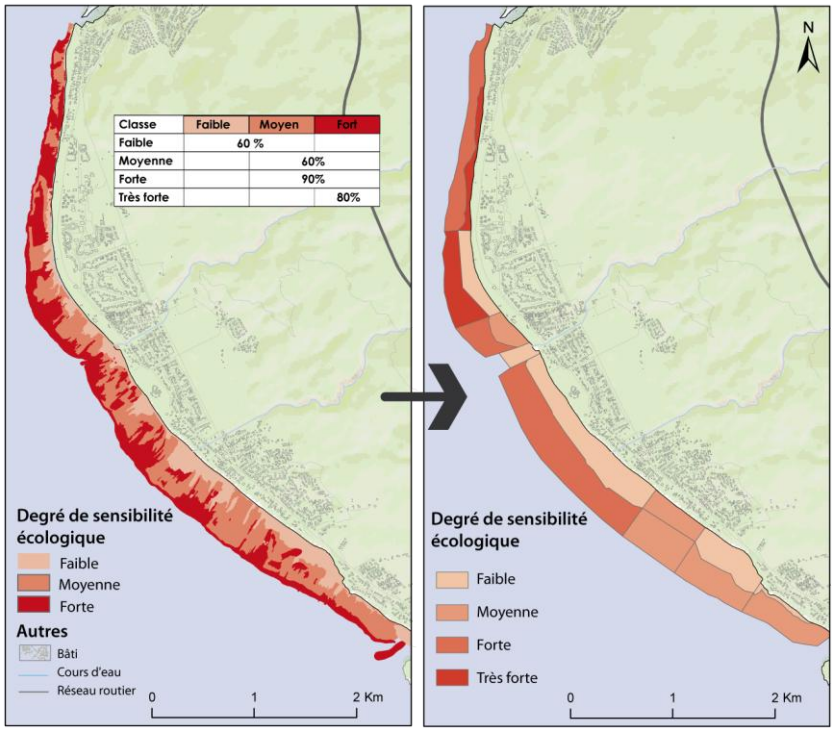


Figure 102 - Rééchantillonnage des données de sensibilité récifale

La cartographie de la sensibilité écologique du récif a été spatialement rééchantillonnée afin d'être comparable au zonage de gestion. Au sein de chaque zone de gestion, la part de chaque classe d'indice de sensibilité (de 1 à 3) a été évaluée afin de déterminer le degré de sensibilité prévalent. La discrétisation s'est faite selon la prévalence des 3 catégories de sensibilité au sein de chaque zone d'après les seuils fixés empiriquement et décrits sur la Figure 102.

7.B.2.2.2. Données de pression mobilisées

S'agissant de sensibilité récifale, les zones comportant un récif à savoir les zones de dépression d'arrière-récif (DAR), de platier (PL) et de zones de pentes externes (PE), suscitent tout particulièrement notre intérêt. De même, les usages à potentiel d'impacts mécaniques sur récif sont concernés (cf. 7.B.3.2.1.), et la cartographie des pressions correspondante est ici exploitée.

7.B.2.2.3. Croisement cartographique fréquentation/sensibilité récifale

Les deux couches thématiques de pression anthropique et de sensibilité récifale sont croisées. Les scores de chaque zone préalablement codés (de 1 à 4 pour faible à très fort) ont été additionnés, ce qui a abouti à une nouvelle distribution ayant pour minimum 2 et pour maximum 8. Cette nouvelle distribution a été discrétisée selon la méthode des seuils naturels en nouvelles classes de 1 à 4, exprimant une échelle de vulnérabilité faible (1) à très forte (4).

7.B.2.3. Fréquentation et faune : diagnostic sur le risque d'interaction engins/tortues vertes

La même démarche méthodologique que pour la précédente partie portant sur la sensibilité récifale a été adoptée, visant à discrétiser les données de densités d'observation de tortues vertes (*Chelonia mydas*) issus de la base de données TORSOOI[153], et dont le protocole de suivi basé sur un recensement des populations par voie aéroportée a été décrit par C. Jean *et al.* (2010).

7.B.3.3.1. Reclassement et discrétisation des données de pression

En vue d'évaluer le risque d'interaction entre les tortues vertes et les engins pouvant potentiellement les blesser, seuls certains usages ont été retenus pour produire la carte des pressions. D'après la littérature existante, et à partir des témoignages ayant pu être recueillis spontanément auprès de certains pratiquants les usages suivants ont été retenus :

- tous les bateaux et engins à moteur, ce qui implique les activités de pêche embarquée, les activités de découverte du milieu marin, la plongée sous-marine (les bateaux transporteurs), le jet-ski, dont les risques de collision avec les tortues marines et leurs conséquences sur la mortalité ont été évalués par Hazel *et al.*, (2007) ;
- les activités recourant à une planche à savoir le surf, le kitesurf et le windsurf et pouvant atteindre des vitesses importantes. D'après de témoignage de certains usagers, des collisions peuvent se créer entre ces véliplanchistes, surfeurs ou kitesurfeurs et les tortues vertes toujours plus nombreuses aux abords du récif (Jean *et al.*, 2010) et de la zone de pratique de ces activités.

Selon la même démarche méthodologique de standardisation et de discrétisation des données d'usages décrite en partie 7.A.3.2., une cartographie des pressions discrétisée en classes (de 1 pour pression faible à 4 pour pression très forte) a été produite.

[153] TORSOOI est une base de données sur la répartition et le comportement des TOrtues marines du Sud-Ouest de l'Océan Indien créée et gérée par Kelonia (observatoire des tortues marine à La Réunion) et l'Ifremer.

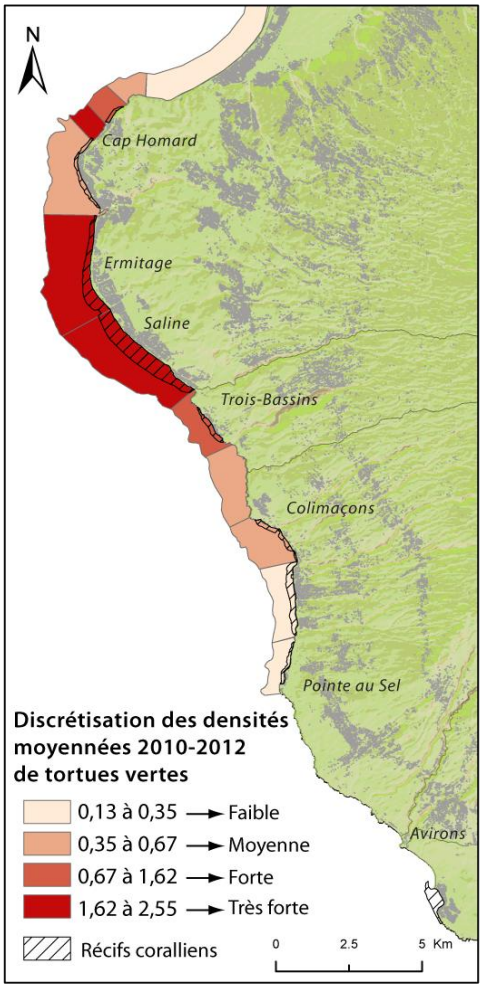


Figure 103 - Discrétisation des données de densités de tortues 2010-2012

7.B.2.3.2. Discrétisation des données spatialisées de densités de tortues (TOORSOI)

Une couche d'information issue de la base de données TOORSOI a pu être obtenue, laquelle spatialise les densités de tortues de 2010 à 2012, données obtenues à partir d'un protocole d'observation en ULM (Jean *et al.*, 2010), à l'échelle des 12 zones constituant leur maillage de référence. Les données de densités 2010-2012 ont été moyennées et discrétisées selon la méthode des seuils naturels pour être codées en 4 classes s'échelonnant de "faible" à "très fort" (Figure 103). Cette couche d'information ainsi discrétisée et la couche d'information sur les pressions anthropiques ont été croisées (opération d'intersection). Les codes sommés ont fait l'objet d'une nouvelle discrétisation pour obtenir la classification finale exprimant sur une échelle allant de "faible" à "très fort" le risque d'interaction entre engins et tortues vertes.

7.B.2.3.3. Croisement cartographique fréquentation /tortues vertes

Selon le même procédé décrit en partie 7.B.2.3., les couches d'information produites ont été sommées, et une carte diagnostiquant le risque d'interaction a été produite.

7.C. Méthodologie pour l'évaluation des conditions d'intégration des données de fréquentation et d'écologie pour le suivi scientifique de l'état de santé récifale

L'étude exploratrice que nous avons entreprise ici est pionnière dans le contexte réunionnais. Elle a consisté à confronter des jeux de données biologiques, écologiques et sociales qui constituent des indicateurs directs ou indirects de la santé récifale. De nombreux jeux de données ont été mis à disposition dans le cadre de cette étude exploratrice. Au total, 11 indicateurs de pression et bio-indicateurs ont été retenus pour cette analyse, et classés en 4 catégories : les bio-indicateurs "ichtyologiques" (relatifs aux poissons), les bio-indicateurs du benthos (qui relève du substrat : algues et coraux), les indicateurs de pression physico-chimiques (teneur en nitrates, rejets d'eaux usées), et les indicateurs de pression anthropique directe (usages et fréquentation).

L'objectif de cette étude est de combiner les données écologiques et sociologiques collectées dans la Réserve Marine de La Réunion pour comprendre les interactions entre l'Homme et l'environnement

en vue d'une meilleure gestion des écosystèmes coralliens. Dans un premier temps, on se propose de faire un diagnostic de la disponibilité spatiale et temporelle des jeux de données. Des zones pilotes ont ensuite été sélectionnées, et les jeux de données sont explorés à différentes échelles spatiale et structurelle (zonage réglementaire) afin d'observer les relations pouvant s'opérer entre les différentes composantes du système (Homme/récifs coralliens).

7.C.2. Jeux de données mobilisés

7.C.2.1. Données Ichtyologiques (poissons)

L'abondance et la taille moyenne de certaines espèces de poissons récifaux sont des paramètres utilisés par les ichtyologues comme des indicateurs de santé récifale pouvant apporter des informations spécifiques sur l'état de l'écosystème corallien (Cooper *et al.*, 2009). Lors d'un effort de pêche soutenu, l'abondance de certains poissons diminue dans le milieu. Les poissons de grandes tailles étant plus recherchés puisqu'ils produisent plus de chair, leur pêche tend à diminuer la taille moyenne de la population. C'est pourquoi le duo de mesures abondance/taille peut constituer un indicateur de pression de pêche (Friedlander et DeMartini, 2002 ; Fleury *et al.*, 2012 ; Moullec, 2011). Pour suivre l'évolution de l'effet de la pêche sur les communautés de poissons, les scientifiques se concentrent sur des espèces types sélectionnées en fonction de leur régime alimentaire (les carnivores, les herbivores et les corallivores). Un dérèglement du milieu (lié par exemple à la surpêche) favorisera la présence des poissons herbivores (par l'absence de prédation) au détriment des poissons carnivores ciblés en priorité par les pêcheurs.

Pour cette étude, nous exploitons donc en tant que bio-indicateur l'abondance des poissons carnivores (suivi GCRMN), corallivores (suivi GCRMN) et herbivores (données Eutrolag).

7.C.2.1.1. Abondance des poissons carnivores

Les poissons carnivores sont une cible privilégiée des pêcheurs car ce sont des poissons goûtus, de taille généralement supérieure. A La Réunion, le travail des ichtyologues s'est concentré sur une petite espèce de mérou l'*Epinephelus merra* ou localement appelée "macabit", espèce emblématique très prisée des pêcheurs et montrant des signes de surpêche (Moullec, 2011). Intégré au GCRMN[154], ce poisson fait l'objet d'un suivi spécifique par les gestionnaires de la réserve depuis 2007.

Les données sur l'abondance et la taille moyenne des poissons ont été acquises à partir de la méthode dite du Belt transect (Hill et Wilkinson, 2004) qui consiste à recenser les poissons "indicateurs" de part et d'autre du ruban sur une largeur de 2,50 mètres et sur une longueur de 50 mètres (Figure 104). Trois transects (réplicas) sont réalisés sur chaque station d'étude, la surface totale échantillonnée est donc de 3*250 m² = 750 m². L'abondance moyenne est calculée par unité de surface (250 m²).

[154] Global Coral Reef Monitoring Network, cadre méthodologique générique de suivi des écosystèmes coralliens élaboré par Wilkinson *et al.* (1997).

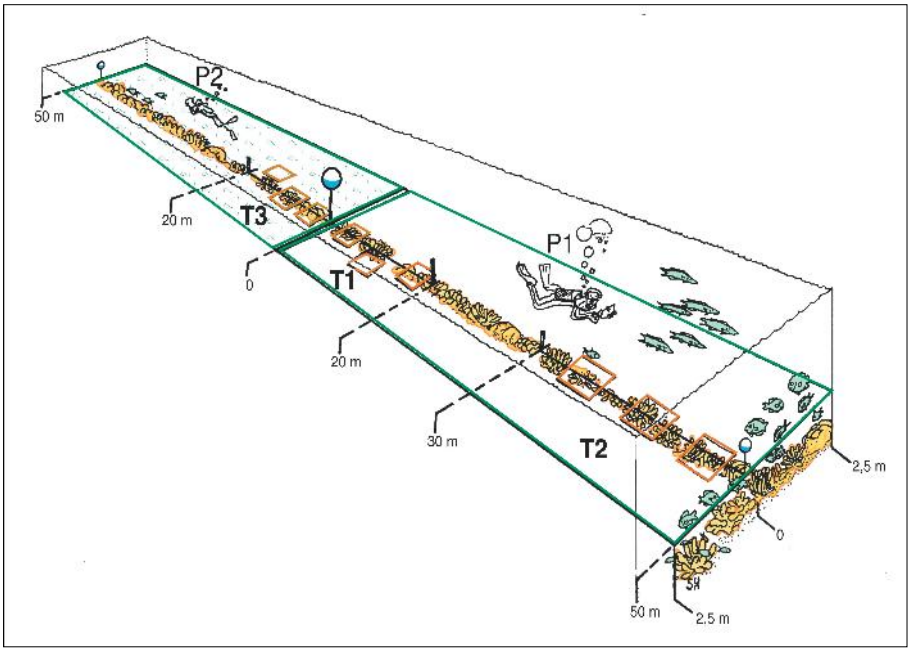


Figure 104 - Coupe schématique de la méthode dite du "belt transect" (Source www.icriforum.org).

7.C.2.1.2. Abondance des poissons corallivores

Les Chaetontidae ou poissons papillons sont corallivores strictes, c'est-à-dire qu'ils se nourrissent exclusivement de corail. Leur présence étant corrélée à un bon état de santé des communautés de coraux, ils constituent de bons bio-indicateurs de la santé récifale (Chabanet *et al.*, 1997 ; Friedlander et Parrish, 1998). L'espèce indicatrice retenue ici, le *Chaetodon trifasciatus* est suivie dans le cadre du suivi GCRMN entamé en 1998 à La Réunion (cf. 3.C.3). La donnée exploitée ici est une donnée d'abondance, exprimée en nombre de poissons observés par unité de surface, obtenue à partir de la méthode du Belt transect (3 x 250 m²).

7.C.2.1.3. Abondance des poissons herbivores

Les poissons herbivores se nourrissent exclusivement d'algues. Ils prédominent dans la composition des communautés ichtyologiques à La Réunion (39 à 82 %) (Zubia *et al.*, 2012). En "broutant" les gazons d'algues sur le substrat, les herbivores contribuent à maintenir un équilibre de compétition entre les algues et les coraux (Thacker *et al.,* 2001). Ils contribuent également au changement des espèces dominantes et ainsi à l'augmentation de la diversité algale (Zubia *et al.*, 2012). En broutant les algues, les poissons herbivores libèrent aussi des espaces sur le récif qui permettent aux larves coralliennes de s'implanter et de se développer en colonie (Hughes *et al.,* 2007 ; Kuffner *et al.*, 2006). Les hypothèses sont nombreuses sur ce que peut révéler l'abondance des herbivores en contexte corallien (Chabanet *et al.*, 1997), mais toutes semblent reconnaitre un système algues-nutriments-abondance en herbivores. Un environnement corallien sain témoigne d'une faible teneur en nutriments et d'une forte abondance en herbivores, lorsqu'un environnement dominé par les algues est témoin d'un milieu enrichi en nutriments et d'une forte abondance en herbivores. Enfin, un environnement dominé par les turfs algaux est la signature d'une forte teneur en nutriments et d'une faible abondance en herbivores (Littler et Littler, 1997).

On mobilise ici les données d'abondance des *Stegastes nigricans* ou "poissons demoiselles" qui colonisent les coraux morts ou en mauvaise santé (Zubia *et al.*, 2012) ; elles y entretiennent un gazon d'algues venues recouvrir le corail car il constitue une réserve de nourriture et leur présence a clairement été associée à des milieux eutrophisés (De Loma *et al.,* 2000 ; Zubia *et al.*, 2012).

Les données d'abondance, exprimées en nombre de poissons observés par unité de surface, sont acquises selon la méthode du Belt transect (3 x 250 m²).

7.C.2.2. Données du benthos (algues et coraux)

Le benthos est l'ensemble des organismes aquatiques vivant en relations étroites (sur ou à proximité) avec le substrat sous-marin. Il intègre donc tous les organismes qui sont fixés sur ou évoluent à proximité du substrat : coraux, algues, éponges, etc.

7.C.2.2.1. Recrutement corallien (scléractiniaires)

La reproduction et le recrutement des coraux permettent le renouvellement des colonies mortes ou malades et la conservation d'une diversité génétique dans la population avec l'arrivée continue de nouveaux génomes (Massé, 2014). De manière générale les coraux se reproduisent une fois par an en libérant des gamètes dans le milieu (ponte) (Harrison and Wallace 1990). Le terme « recrutement » est utilisé en écologie pour décrire l'arrivée d'un nouvel individu dans une population (Sale, 1990). Le succès de la reproduction et du recrutement corallien peut être estimé selon plusieurs paramètres parmi lesquels la fécondité des colonies et l'abondance en recrues dans un milieu donné. Ces paramètres témoignent de l'effort de reproduction des coraux et sont utilisés comme indicateurs de santé récifale dans cette étude. Outre l'effet stochastique dû à la dispersion des larves, l'absence chronique de recrues coralliennes sur le récif peut être du à une faible fécondité des adultes dans la population et à un dérèglement des conditions du milieu qui limite la fixation des larves. L'eutrophisation de l'eau entraîne par exemple la prolifération des algues qui entrent en compétition pour la lumière avec les recrues coralliennes et les empêche de se développer (Kuffner *et al.*, 2006).

Le recrutement des coraux scléractiniaires est suivi depuis 2010 dans le cadre du programme OT-RUN sur la base de supports artificiels (plaques de résines de 10x10 cm) immergés sur le récif pendant 6 mois. Les plaques sont récoltées, nettoyées et observées au microscope afin de dénombrer les potentielles recrues coralliennes. Les données sont exprimées en nombre de recrues par unité de surface.

7.C.2.2.2. Maladies coralliennes

La présence d'une forte prévalence[155] de coraux malades est généralement associée à un dérèglement du milieu, à des perturbations extérieures qui viennent accroître la fragilité des coraux et la probabilité de contamination. La pullulation de certaines maladies coralliennes est associée par exemple à la dégradation de la qualité de l'eau, notamment la présence de rejets d'eaux usées, d'exutoires d'eaux douces et de composés eutrophisants (Bruno *et al.*, 2003). Les données issues des travaux de thèse de M. Séré (2013) ayant procédé dans le cadre du programme ETIMARECO[156] à

[155] Le terme prévalence surtout utilisé en sciences médicales, désigne la part des individus souffrant d'une maladie dans une population exposée à cette maladie. La prévalence est généralement exprimée pour 1000 individus.

[156] Programme mené par lAgence Réunionnaise pour la Valorisation Marine et mis en place pour l'évaluation de l'incidence des maladies sur les récifs de La Réunion, d'Afrique du sud et de Mayotte [URL : http://www.arvam.com/spip.php?article24]

l'inventaire et la répartition des maladies coralliennes à La Réunion ont été mobilisées. Les maladies coralliennes étudiées sont la maladie de la bande noire ("*black band disease*"), de la bande blanche ("*white band disease*"), du "*skeletal eroding band* "(bande érosive du squelette), des anomalies de croissance et du syndrome des patchs blancs associé aux *porites*.

la prévalence en maladies coralliennes est exprimée en nombre de coraux malades par transect ruban de 3 x 20 m (cf. 7.C.2.1.1) (Séré, 2013).

7.C.2.2.3. Couverture corallienne

Le terme "couverture corallienne" désigne un rapport entre la surface couverte par du corail sain, et le reste du substrat. Il peut se décliner de plusieurs façons. L'indicateur le plus souvent employé est celui de la couverture en corail dur vivant car il témoigne de la vitalité corallienne. Les coraux branchus quant à eux, constituent non seulement des bio-indicateurs des changements globaux en ce qu'ils sont plus sensibles aux épisodes de blanchissement, mais ils sont également plus exposés aux pollutions et aux pressions mécaniques issues d'interactions entre usagers et substrat, car ils se cassent plus facilement (Hawkins et Roberts, 1993 ; Rouphael et Inglis, 1997). D'une façon générale, l'impact induit par le piétinement des usagers sur les récifs coralliens est avéré (Rodgers et Cox, 2003). Mesurée annuellement dans le cadre du suivi GCRMN, la couverture corallienne est l'un des indicateurs fondamentaux de santé récifale. Une baisse ou une augmentation de cette couverture informe sur les dynamiques à l'œuvre et sur la vitalité du récif. Un récif en bonne santé se maintient dans le temps, alors qu'une baisse dans la couverture corallienne est un indicateur de perturbation (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007).

Les données exploitées ici sont issues du suivi GCRMN (Bigot, 2008) et ont été acquises à partir de la méthode des LIT[157] transects (3x20m) (Hill et Wilkinson, 2004).

7.C.2.2.4. Algues rouges

Les algues rouges ou Rhodophytes, sont des macroalgues marines qui constituent d'excellents intégrateurs et indicateurs des conditions environnementales et des phénomènes de perturbation (Zubia *et al.*, 2012). Dans le cas d'un apport prolongé en sels nutritifs et d'une exposition aux pressions anthropiques, on peut assister à des "phases-shift" (McManus et Polsenberg, 2004) qui consistent en un changement radical de la dominance de certains organismes au sein des communautés benthiques, dont la plus fréquente et la plus documentée est le remplacement des coraux par les macroalgues (MacManus et Polsenberg, 2004 ; Hughes *et al.*, 2007). C'est pourquoi certaines algues, à l'instar des Rhodophytes, sont des bio-indicateurs reconnus de la qualité de l'eau (Cooper *et al.*, 2009 : Fabricius *et al.*, 2011). À La Réunion, leur abondance répond au gradient des apports terrigènes et des résurgences d'eau douce (Zubia *et al.*, 2012).

Les données mobilisées ont été obtenues à partir d'une méthode de photoquadrats. 7 à 10 quadrats de 0,25m² (50x50cm) sont disposés et photographiés de part et d'autres du transect sur les travées détritiques. Chaque cliché est ensuite analysé par le logiciel CPCE[158], et s'exprime en pourcentage de recouvrement par les algues sur une unité de surface.

---

[157] Line Intercept Transect (Hill et Wilkinson, 2004) est une méthode d'échantillonnage qui consiste à mesurer la surface en corail vivant directement sous le ruban déployé.

[158] Le CPCE est un logiciel utilisé pour inventorier la couverture corallienne à partir de photo-quadrats. Il est basé sur un algorithme qui répartit aléatoirement des points sur l'image, sous lesquels l'utilisateur devra identifier la nature et l'appartenance de l'objet, [URL : http://www.nova.edu/ocean/cpce/].

7.C.2.3. Données physico-chimiques

7.C.2.3.1. Nitrates

Les nitrates sont des éléments nutritifs en provenance des bassins-versants qui parviennent à l'océan principalement via les résurgences des nappes phréatiques (Cuet *et al.*, 1988). Leur présence dans les eaux douces qui se déversent épisodiquement dans le "lagon" s'est accrue ces dernières décennies sur la côte Ouest de La Réunion en réponse aux effets combinés de l'accroissement des surfaces en cultures (cf. 3.B.3.2), et de la densification de l'urbanisation. Les nitrates sont des sels très solubles qui résultent d'un processus de décomposition de la matière organique issue en grande partie des bassins-versants. Un apport important et prolongé en éléments nutritifs provoque un enrichissement des eaux qui favorise la prolifération des macroalgues au détriment des coraux. Leur teneur constitue à ce titre une pression anthropique indirecte et un indicateur du niveau de santé écosystémique.

Les données utilisées ont été acquises dans le cadre du programme Eutrolag. 2 litres d'eau ont été prélevés en subsurface (- 1m) et un aliquot analysé selon la méthode en flux continu décrite par Aminot et Kérouel (2007). Les concentrations sont exprimées en µmol l-1

7.C.2.4. Données de pressions anthropiques

7.C.2.4.1. Données de fréquentation

Par les nombreuses activités, extractives ou non, que l'Homme pratique sur ou à proximité des récifs coralliens, il engendre des impacts "directs" sur le récif (Thurstan *et al.*, 2012). Outre la pression exercée sur la ressource par certaines activités (pêches), ces derniers sont d'ordre mécanique (cassure, abrasion des coraux), physico-chimique (crèmes solaires) ou environnementaux (dérangement de la faune) (cf. 1.C.2.2.). Ainsi, plus la présence humaine est importante sur une unité de surface donnée, plus le risque d'impact potentiel est important.

Les données de fréquentation toutes activités comprises produites lors de cette thèse ont été rapportées à la surface de la zone (nombre moyen d'usagers/hectare).

7.C.2.4.2. Données sur les rejets d'eaux usées et exutoires de ravines

Par un apport soudain et trop important en eaux douces, et par les pollutions qu'ils peuvent contenir, les rejets d'eaux usées et les exutoires de ravine contribuent à rendre les récifs coralliens vulnérables, en favorisant les phénomènes de blanchissement et d'eutrophication (cf. 3.B.2.).

Une cartographie des rejets d'eaux usées avait été réalisée en 2005 par le consortium CAREX et ARVAM (2005), dans le cadre de la cartographie des récifs coralliens et du diagnostic de leur sensibilité.

Les données utilisées ici sont basées sur cette cartographie et sont exprimées en nombre de rejets identifiés par zone.

7.C.3. Disponibilité des données

Préalablement aux analyses, une première étape a consisté à vérifier la disponibilité temporelle des données. Les coordonnées des différentes stations ont été recueillies et une base spatialisée bâtie sous ArcGis 10 afin d'observer leur recoupement spatial.

7.C.3.1. Disponibilité temporelle

Le Tableau 41 résume la disponibilité temporelle des jeux de données sélectionnés pour cette étude. La distinction entre été et hiver austral est importante pour l'étude des processus écologiques. Les suivis biologiques sont donc répartis par saison. L'été austral comprend les mois allant de novembre à avril. L'été 2011 apparaît comme la seule période durant laquelle tous les suivis sont disponibles (Tableau 41). Notre étude s'est donc concentrée sur la saison estivale de 2011. Faute de réplicas dans le temps, cette étude met l'accent sur l'analyse spatiale des données.

Tableau 41 - Disponibilité temporelle des données (grisé = disponible)

		2011		2012	
		Eté austral	Hiver austral	Eté austral	Hiver austral
Données de pression	Fréquentation				
	Eaux usées, exutoires				
	Nitrates				
Benthos	Sclératiniaires				
	Millépores				
	Couverture corallienne				
	Maladie des coraux				
	Algue rouge				
Poissons	Herbivores				
	Carnivores				
	Corallivores				
Total		**11**	**6**	**6**	**4**

7.C.3.2. Disponibilité spatiale

Chaque suivi constitue un réseau de stations en faible nombre (2 à 8) répartis entre les zones de platier et de pente externe, localisés sur les complexes récifaux d'Ermitage-Saline, de Saint-Leu et de l'Etang-Salé. Afin de pouvoir disposer d'un maximum de jeux de données sur un même site, les zones de dépression d'arrière-récif et de platier d'un même secteur ont été rassemblées après concertation avec les différents auteurs.

7.C.4. Construction d'une base d'information géographique et analyse des relations spatiales entre jeux de données

7.C.4.1. Construction d'une base d'information géographique

Nous avons rassemblé et calibré les coordonnées géographiques des stations qui constituent chaque réseau de suivi. Une base de données spatialisée sous ArcGis 10 a été produite à raison d'une couche d'information compilant l'ensemble des stations de suivi, laquelle permet une cartographie des réseaux de suivis intégrés dans cette étude.

7.C.4.1. Echantillonnage temporel et spatial retenus

La spatialisation des réseaux de suivis a permis de mettre en lumière les "foyers" de stations, à savoir les endroits où un maximum de suivis différents sont représentés. Dans certains cas la trop forte dispersion des suivis n'a pas permis de la délimitation d'une zone de taille pertinente, qui garantisse une certaine homogénéité du milieu. En effet, à dire d'expert, les données écologiques acquises en

un endroit d'un complexe récifal[159] ne sauraient être représentatives de l'ensemble du complexe récifal, ce dernier étant soumis à des dynamiques complexes relevant de la courantologie, des facteurs de pressions extérieurs, et résultant dans une diversité des habitats à l'échelle du complexe récifal.

Nous avons donc procédé à la délimitation de "zones pilotes", échelles d'analyses pertinentes et optimisantes, qui ont été sélectionnés d'après des critères spatiaux répondant à :

- une emprise spatiale minimum, afin de limiter la variabilité intrinsèque du milieu au sein de la zone pilote ;
- une bonne représentativité des différents réseaux de suivi, à savoir qu'un maximum de suivis différents doivent se localiser dans la zone pilote.

7.C.4.2. Analyses croisées

Les auteurs ont fourni des données de synthèse, moyennées à partir des données récoltées sur le terrain sur cette période d'été austral 2011, soit de janvier à avril. Selon les cas, la gamme des réplicas s'étendait de 2 à 40 (pour les données de fréquentation). Chaque jeu de données évoluant sur des échelles de valeurs et exprimées dans des unités ou par des rapports différents, une opération de centration-réduction a été réalisée sur chaque jeu, sur la base de l'ensemble des données fournies. Par cette opération, la comparaison entre les différents jeux de données est rendue possible.

Les données standardisées ont ensuite été projetées sur des diagrammes toiles d'araignées pour chaque site. De façon empirique, un niveau de pression à trois échelles de valeurs de "faible" à "forte" a été déterminé au regard des trois paramètres de fréquentation, teneur en nitrates et abondance d'exutoires pour chaque zone pilote. Les paramètres décrivant les peuplements ichtyologiques et benthiques ont par la suite été comparés aux niveaux de pression, et au regard des connaissances rassemblées dans la littérature scientifique sur les interrelations existantes (Figure 105).

Certains bio-indicateurs constituent des indicateurs directs de pression, c'est-à-dire qu'ils entretiennent une relation de premier degré avec les sources de pression (maladies coralliennes et nitrates, nitrates et couverture en macroalgues, etc.), d'autres constituent des indicateurs indirects de pression, en ce qu'ils sont un indicateur pour un paramètre écologique intermédiaire (couverture corallienne et abondance en corallivores, couverture algale et abondance en herbivores, etc.).

Enfin, en vue de mesurer l'effet de gestion, les jeux de données standardisés ont été analysés à la lumière du zonage réglementaire. Toutes les données disponibles ont été mobilisées à ces fins et non plus seulement les données contenues dans les zones pilotes. Seuls quelques types de zones disposaient d'un nombre suffisant de données pour être comparées à savoir les zones sanctuaires, les zones interdites à la pêche (ZIP) et les zones de pêche à pied traditionnelles (ou PPT, au sein desquelles la pêche à pied traditionnelle de récif est autorisée). Les données relatives aux exutoires ne sont pas intégrées à cette analyse dès lors dès lors que l'analyse ne relève plus de la logique spatiale, mais structurelle. Enfin, les interactions entre bio-indicateurs ichtyologiques ne sont pas ici

[159] Ensemble morphologiquement homogène à l'instar des complexes récifaux de la Saline ou de l'Ermitage

analysées, car requièrent un degré supplémentaire d'analyse et d'expertise qui ne relève pas de notre domaine ni même ne sert les objectifs susnommés.

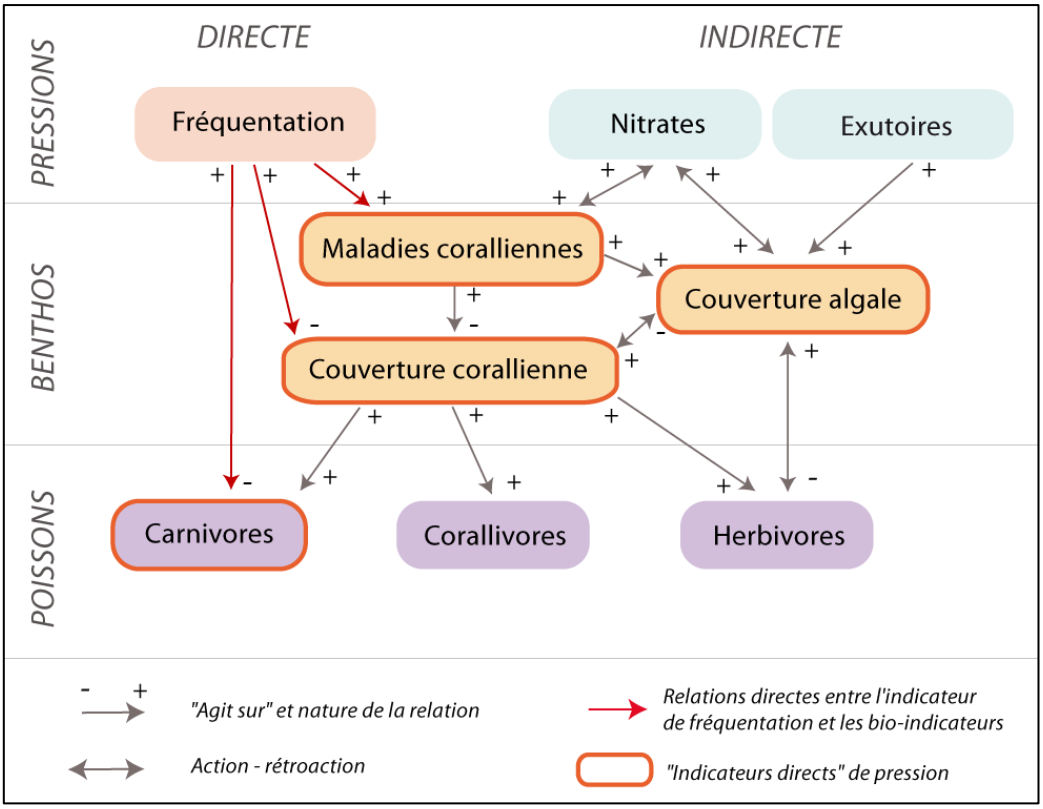


Figure 105 - Grille de lecture des relations entre pressions et variables écologiques et identification des indicateurs directs et indirects de pression, réalisée à partir de la bibliographie.

7.D. Une base de données spatialisée pressions/milieu

Pour les besoins de cette étude, la base de données spatialisée existante décrite en 4.A.4.2. a été mobilisée et enrichie des données collectées pour une analyse croisée pression/milieu (Tableau 42). La base de données est gérée sous ArcGis 10 dans le système de référence RGR92 / UTM zone 40S. D'une part des couches d'information pré-existantes ont été mobilisées :

- les données de sensibilité récifale, produites par le consortium CAREX/ARVAM (CAREX et ARVAM, 2005) ;
- les données de densité de tortue produites par Kélonia/Ifremer stockées dans la base de données TOORSOI[160].

D'autre part des couches d'information ont été produites par l'auteure :

- une couche des données de pression pour les 4 types de pressions dont il est question en partie 7.B.3. ;
- une couche des réseaux de suivi écologiques dont nous avons pu disposer (cf. 7.C.2.).

[160] TORSOOI est une base de données sur la répartition et le comportement des Tortues marines du Sud ouest de l'Océan indien créée et gérée par Kelonia (observatoire des tortues marine à La Réunion) et l'Ifremer.

Tableau 42 - Dictionnaire des données de la base d'information géographique pressions/milieu

	Couche thématique	Code couche	Entité	Attributs (hors ID)	Descriptif	Type	Échelle de validité	Source
Données de base	Communes	Communes	Polygone	Nom_commune	Nom de la commune	Texte (30)	1/25 000e	IGN 1997
				Superficie_ha	Superficie de la commune en hectares	Entier		
	Zonage de gestion	zonage_RNMR	Polygone	Nom_zone	Nom de la zone	Texte (50)	1/25 000e	GIPRNMR, DIREN
				Geomorpho	Type géomorphologique en 15 classes	Texte (50)		
				Code_geomorpho	Ensembles géomorphologiques en 5 classes	Texte (3)		
				Reg_peche	Niveaux de règlementation des pêches	Texte (3)		
				Niveau_RNM	Niveaux de règlementation générale	Texte (2)		
				Commune	Commune adjacente	Texte (50)		
				Long_cote	Longueur du linéaire lissé à la côte arrondie à la dizaine	Entier		
				Surface_ha	Surface de la zone en hectares	Reel double		
	Bâti	bati	Polygone	Type	Type de batiment (5 classes)	Texte (50)	1/25 000e	GIPRNMR, DIREN
				Commune	Nom de la commune	Texte (50)		
Données de pression	Pression	pression	Polygone	Zone	Nom de la zone de gestion	Texte (50)	1/25 000e	AUTEUR
				ID_zone	Identifiant de la zone de gestion	Texte (3)		
				RESS	Indice de pression sur la ressource	Réel double		
				MECAFAUNE	Indice de pression mécanique sur faune	Réel double		
				MECAREEF	Indice de pression mécanique sur récif	Réel double		
				PHYSICO	Indice de pression physico-chimique	Réel double		
				AREA	Surface de la zone de gestion	Réel double		
Données écologiques	Récifs coralliens	s_rec_region	Polygone	Type_geomrec	Type de l'unité géomorphologique (16 types)	Texte (50)	1/10 000e	CAREX/ARVAM, 2005
				type_biologie	Type de l'habitat dominant (13 types)	Texte (50)		
				Code_sensibilite	Niveau de sensibilité écologique (3 degrés)	Texte (2)		
				Superficie_ha	Superficie de la zone en hectare	Réel double		
	Densité de tortues vertes	ULM_TM_RUN_2010-2012_Kelonia	Polygone	Type_geo	Géomorphologie dominante du polygone (5 classes)	Texte	nc	TOORSOI, Kélonia/Ifremer
				A_2010	Moyenne des densités d'observations de tortue verte au km² en	Réel double		
				A_2011	Moyenne des densités d'observations de tortue verte au km² en	Réel double		
				A_2012	Moyenne des densités d'observations de tortue verte au km² en	Réel double		
	Réseaux de suivi écologique	reseau_eco	Point	Reseau	Intitulé du suivi	Texte (30)	1/10 000e	AUTEUR
				Program	Programme scientifique de référence	Texte (15)		

Conclusion du chapitre 7

Les méthodes mises en œuvre afin d'intégrer les données d'usages aux objectifs de gestion et de recherche multidisciplinaire s'articulent autour de la spatialisation et de la cartographie par le biais des SIG. Cette approche, caractéristique de la Géographie, constitue un support dans l'analyse des dynamiques spatio-temporelles des phénomènes. Dès lors que plusieurs jeux de données spatialisées sont disponibles, on s'intéresse à identifier les corrélations spatiales pouvant s'opérer.

Dans un premier temps, la démarche de confrontation de nos observations d'infractions à l'effort de surveillance par les écogardes du GIPRNMR recourt à des méthodes simples de comparaison de données sur graphiques et à l'outil cartographique pour la visualisation des résultats. La méthode retenue pour la quantification et la spatialisation des pressions a consisté à identifier différents types d'impacts au sein de la littérature et identifier les usages impliqués dans chaque catégorie d'impact. Les résultats de plusieurs ordres (pressions liées aux impacts mécaniques, au dérangement de la faune, aux impacts physico-chimiques) ont ensuite été standardisées et cartographiées à l'échelle du zonage de gestion à 113 zones sur la base du nombre cumulé d'observations par unité de surface. Cette mesure de la pression anthropique directe contribue à l'élaboration d'indicateurs de pression utiles autant au gestionnaire qu'à la recherche multidisciplinaire.

Dans un second temps, la collecte de plus de 10 jeux de données renseignant sur l'état de santé récifale (benthos, coraux, poissons, qualité de l'eau, exutoires) et leur intégration aux données de pression anthropique directe s'est confrontée à la faible disponibilité spatiale et temporelle de ces premiers. La démarche a consisté à cartographier les réseaux de suivis en vue d'identifier les sites d'intérêt disposant d'un maximum de suivis et à ensuite standardiser les jeux de données dont les unités diffèrent en vue de leur comparaison. Faute de réplicas, les analyses sont essentiellement descriptives et constituent une première approche du système homme-milieu à travers le diagnostic de l'état de santé récifale des sites retenus.

Chapitre 8. Suivi de fréquentation et AMP : contribution à la gestion et conditions de son intégration au plan de gestion

Ce chapitre présente un nouvel angle d'approche en matière d'exploitation des données d'usages que nous avons acquises entre 2010 et 2013. Les quelque 160 "instantanés de fréquentation" réalisés créent l'opportunité d'effectuer un suivi de l'occurrence et la fréquence des infractions faites à la réglementation. Les activités de pêches sont les usages les plus ciblés et concernés par cette réglementation, et P.-G. Fleury *et al.* (2012) avaient par ailleurs déjà pointé du doigt dans leur rapport sur la pêche traditionnelle, le potentiel en matière de développement d'indicateurs à partir des comptes rendus de missions des écogardes (efforts de contrôle, respect de la réglementation, effort de pêche, etc.). Notre base de données trouve donc une vocation seconde à travers le thème large de l'efficacité de gouvernance et de sa mesure par le biais d'indicateurs.

En outre, la donnée spatialisée peut être analysée à la lumière des problématiques d'impacts par les usages humains, problématique qui sous-tend continuellement aux intérêts des gestionnaires pour les suivis de fréquentation. Si la présente thèse ne vise pas à quantifier les impacts induits, elle contribue néanmoins à poser un diagnostic de vulnérabilité en produisant une cartographie des pressions qui sera superposée à la cartographie des aléas ou de la sensibilité du milieu. Ce type d'information contribue effectivement à mieux orienter et prioriser les politiques de conservation.

Cette application de nos recherches à la gestion donne lieu à une discussion sur la reproduction et les conditions d'intégration de ce protocole au plan de gestion. Une mesure des coûts-avantages permet de conforter nos choix méthodologiques prouvant l'efficacité des protocoles aéroportés dans un contexte de suivis à grande échelle, à la condition d'une disponibilité en main-d'œuvre. Dans le cas contraire, en cas de limitations budgétaires ou de main-d'œuvre, le choix de sites pilotes représentatifs des dynamiques à l'œuvre s'avère une solution pertinente pour assurer la pérennité du suivi et sa mise en observatoire.

8.A. Contribution à la gestion : vers l'élaboration d'indicateurs relatifs aux usages

Les données d'usages sont confrontées à l'effort d'échantillonnage pour l'élaboration d'indicateurs gouvernance dans un premier temps, puis contribuent à dresser une cartographie thématique des pressions anthropiques directes dans un second temps.

8.A.1. Diagnostic spatio-temporel des infractions à la réglementation : vers des indicateurs d'efficacité de gestion

8.A.1.1. Diagnostic spatio-temporel des infractions par les pêcheurs à pied

Entre 2010 et 2013, un total de 1258 observations d'infractions par les pêcheurs à pied a été comptabilisé, dont 815 relèvent de pratiques irrégulières sur le créneau de l'après-midi et 443 sur le créneau du matin[161]. Alors que, nous l'avons vu en 5.B.4 et en annexe 12, le nombre moyen de pêcheurs observés n'a cessé d'augmenter sensiblement depuis 2010, le nombre d'observations d'infractions par vol les après-midi augmente également depuis 2011 (Tableau 43), ce qui n'est pas valable pour le créneau matinal (Tableau 44). D'une façon générale on observe plus d'infractions l'après-midi que le matin (9,47 contre 6,61 observations par vol), ce qui peut faire écho à l'effet dissuasif engendré par l'échantillonnage des missions de terrains des écogardes qui ont été 2,2 fois plus importantes le matin que l'après-midi (257 missions le matin contre 114 l'après-midi).

Tableau 43 - Fréquence des observations de pêcheurs à pieds en infraction entre 2010 et 2013 (créneau après-midi, ZIP, PPT et zones sanctuaires de protection intégrale)

	2010	2011	2012	2013	Total
Nbre infractions en PPT	35	44	38	30	147
Nbre infractions en zones sanctuaires	12	4	5	0	21
Nbre infractions en ZIP	189	147	179	132	647
Nbre observations cumulé	**236**	**195**	**222**	**162**	**815**
Réplicas (nbre de vols)	*26*	*22*	*24*	*14*	*86*
Fréquence par vol	**9,07**	**8,86**	**9,25**	**11,57**	**9,47**

Tableau 44 - Fréquence des observations de pêcheurs à pieds en infraction entre 2010 et 2013 (créneau matin, ZIP et zones sanctuaires de protection intégrale)

	2010	2011	2012	Total
Nbre infractions en zones sanctuaires	5	3	5	13
Nbre infractions en ZIP	152	131	147	430
Nbre observations cumulé	**157**	**134**	**152**	**443**
Réplicas (nbre de vols)	*22*	*20*	*25*	*67*
Fréquence par vol	**7,13**	**6,7**	**6,08**	**6,61**

[161] Rappelons que toute observation de pêcheur à pied (ou autre usager se livrant à la pêche) faite dans les zones interdites à la pêche (ZIP) ou les zones de protection intégrale est par défaut une infraction. En sus, certaines zones dites PPT (pêche traditionnelle à pied) sont autorisées à la pêche à pied le matin. Toute observation faite sur ces zones l'après-midi constitue donc une infraction (cf. 7.A.2.2.1.).

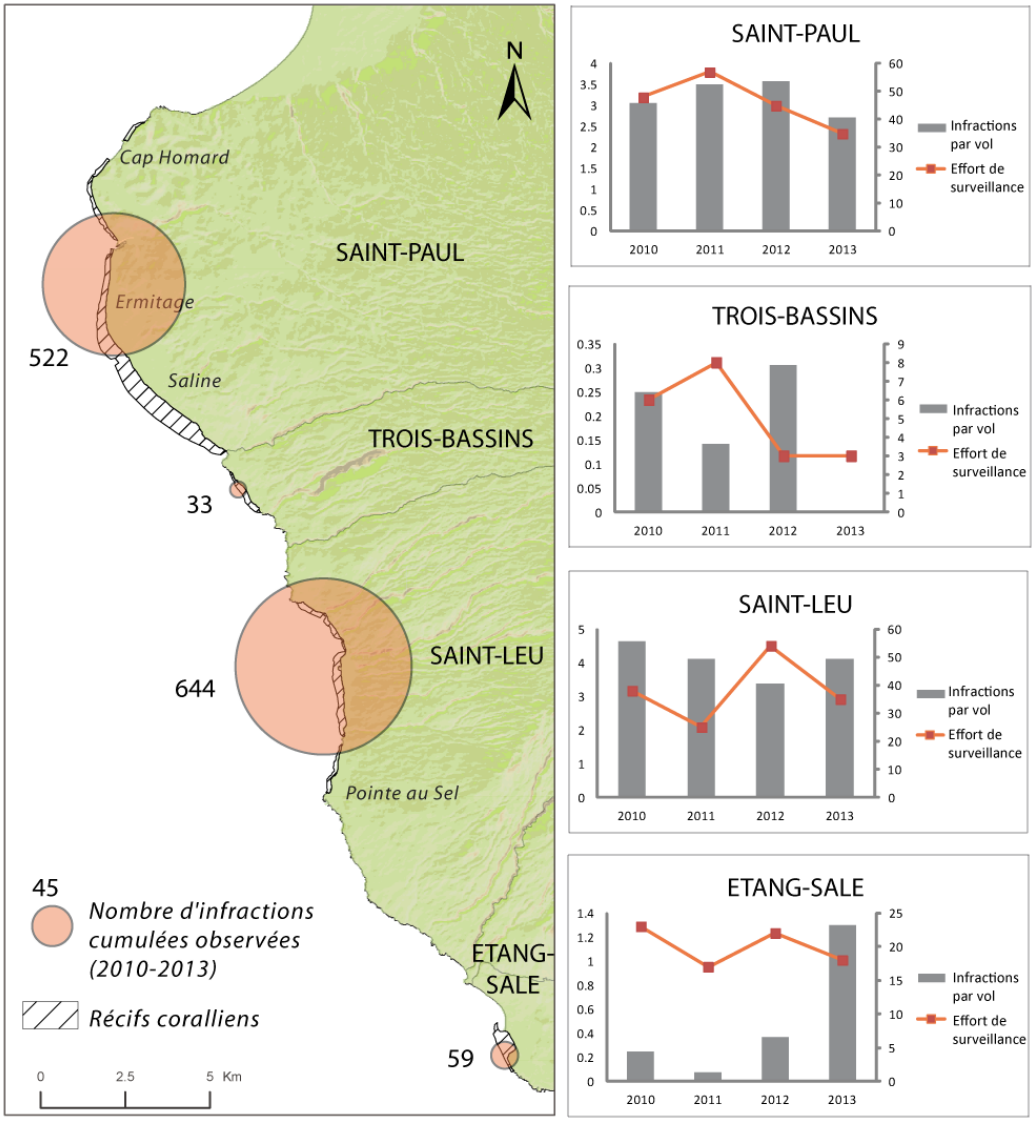


Figure 106 - Répartition spatiale des infractions (tous types) par les pêcheurs à pied et effort de surveillance par le GIPRNMR par commune entre 2010 et 2013

C'est à Saint-Leu que nous avons, dans le cadre de nos missions aéroportées, relevé le plus grand nombre d'infractions par les pêcheurs à pied (Figure 106). Cette surreprésentation locale tient dans la présence d'un port dont les digues, bien qu'intégrées à une zone de pêche interdite (ZIP), sont souvent prisées par les pêcheurs. La confrontation de nos données sur le nombre moyen d'infractions par vol aux données du GIPRNMR sur l'effort de surveillance montre des résultats disparates selon les communes. L'effet "dissuasif"[162] engendré par la surveillance par les écogardes est visible sur certains sites à l'instar des sites de Trois-Bassins et de Saint-Leu. Dans d'autres cas, les deux jeux de données suivent les mêmes tendances à savoir que plus l'effort de surveillance augmente, plus le nombre d'infractions observé augmente comme c'est le cas pour les sites de Saint-Paul entre 2010 et 2011. Ce phénomène peut s'expliquer par un effet d'adaptation des écogardes aux observations du terrain. Rappelons qu'en dehors des seules données d'infractions exploitées ici,

[162] Bien que ne pouvant être mesuré, nous postulons ici que l'effort de surveillance est inversement corrélé aux observations d'infractions, à savoir que plus un site est surveillé, moins des infractions seront commises. Il convient de considérer ici le possible effet de latence induit par un effort de surveillance accru ou un défaut de surveillance sur le comportement des usagers, mais qui ne peut être mesuré ici.

le GIPRNMR rend compte régulièrement des observations faites sur le terrain, des données qui contribuent à mieux cibler les sites à surveiller en priorité. En outre, les écogardes se déplacent également sur appels des usagers faisant de la délation en cas d'infractions observées. Enfin, l'échelle annuelle ne constitue pas une échelle temporelle d'analyse assez fine pour valider cette hypothèse.

8.A.1.2. Diagnostic spatio-temporel des infractions par les chasseurs sous-marins

Tableau 45 - Fréquence des observations de chasseurs sous-marins en infraction entre 2010 et 2013 (matin et après-midi, dans ZIP, CSI et zones sanctuaires de protection intégrale)

	2010	2011	2012	2013	Total
Nbre infractions en zones sanctuaires	0	0	0	0	0
Nbre infractions en ZIP	27	14	33	2	76
Nbre infractions en CSI	2	0	5	0	7
Nbre observations cumulé	29	14	38	2	83
Réplicas (nbre de vols)	*48*	*42*	*49*	*20*	*159*
Fréquence par vol	**0.60**	**0.33**	**0.77**	**0.1**	**0,52**

Les infractions[163] constatées lors de nos missions par les chasseurs sous-marins sont fortement variables d'une année sur l'autre (Tableau 45). L'essentiel des infractions a été commis en zones de pêche interdites (ZIP) et l'année 2012 a été l'année pic avec 0,77 observation par vol. Alors que, comme nous avons pu le voir en 5.B.4., la prévalence de la pratique de la chasse sous-marine est associée à la saison estivale à savoir qu'elle n'est pas en premier lieu régie par un contraste matin/après-midi, l'observation d'infractions est plus importante le matin lorsque l'effort de surveillance du GIPRNMR est plus important, par rapport à l'après-midi.

Entre 2010 et 2013, 56,6 % des infractions par les chasseurs sous-marins ont été commises sur la commune de Saint-Paul, 33,7 % sur la commune de Saint-Leu (Figure 107). Leur évolution dans le temps a été relativement variable d'un site à un autre, et les observations d'infractions inexistantes certaines années[164]. Comme cela a été le cas pour les infractions par les pêcheurs à pied pour certains sites, on observe le même probable effet dissuasif engendré par un effort de surveillance accru en 2011 à Saint-Paul, 2012 à Saint-Leu et à l'Etang-Salé, cet effet se traduisant par une baisse du nombre d'observations par rapport à l'année précédente. Cette configuration de 2011 peut hypothétiquement résulter d'un effet d'inertie puisque l'année précédente enregistre un "pic" d'infractions, lequel a pu causer un déploiement plus conséquent l'année suivante de la part du GIPRNMR.

[163] Rappelons que sont considérées comme infractions pour l'activité de chasse sous-marine, les observations faites à toute heure, dans les zone interdites à la pêche (ZIP), les zones de protection intégrales dites sanctuaires, à quoi viennent s'ajouter des zones spécifiquement interdites à la pratique de la chasse sous-marine interdites (CSI).

[164] L'année 2013, aucune infraction n'a été constatée, mais l'effort d'échantillonnage était divisé par 2 par rapport à 2010, 2011 et 2012

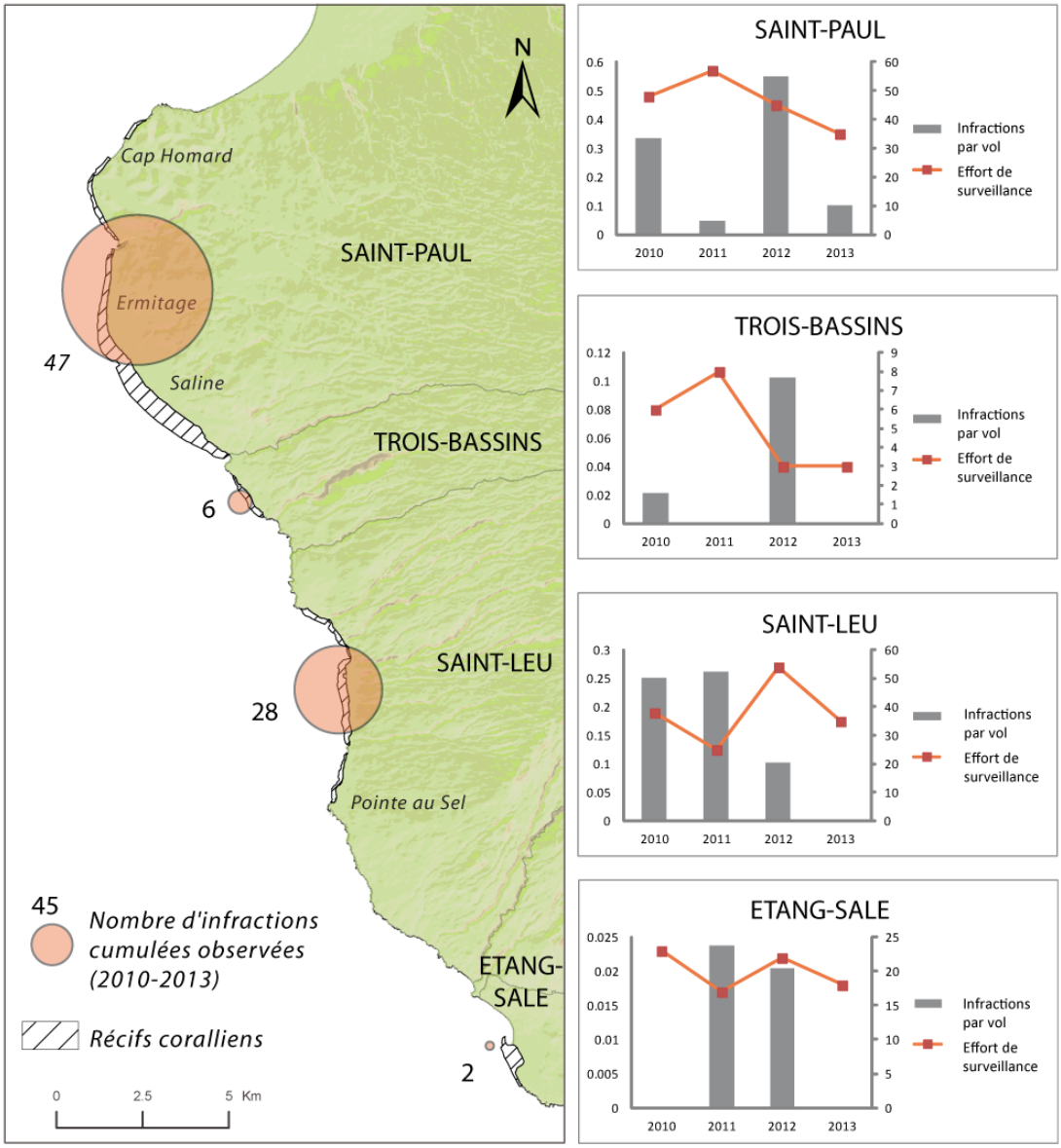


Figure 107 - Répartition spatiale des infractions (tous types) par les chasseurs sous-marins et effort de surveillance par le GIPRNMR par commune entre 2010 et 2013

8.A.1.3. Diagnostic spatio-temporel des infractions en zones sanctuaires

Les zones de protection intégrales sont pour rappel interdites à toute activité humaine et concernent donc tous les usages. Il en existe en cinq endroits de la réserve, à l'Ermitage, la Saline sur la commune de Saint-Paul, à Pointe Châteaux et Varangue sur la commune de Saint-Leu, et à l'Etang-Salé (Figure 108a). Entre 2010 et 2013, près de 504 infractions en zone de protection intégrale ont été recensées, soit 3,16 observations par vol. Entre 2010 et 2011 le nombre moyen d'observations est passé de 4,1 à 2,9 infractions pour remonter à 3,1 infractions en 2012 et baisser à nouveau en 2013 à 1,8 infraction. L'essentiel des délits d'infractions à la réglementation spécifique des zones de protection intégrale se commet sur la zone sanctuaire de l'Ermitage qui concentre en moyenne 46 % des observations au regard du reste sur la période 2010-2013.

Entre 2010 et 2013, nous avons observé 504 infractions, contre 108 pour le GIPRNMR. Sur cette même période, l'effort d'échantillonnage a été de 371 missions par les écogardes et de 159 vols pour les besoins de cette étude.

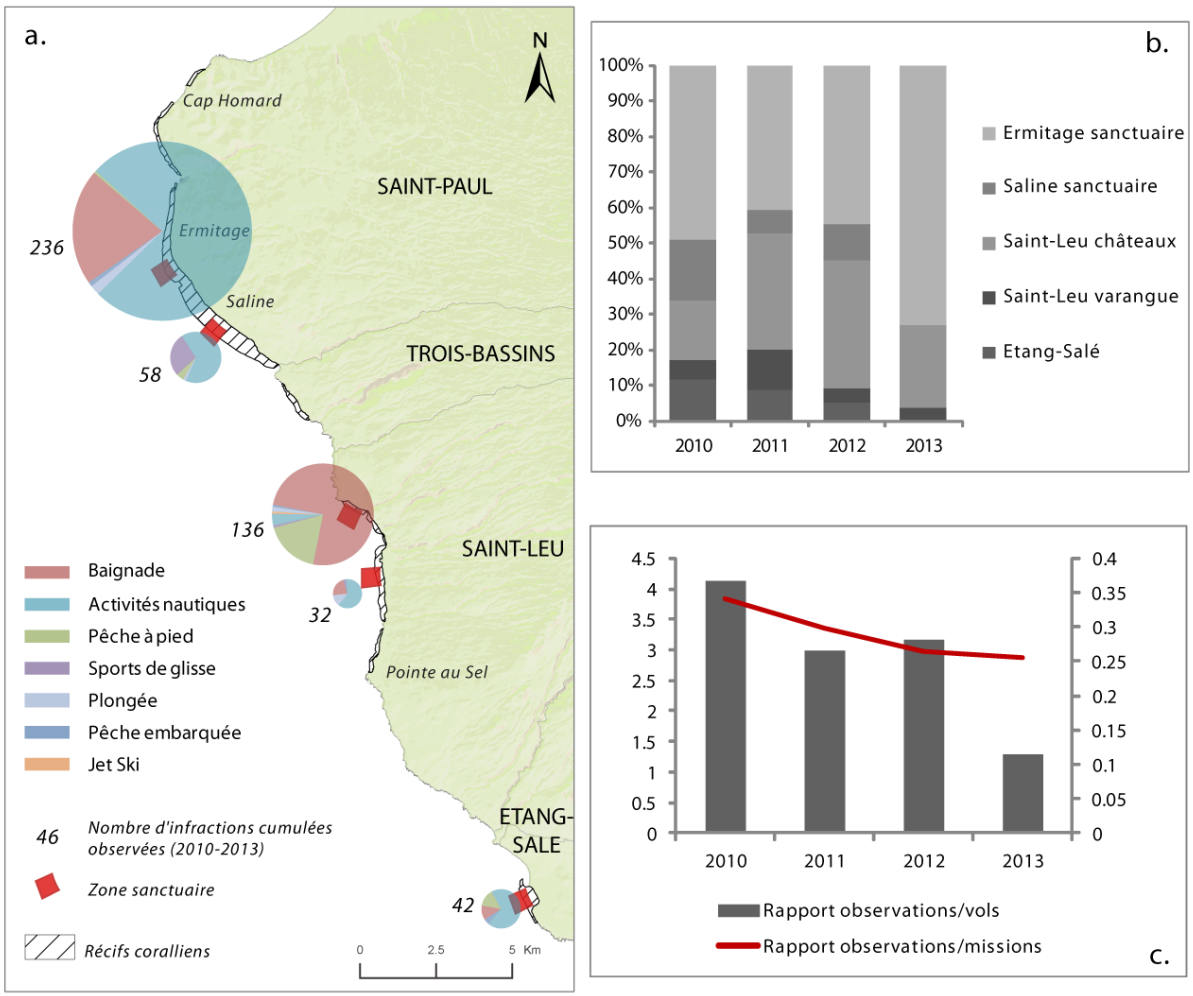


Figure 108 - Répartition spatiale des infractions 2010-2013 en zones de protection intégrale et usages impliqués (a.), répartition spatio-temporelle des observations (b.) et comparaison des rapports entre observations d'infractions et effort d'échantillonnage pour les missions GIPRMNR et nos missions (c.)

Les zones sanctuaires sont délimitées en mer par des bouées jaunes. Etant parfois séparées par de longues distances, il est difficile pour un usager de visualiser les limites de la zone, ce qui induit une perception approximative du périmètre et favorise les délits d'infractions involontaires. Les infractions sont donc souvent le fait des activités nautiques (52,7 % des observations), plus spécifiquement des pratiquants de Palmes-Masque-Tuba et des baigneurs dans un second temps (32,1 % des observations) (Figure 108 a.). À la Saline, une part importante des délits sont imputables aux sports aérotractés que sont le kitesurf et le windsurf (58 observations d'infractions entre 2010 et 2013 soit 0,35 observation par vol) (Figure 108b).

En matière d'évolution sur la période concernée, la plupart des sites sont marqués par une baisse du nombre moyen d'observations entre 2010 et 2011 (- 27 %) et une hausse en 2012 (+6 %), faisant ainsi écho à l'évolution de l'effort d'échantillonnage par les écogardes sur la même période (-7 % entre 2010 et 2011 et +16 % entre 2011 et 2012) (Figure 108 c). Seul le site de Saint-Leu Pointe Châteaux est marqué par une augmentation constante du nombre moyen d'observations d'infractions sur la période (+66 % entre 2010 et 2012) (Figure 108 b.), qui sont essentiellement le fait de baigneurs.

8.A.1.4. Élaboration d'un indicateur de gouvernance relatif à l'efficacité de surveillance

L'exploitation des données d'infractions observées en vol peut-elle contribuer à élaborer un indicateur de gouvernance relatif à l'efficacité de surveillance par le GIPRNMR ? Cet indicateur doit fournir une information renseignant sur la capacité du gestionnaire à optimiser la mission de surveillance. Nous postulons que l'effort de surveillance déployé est considéré comme efficace dès lors que sa décrue ou son accroissement se traduisent respectivement par une augmentation et une baisse des délits d'infraction à la réglementation. L'effort de surveillance a été évalué ici à partir du nombre de missions de surveillance réalisées par le GIPRMNR sur les créneaux horaires de vol (10h00-11h00), par période de suivi (janvier-juillet) et par commune.

Un lien positif est observé entre les rapports observations d'infractions/effort d'échantillonnage pour les deux types de suivis : notre suivi de fréquentation aéroporté et les observations de terrain au sol par les écogardes. Ce constat permet d'asseoir la légitimité de la production d'un indicateur fiable à partir de notre protocole, informant le gestionnaire sur le respect de la réglementation.

Une relation avérée entre les observations d'infractions par nos soins et l'effort d'échantillonnage déployé par le gestionnaire aurait pu constituer un indicateur de gouvernance servant à mesurer l'efficacité de gestion, c'est-à-dire dans quelle mesure la surveillance a un effet sur les variations du nombre d'infractions. Ce lien, testé dans nos précédents paragraphes, s'est avéré positif uniquement pour deux communes (Trois-Bassins et Saint-Leu) pour la pêche à pied traditionnelle, et pour trois communes (Saint-Leu, Saint-Paul et Etang-Salé) pour la chasse sous-marine. Compte tenu de cette disparité, nous n'avons pas retenu ce dernier indicateur. Il nécessiterait pour son élaboration, une effort de synchronisation entre les missions aéroportées et les missions de surveillance au sol en termes de créneau horaire.

Enfin, il est à noter que ces indicateurs de gouvernance peuvent renseigner le gestionnaire sur l'acceptabilité de la réglementation par les usagers telle que mesurée par A. Thomassin (2012) dans le cadre de sa thèse. Pour ce faire, les métriques sur les divers types d'infractions devraient être complétées par des métriques d'opinion des usagers sur le dispositif réserve marine.

8.A.2. Cartographie de la pression anthropique directe : vers des indicateurs de pression

La cartographie thématique des pressions élaborée à partir d'une démarche méthodologique décrite en 7.B.1. permet de mettre en lumière les secteurs d'importance prioritaires en matière de stratégie de réduction des pressions à adopter.

La pression liée aux activités extractives de type pêche embarquée, pêche à pied et chasse sous-marine se répartit équitablement à l'échelle du territoire de la réserve. Elle est plus forte dans les zones où le plus grand nombre de chasseurs sous-marins au kilomètre linéaire a été observé. Il s'agit des zones de pentes externes (PE) de Saint-Leu Pointe au sel et Colimaçons (37,3 et 32,9 chasseurs/kml)[165] (Figure 109). La zone de la passe de Trois-Bassins est classée en zone à très forte pression par les effets cumulés d'une importante présence de chasseurs et de bateaux de pêche (25 chasseurs/kml et 0,6 bateau/ha). La pente de Roches-Noires doit son classement en zone sous forte pression à une forte présence des bateaux de pêche, expliquée par la proximité du port de Saint-Gilles (1,4 bateau/ha).

[165] Rappelons que la surreprésentation relative de l'activité de chasse sous-marine réside dans le poids attribué à cette activité lors des opérations de pondération (7.A.3.2.1.2.), un choix justifié par les impacts relatifs de cette activité par rapport aux autres activités de pêche.

La pression liée aux activités pouvant induire des impacts mécaniques par contact avec le substrat corallien est plus forte dans les zones de dépression d'arrière-récif de Saline nord du fait d'une surreprésentation des activités de windsurf (28,8 observations/kml), de canoë-kayak (247,4 obs./kml), de paddle (192,6 obs./kml) et de pédalo (62,1 obs./kml), et de Saline trou d'eau pour cause d'une surreprésentation des sports de glisse aérotractés (kitesurf et windsurf), du canoë-kayak (6,2 obs./kml), et de paddle (5 obs./kml) (Figure 109). Les zones apparentées à de "fortes" pressions que sont les dépressions d'arrière-récif de l'Ermitage sanctuaire et sud sanctuaire sont très fortement fréquentées par les baigneurs dont le cumul d'observations pour ces zones atteint respectivement les 21,4 et 36,9 usagers au mètre linéaire. Les zones apparaissant en second lieu sous "fortes" pressions, correspondent essentiellement à des zones fréquentées par les surfeurs, notamment les passes, à l'instar de la passe de Trois-Bassins où 17 surfeurs au mètre linéaire ont été observés sur la période 2010-2013, ou la passe de l'Etang-Salé où 15,8 surfeurs/ml ont été observés sur la même période.

Les cartographies des pressions liées aux risques d'interactions avec la mégafaune (concerne donc les engins motorisés et/ou les engins à vitesse) et des pressions liées aux risques de pollution (concerne donc les engins motorisés seuls) laisse apparaître des similarités en matière de répartition spatiale des niveaux de pression. Le secteur nord de la réserve est soumis aux pressions les plus fortes par les engins motorisés à l'instar de la pente externe de Roches-Noires où la "très forte" pression s'explique par de fortes représentations des bateaux de pêche (1,3 obs./ha) et des jet-skis (2,7 obs./ha) (Figure 109). La zone de pente externe d'Ermitage nord qui jouxte le port doit son classement en zone sous très forte pression à une surreprésentation par les bateaux de découverte du milieu marin (0,34 obs./ha), et la pente externe de Cap Champagne appartient à la même catégorie du fait d'une forte présence cumulée de bateaux de plongée entre 2010 et 2013 (348 obs./kml). Le secteur de Saint-Leu sud est également caractérisé par une forte présence de bateaux de plongée, puisqu'il concentre les principaux spots de plongée saint-Leusiens.

8.A.2.1.Cartographies thématiques des pressions par risque d'impact associé

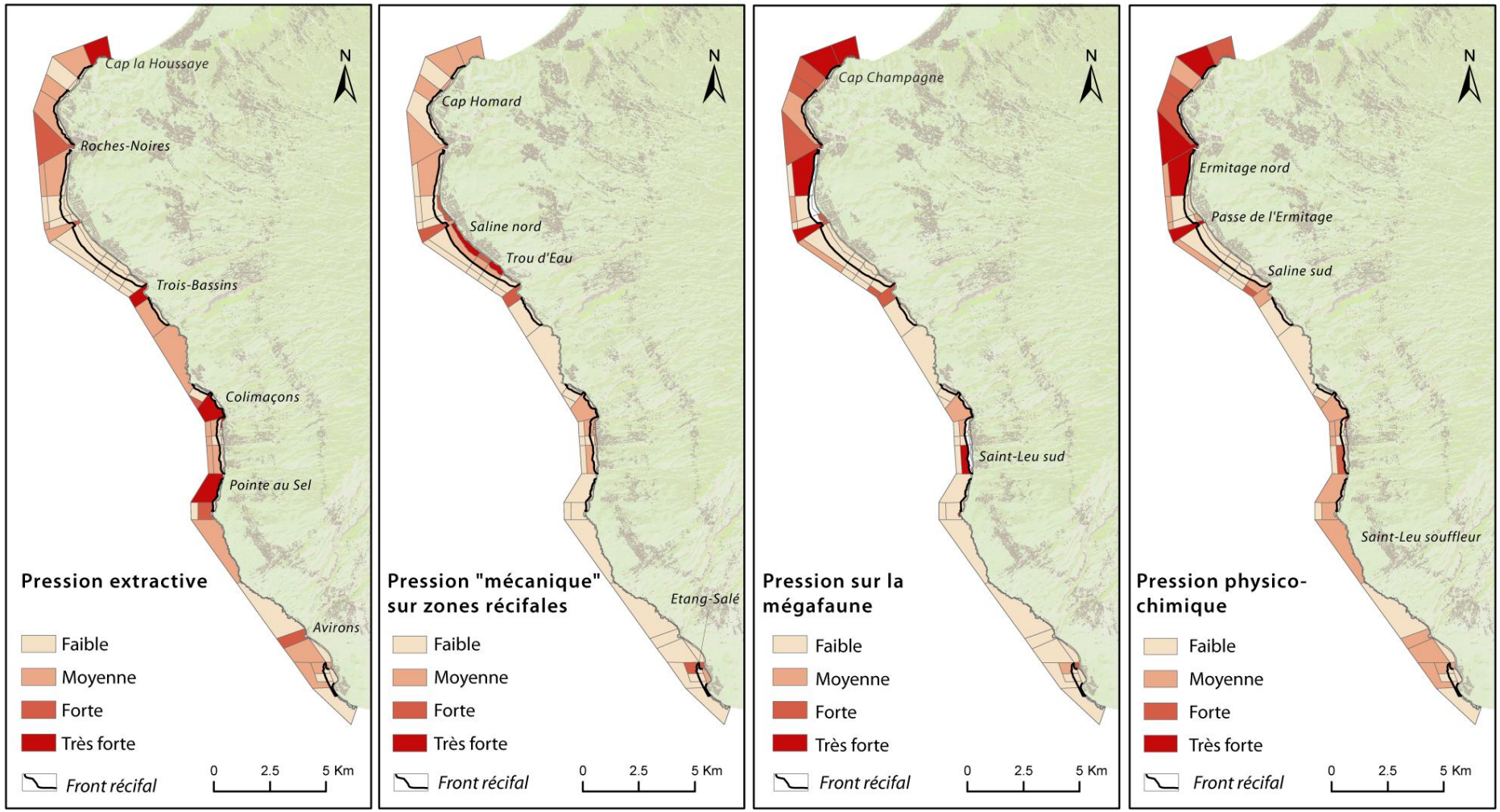


Figure 109 - Cartographie des pressions par type, pondéré au score d'impact

La pression liée au risque d'interaction avec la mégafaune est moins spatialement diffuse que la précédente. Elle est plus particulièrement forte sur les secteurs de pente externe de Cap Champagne, d'Ermitage passe et de Saint-Leu sud du fait d'une surreprésentation de bateaux de plongée (151,7 obs./kml, 173,7 obs./kml et 139,2 obs./kml entre 2010 et 2013) (Figure 109). Pour cette dernière zone, la présence d'un spot de surf relativement bien fréquenté (151,2 obs./kml) contribue à son classement en zones de très fortes pressions. La pente externe d'Ermitage nord est associée aux zones sous très forte pression par les effets combinés d'une présence marquée des bateaux de plongée (67,3 obs/kml), des surfeurs (43,7 obs./kml) et de la présence modérée de jet-ski et de bateaux de pêche du fait de la proximité au port. Enfin les zones classées en "forte" pression sont souvent associées aux sports de glisse, à l'instar de Cap Homard, Boucan-Canot, Saint-Leu la corne ou Etang-Salé.

8.A.3. Proposition de métriques retenues au regard des enjeux de gestion

Le tableau ci-dessous présente les métriques retenues car jugées pertinentes du point de vue de la gestion, et pouvant prétendre à être intégrées au plan de gestion. Certaines découlent des analyses faites en amont dans cette thèse, d'autres, jugées plus "simples" dans leur élaboration sont présentées directement dans ce tableau.

Pour certaines métriques, la donnée de référence est celle de 2010, dont la donnée fait office de "point zéro". Les variations interannuelles, comme autant d'évolutions positives ou négatives, constituent donc un résultat en soit pour le gestionnaire. Pour d'autres métriques, le seuil ne pourra être fixé sans référence à d'autres études qui auront visé par exemple à établir des seuils de capacité de charge du milieu concerné. La donnée recueillie dans le cadre de cette étude fait alors office de donnée de référence pour les suivis à venir dans la définition des seuils (Tableau 46).

Rappelons que certaines métriques ont été retenues à partir des relevés 2010 de notre suivi de fréquentation dans le cadre du projet PAMPA et d'ores et déjà intégrés au tableau de bord des indicateurs de la réserve (annexe 13) et ne seront pas présentées ici. D'autres métriques peuvent être extraites de notre protocole, pouvant renseigner le gestionnaire sur les risques de conflits d'usages à partir du tableau de représentation relative des usages à l'échelle des zones.

Tableau 46 - Tableau de métriques types pouvant être extraites de la base de données et contribuer à bâtir des indicateurs.

Thème	Libellé de la métrique	Jeu de données	Traitement opéré	Seuils envisagés/donnée de référence	Remarques
Gouvernance	Infractions en zones sanctuaires	Fréquentation matin et aprèm	Fréquence des infractions par année et par zone sanctuaire (nbre observations en zone sanctuaire/nbre de vol pour l'année)	L'indicateur pertinent pour le gestionnaire est un indicateur d'évolution. **Toute évolution positive inter-annuelle** du nombre d'observations traduisant un défaut d'efficacité de gouvernance	Peut être décliné pour chaque activité en cause, en fonction de leur degré d'impact. Révélateur de l'efficacité de surveillance, pointe les zones où renforcer surveillance.
	Infractions par les pêcheurs à pied traditionnels 1 (en ZAP et ZIP et zones sanctuaires le matin)	Fréquentation par les pêcheurs à pied le matin	Fréquence (obs/nbre de vols) par zone ZAP et ZIP par an		Métriques qui informent sur la répartition spatio-temporelle des infractions de pêche et révélatrice de l'impact des politiques de surveillance, en vue de les optimiser, suivi annuel
	Infractions par les pêcheurs à pied traditionnels 2 (en ZAP, ZIP, PPT et zones sanctuaires l'après midi)	Fréquentation après-midi des pêcheurs à pied	Fréquence (obs/nbre de vols) par zone ZAP, PPT et ZIP par an		
	Infractions par les chasseurs sous-marins en zones non autorisées	Fréquentation matin et après-midi	Fréquence (cumul des obs/nbre de vols) dans les zones non autorisées		
	Efficacité de surveillance	Observations d'infractions en zones de protection intégrale matin et après-midi, toutes activités et observations d'infractions par le GIPRNMR sur les créneaux de vols (10h-11h et 15h30-16h30)	Ecart entre les ratios *nombre d'observations d'infractions/effort d'échantillonnage* pour les deux suivis au sol par le GIPRNMR et aéroporté	Plus l'écart est important plus il signe un défaut d'efficacité de la surveillance soit en termes d'échantillonnage, soit en termes de zones ciblées.	Métrique pouvant être déclinée pour les autres activités concernées par des interdits, telles que la pêche à pied, la chasse sous-marine ou les sports aérotractés (kitesurf, windsurf).
	Dispositifs d'amarrage : adéquation entre l'offre et la demande	Plongée sous-marine, matin et après-midi	Nombre moyen de bateaux par dispositif d'amarrage	Au-delà de deux bateaux par dispositif d'amarrage aux heures de sortie des bateaux de plongées (entre 9 et 11h le matin et entre14 et 16h l'après midi), on considère que le dispositif est en surcharge	S'assurer de la bonne adéquation entre l'offre en dispositifs et des besoins de la part des usagers. En vue d'éviter une surfréquentation des spots et mieux répartir la pression
Pression	Pression à risque d'impact sur la ressource	Fréquentation cumulée annuelle par - pêche à pied, - pêche embarquée - chasse ss.-marine	Cumul des observations pondéré à la surface de la zone ou au kilomètre linéaire selon l'usage, standardisé puis pondéré au score d'impact. Réalisé par zone (table de pondération en 6.B.2.1.)	-3,51 < FAIBLE > -0,96 -0,96 < MOYEN > 5,11 5,12 < FORT > 14,45 14,46 < TRES FORT > 24,06	Le seuil au-delà duquel la pression a des impacts réels sur le milieu ne peut être déterminé à partir de cette étude. Des données de quantification des impacts et de relations pression-impacts restent à réaliser, afin de déterminer la capacité de charge pour chaque zone. Pour l'heure, à partir de cette étude de référence, les classes "FORT" et "TRES FORT" constituent le seuil de référence
	Pression à risque d'impact mécanique sur récifs	Fréquentation cumulée annuelle par : - Baigneurs - Activités nautiques - Plongée	Cumul des observations pondéré à la surface de la zone ou au kilomètre linéaire selon l'usage, standardisé puis pondéré au score d'impact. Réalisé par	-2,51 < FAIBLE > -0,21 -0,22 < MOYEN > 5,81 5,82 < FORT > 15,97	

		- sports de glisse	par zone (table de pondération en 6.B.2.1.)	15,98 < TRES FORT > 30,21	(*exemple, la pression à risque d'impact sur la ressource est envisagée comme soutenable si elle est inférieure à 5,12, et non soutenable si supérieure à ce seuil*). Métrique à suivre dans le temps, changement lent donc tous les 3 à 5 ans, à moins d'une crise.
	Pression à risque d'impact physico-chimique	Fréquentation cumulée annuelle par : - bateau de pêche - bateaux de découverte du milieu marin - Bateaux de plongée - jet-ski	Cumul des observations pondéré à la surface de la zone ou au kilomètre linéaire selon l'usage, standardisé puis pondéré au score d'impact. Réalisé par zone (table de pondération en 6.B.2.1.)	-1,29 < FAIBLE > -0,28 -0,29 < MOYEN > 1,88 1,89 < FORT > 5,30 5,31 < TRES FORT > 11,46	
	Pression à risque de collision avec et de dérangement de la mégafaune	Fréquentation cumulée annuelle par : - Jet-ski - Pêche embarquée - Découverte du milieu - Plongée ss.-marine - Kitesurf - Windsurf - Surf	Cumul des observations pondéré à la surface de la zone ou au kilomètre linéaire selon l'usage, standardisé puis pondéré au score d'impact. Réalisé par zone (table de pondération en 6.B.2.1.)	-3,77 < FAIBLE > 1,23 1,24 < MOYEN > 15,60 15,61 < FORT > 34,91 34,92 < TRES FORT > 59,94	
	Pic de fréquentation observé par zone	Maximum observé sur l'année par activité et par zone sur toute la durée du suivi	Maximum brut suffisant dans perspective comparaison des mêmes zones entre elles dans le temps	Indicateur utile lorsque mesuré sur le long terme. Le pourcentage d'évolution constitue l'indicateur de référence, toute évolution positive étant perçue comme une augmentation des pressions	Permet un suivi dans le temps des évolutions en termes de pressions anthropiques sur le milieu. Des études sur la capacité de charge des différentes zones manquent pour déterminer un seuil fixe au-delà duquel des stratégies de réduction de la pression par le déplacement des aménagements, des infrastructures et des services sont à envisager Peut être décliné pour chaque activité. Métrique à suivre annuellement.
	Pic de fréquentation observé sur les platiers de l'Ermitage et la Saline	Maximum observé sur l'année toutes activités comprises sur les zones de platier (PL)	Maximum brut suffisant dans perspective comparaison des mêmes zones entre elles dans le temps		Le platier est la partie du récif où la couverture corallienne est la plus dense et la vie plus riche, et toute pression y est plus lourde de conséquence. Métrique à suivre annuellement, indique évolution des pratiques.

8.B. Le suivi de fréquentation comme un outil de la gestion : condition de son intégration au plan de gestion

La gamme des indicateurs proposés dans le cadre de cette thèse ne peut prétendre à être intégrée au plan de gestion si la pérennisation du suivi n'est pas garanti. Le protocole ainsi déployé présente quelques limites inhérentes à ses outils, aux coûts engendrés par ces derniers et au budget alloué à ces fins par le gestionnaire, qui ne facilitent pas d'entrée sa reproduction. En outre, selon la priorisation des actions par le gestionnaire, les suivis socio-économiques peuvent être relégués au second plan et ne pas bénéficier d'un budget dédié. En somme, la reproductibilité du protocole dans un contexte de gestion va dépendre de :

- de la reproductibilité intrinsèque du protocole développé ;
- du positionnement du gestionnaire au regard des problématiques de fréquentation en termes de priorités, ce qui implique la question :
    - des moyens alloués par ce dernier, ou par une institution tierce qui souhaite subventionner le suivi parce qu'elle montre un intérêt pour ce type de données ;
    - des possibilités en termes de mise en disponibilité d'un ou plusieurs employés de l'AMP pour réaliser le suivi, ou la collaboration durable avec une institution de recherche.

Des observatoires de la fréquentation recensés en France par N. Le Corre *et al.*, (2011), sont ici listés et la variété les paramètres qui déterminent leur reproductibilité sont identifiés. En vue de rendre le suivi de fréquentation élaboré dans le cadre de cette thèse reproductible et intégrable au plan de gestion, les conditions de cette intégration qui relèvent à la fois de la politique menée par le gestionnaire, du budget alloué, mais également des caractéristiques du terrain d'étude sont évaluées. Enfin, un calendrier optimisé au regard des enseignements tirés est proposé.

8.B.1. Contribution du suivi à la gestion : apports et limites

Les apports du suivi de fréquentation à la gestion sont nombreux : de l'amélioration simple des connaissances du gestionnaire sur les usages et leur répartition, aux métriques identifiées pouvant déboucher sur des indicateurs intégrables au plan de gestion.

8.B.1.1. Une intégration tardive de la connaissance sur les usages

Reproduit chaque premier semestre entre 2010 et 2012, et prolongé entre août 2012 et août 2013, le protocole de suivi de la fréquentation a permis, par le biais d'analyses et grâce à un nombre important de réplicas (48 par an) de mieux caractériser les répartitions spatiale et temporelle pour les 15 usages suivis. Cette connaissance, acquise tardivement au regard des conflits d'usages historiques existants et du rôle important joué par certains groupes d'usagers dans le fil historique de la création de la réserve marine (Thomassin, 2011), est importante à de nombreux égards pour le gestionnaire dont l'une des missions fixées par l'Agence des Aires Marines Protégées est, entre autres, de garantir le maintien raisonné et durable des usages. Ce dernier est conditionné par une utilisation durable des ressources (techniques de pêche respectueuses, limitations de pêche) et une paix sociale intra et inter-communautaire.

D'une part les données apportent une connaissance initiale, l'année 2010 étant exempte de tout événement marquant qui aurait pu contribuer à impacter les dynamiques de répartition. Cette connaissance est précieuse au regard des perturbations qui se sont succédées dès le premier

semestre 2011 (crise requin, événements de pollution de Saint-Leu, etc.). Les schémas de répartition pour cette année 2010 ont été décrits dans un rapport au gestionnaire (Lemahieu *et al.*, 2010). Des outils, sous forme de tableaux avaient été proposés pour contribuer à optimiser les missions de surveillance par les écogardes, et à mieux cibler les espaces à potentiel de conflits d'usages en cernant mieux les aires privilégiées de répartitions spatiale et temporelle des groupes d'usagers (Lemahieu *et al.*, 2013).

D'autre part, le rôle structurant joué par les usages à l'échelle du territoire de conservation est souvent négligé lors des phases d'évaluation et de diagnostics en amont d'une mise en réserve. Comme théorisé par G. David *et al.* (2006) dans leurs travaux sur les concordances et discordances territoriales en contexte de gestion, une inadéquation entre le classement d'un espace en zone réglementée et le territoire des usages (territoire d'usage réel et territoire des perceptions) peut résulter dans une mauvaise acceptation du dispositif de conservation. Les premières études de fréquentation menées en 2010 avaient permis de mettre en lumière les inadéquations pouvant exister entre l'usage réel du territoire et le zonage de gestion utilisé comme référentiel spatial dans le cadre de ce suivi[166]. Il s'en était suivi des discussions concernant les réadaptations et ajustement possibles à apporter. En 2012 puis en 2013, le GIPRNMR en collaboration avec l'IRD et l'IFREMER a apporté les améliorations recommandées par le rapport sur le suivi de fréquentation (Lemahieu *et al.*, 2010) afin de le rendre plus cohérent au regard des problématiques de fréquentation. Cette démarche témoigne de la reconnaissance du gestionnaire vis-à-vis du rôle structurant des usages à l'échelle de son territoire et d'une volonté réelle de ce dernier d'intégrer durablement ce suivi au plan de gestion. Ainsi, dans son premier plan de gestion (GIPRNMR, 2012), la question du développement raisonné des usages conciliables avec la protection de la biodiversité marin apparaît au deuxième rang des "objectifs idéaux" fixé par le gestionnaire.

Les séries temporelles résultant des 4 années de suivis ont permis dans le cadre de cette thèse d'envisager la construction d'indicateurs dont la vocation est de renseigner le gestionnaire sur sa capacité à atteindre ses missions. À partir de nos données quantitatives sur les usages, il nous a été possible de développer deux types d'indicateurs : des indicateurs de gouvernance, et des indicateurs de pression. Ces travaux marquent une étape supplémentaire dans l'intégration d'indicateurs socio-économiques au tableau de bord de l'AMP, se succédant aux indicateurs d'acceptabilité sociale développés par A. Thomassin (2011) dans le cadre de sa thèse, et intégrés au plan de gestion via le programme PAMPA (Tessier *et al.*, 2011). En outre, certains usages ou autres paramètres, s'ils n'ont pas été intégrés à la table des métriques, se sont néanmoins révélés être de bon indicateurs de certaines dynamiques, à l'instar de l'activité de surf dont les variations sont un indicateur de crise requin (cf. 6.D.1.), ou la présence accrue de commodités peut s'avérer un bon indicateur d'attractivité pour les activités plagiques notamment (cf. 5.C.3.).

[166] Suite à la première campagne de suivi menée en 2010, nous avions pointé du doigt certaines limites inhérentes au zonage qui se trouvait par certains endroits inadapté (ne reflétant pas la répartition réelle), ce qui avait abouti au reclassement de certaines zones, et à un zonage modifié et de meilleure résolution spatiale (105 zones en 2010, 113 en 2012 et 115 en 2013). Dans le cadre de cette thèse, seules les modifications de 2012 ont été apportées afin de réduire les implications en matière de reclassement des données a postériori.

8.B.2. Conditions d'intégration du suivi de fréquentation à un plan de gestion en contexte d'AMP : le cas réunionnais

8.B.1.1. La pérennisation par la mise en observatoire

N. Le Corre *et al.*, (2012) ont identifié dans leur état de l'art sur les suivis de fréquentation des espaces marins, littoraux et insulaires, 23 observatoires de fréquentation littorale existant en France. Nous en avons identifié 15 qui intègrent, du moins en partie, des comptages directs d'une ou plusieurs activités pratiquées sur l'estran, en zone marine ou les deux, (Tableau 47) et dont les plus anciens ont 13 ans (Observatoires du parc marin de la Côte Bleue et îles du Frioul lancés en 2002). Les observatoires couvrant les plus grandes superficies (Bountîles Nautisme en Finistère, ou Parc National de la Guadeloupe) ont des fréquences de suivis quinquennales, et recourent à des outils automatisés (écocompteurs), ou plus rarement, à des survols en avion ou ULM (observatoires Bountîles de Chausey et du Finistère, observatoire marin du littoral des Maures et GIPREOL de l'île d'Oléron). Une autre technique de comptage indirect consiste à exploiter les données de billetterie sur site touristique (Mont Saint-Michel) ou les données des transporteurs maritimes (Bountîles de Chausey, Port-Cros et Porquerolles).

En termes de fréquence des suivis, les deux observatoires couvrant les plus grandes superficies à échantillonner (Bountîles nautisme en Finistère et Parc National de Guadeloupe) ont opté pour une fréquence quinquennale. Plus la superficie diminue, plus les suivis de fréquence annuelle (Bountîles Chausey), voire quotidienne (Bountîles Mont Saint-Michel) prédominent. Ainsi, la taille de la surface à échantillonner dans le cadre des suivis de fréquentation influence fortement l'effort d'échantillonnage : d'une façon générale, plus la surface est grande et plus la fréquence des suivis s'espace.

Le nombre d'usages suivis ainsi que la nature des données acquises (quantitatives, qualitatives ou comportementales) sont fortement variables d'un observatoire à un autre et ne semble pas répondre au critère de la taille du terrain d'étude. En termes de moyens humains, c'est souvent une seule personne, généralement employée du dispositif de conservation, qui est mobilisée à temps plein sur cette mission (Bountîles du Finistère, de Port-Cros Porquerolles et Chausey) ou à mi-temps (îles du Frioul). Étant donné que les autorités ou les gestionnaires d'AMP travaillent souvent en collaboration avec des scientifiques, cette main-d'œuvre est ponctuellement renforcée par des stagiaires étudiants ou du personnel en CDD (Observatoire marin du Littoral des Maures). Plus rarement, le dispositif recourt exceptionnellement à des "extras", jusqu'à 5 employés supplémentaires pour le Littoral des Maures.

La durée de l'échantillonnage propre à chaque observatoire (de 4 jours pour les îles du Frioul à 6 mois pour l'Observatoire des Pratiques de Tourisme et de Loisirs de Charentes-maritimes), l'effort d'échantillonnage (non renseigné) et la main-d'œuvre déployée sont trois variables fortement interdépendantes. Très souvent en contexte de gestion, les moyens humains disponibles (et souvent limités) vont souvent déterminer en amont les deux premiers paramètres, et les suivis calibrés au regard de ces critères. Dans certains cas, la taille importante des surfaces à échantillonner va fortement influer sur les variables "effort d'échantillonnage", "fréquence des suivis" et "main-d'œuvre déployée", et c'est ce paramètre qui primera dans le calibrage de l'observatoire.

Enfin, la variable "levier" peut parfois résider dans le budget alloué à ce type d'étude, ce qui peut résulter dans le choix de sites pilotes (les observatoires GIPREOL ou les "Plans plage" de Gironde) si le gestionnaire souhaite privilégier une fréquence élevée de suivis.

La capacité d'un suivi à être institué en observatoire pérenne en contexte de gestion (AMP) dépend donc de plusieurs paramètres relatifs à la taille du terrain d'étude, la main-d'œuvre déployée et les moyens techniques et financiers dédiés. Or, le budget d'un gestionnaire, non identifié dans la synthèse bibliographique de N. Le Corre *et al.* (2012) est fortement dépendants des fonds publics qui sont eux-mêmes amenés à varier d'une année sur l'autre. Aussi, s'il souhaite s'engager dans la production d'un indicateur relatif aux données de fréquentation il doit s'assurer que sa reproduction et les moyens (humains et financiers) seront garantis sur le long terme, indépendamment des fluctuations financières budgétaires. Or, les avances récentes faites dans le domaine du suivi de la fréquentation ont été à la fois marquées par une volonté de réduction des coûts, mais également par une volonté d'aller vers un gain de précision dans la collecte des données (Moore, 2012).

8.B.1.2. Une reproductibilité dépendante du rapport "Moyen-Outils-Terrain" (MOT)

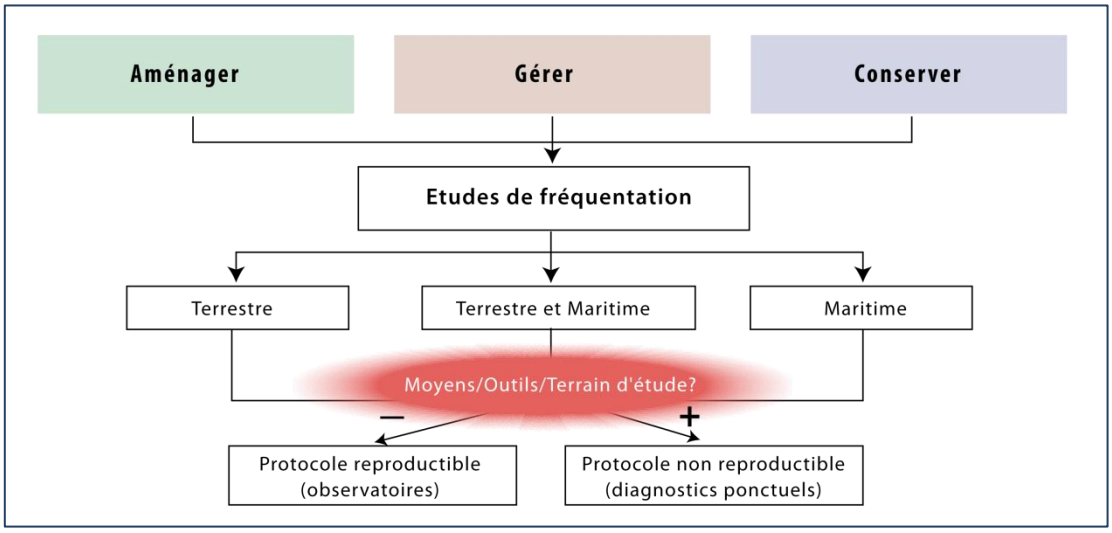


Figure 110 - Arbre de décision dans l'élaboration d'un protocole de fréquentation. Du rapport Moyens/Outils/Terrain dépendra sa capacité à être reproductible sur le long terme.

L'analyse des caractéristiques des observatoires existants en France a permis d'identifier les variables régissant la capacité des dispositifs à être reproductibles ou non (Figure 110). Nous les avons regroupées en trois catégories :

- Les moyens disponibles : qu'ils soient financiers humains, les moyens dédiés à l'étude vont largement contraindre la méthode. Les fonds alloués à de telles études ne sont généralement pas à la mesure de ceux qui sont débloqués pour les suivis écologiques dans un contexte de gestion. Depuis 2010 que l'Agence française des Aires Marines Protégées et le Ministère de l'environnement promeuvent et valorisent les études socio-économiques, on observe que de plus en plus de gestionnaires consacrent une partie de leur budget à ce type de suivis. La difficulté cependant réside dans leur intégration au plan de gestion et leur reproduction et financement d'une année sur l'autre ;
- Les outils mobilisés qui dépendent directement en grande partie du point précédent (moyens disponibles) mais qui doivent également êtres adaptés aux caractéristiques du

terrain (point suivant). Par exemple, le recours à un engin aéroporté ne pourra convenir en milieu fortement arboré (de type arrière-plage en contexte réunionnais). De la même façon, des compteurs automatiques situés en quelques points le long d'une plage à accès ouvert sur tout son linéaire aboutiraient à des résultats biaisés.

- Le terrain à étudier est généralement délimité en amont, et correspond de façon optimale au territoire de gestion, autrement dit le périmètre de l'AMP. Parfois, il peut être contraint par le rapport Moyens-Outils et se voir adapté (généralement réduit), bien qu'il est plus courant dans les faits que les moyens et les outils soient adaptés au terrain. Dans le cas de Mayotte, le Parc Marin étant de superficie trop importante (ZEE), il faudrait déployer de trop nombreux moyens humains et matériels et donc un budget trop important pour prétendre couvrir la totalité du territoire. Aussi dans ce cas, des sites pilotes doivent être choisis pour coller au budget alloué ou inversement.

Tableau 47 - Descriptif des observatoires de la fréquentation existants en France classés par superficie. À partir de Le Corre *et al.*, 2011 (NB : A noter que la superficie a été estimée par N. Le Corre *et al.*, ou par l'auteur à partir des informations contenues dans le rapport (estimations sur la base de Google Earth© et à partir d'une largeur générique de 200m de largeur de plage pour activités plage, et de 500m à la côte pour les activités nautiques).

Observatoire de la fréquentation	**Année de création**	**Superficie estimée (ha)**	**Activités**	**Méthode**	**Types d'indicateurs**	**Fréquence**	**Moyens humains**	**Eco-compteurs**	**Survols**
Bountfiles Nautisme en Finistère	2010	50 000	Mouillage et plaisance	Survols et photos obliques	Quantitatif et qualitatif	Quinquennale	1 mois et 3 semaines, une personne		1 survol 10 h
Parc national de Guadeloupe	2006	21 850	Activités balnéaires, plaisance, plongée	Comptages, enquêtes, écocompteurs	Quantitatif et qualitatif	Quinquennale + indicateurs annuels	N/A	N/A	N/A
Parc Marin de la Côte Bleue	2002	10 000	Plaisance, pêche, plongée, jet-ski, kayak, etc.	Comptages et enquêtes	Quantitatif et qualitatif	Annuelle, été	non renseigné	Non	Non
Observatoire marin (Littoral des Maures)	2010	6 000	Plaisance	Comptages en mer, survols ULM	Quantitatif	Annuelle, été	5 employés, CDD ou stages	Non	Survols ponctuels
"Qualiplages" Oléron : mise en place d'un observatoire de la qualité des plages renseigné	2008	5250	Plage, nautisme, sports de glisse	Enquêtes, entretiens, observation, comptages	Quantitatif, qualitatif et comportemental	Annuelle, été	4 mois collecte, 6 mois traitement	Non	non
Observatoire de la biodiversité et des usages marins et littoraux	2010	5000	Pêche, chasse ss-marine, plaisance, plongée, plage	N/A	N/A	N/A	Employés, moyens techniques parc, une personne à mi-temps, 90 000	Non	non
Bountfiles Chausey	2007	5000	Promenade, plage, plaisance, pêche à pied	QCM, comptages, écocompteurs, survols	Quantitatif, qualitatif et comportemental	Annuelle, été	2,5 mois, une personne	9	4/an
Observatoire des Pratiques de Tourisme et de Loisirs de Charentes-maritimes	2008	3150	Plage et Nautisme	Enquêtes, entretiens, observation, comptages, survols et photos	Quantitatif, qualitatif et comportemental	Annuelle, été	2 à 6 mois collecte X ?, 4 mois traitement		Oui mais cb ?
Bountfiles Port-Cros et Bountfiles Porquerolles	2005	3100	Plage, plaisance, plongée	QCM, comptages, écocompteurs, survols	Quantitatif et qualitatif	Annuelle, été	3 mois collecte X 1 personne x 4 périodes, étudiants	Oui mais cb ?	2 survols par an
« Plan Plages » Gironde	2003	920	Plage	Ecocompteurs, questionnaires	Quantitatif et qualitatif	Comptage continu, enquêtes quinquennales	Non renseigné	Oui mais cb ?	Non
Observatoire pêche à pied de l'île d'Oléron (GIPREOL)	2009	700	Pêche à pied	Observation directe, enquêtes, entretiens, comptages aérien et au sol	Quantitatif, qualitatif et comportemental	Bi-annuelle	3 mois collecte	non	1 survol
Iles du Frioul	2002	200	Plaisance, pêche, plongée, jet-ski, kayak, plage	Comptages directs et questionnaires	Quantitatif et qualitatif	Hebdomadaire à annuel en fonction des indicateurs	4 journées, 2 personnes	non	non
Bountfiles Mont-Saint-Michel	2009	30	Activités touristiques	QCM, comptages, observations, billetterie, écocompteurs	Quantitatif, qualitatif et comportemental	Quotidien	employés site, personnel enquêtes	Oui mais cb ?	non
Bountfiles Île de Saint-Riom	2011	9	Promenade, plage, plaisance, pêche à pied	Photos, comptages, photo aérienne, entretiens, relevés terrain	Quantitatif, qualitatif et pluridisciplinaire	Annuelle	oui non renseigné	non	Oui mais cb ?

Si lors de la conception d'un système de suivi de la fréquentation il est nécessaire de déterminer la meilleure combinaison de dispositifs et de méthodes en fonction des objectifs (Muhar *et al.*, 2002), les méthodes de suivi déployées dans la littérature sont généralement contraintes dans un rapport « Terrain d'étude – Moyens – Objet de l'étude ". C'est pourquoi les méthodes de suivi quantitatives de la fréquentation littorale recensées dans les articles sont-elles variables, en termes du (des) type (s) d'activité (s) recensé (s), d'outils et de moyens mobilisés (Le Corre *et al.*, 2011), du maillage spatial appliqué, et enfin en termes de récurrence des comptages, s'ils sont périodiques ou journaliers (Wallmo, 2003). D'ailleurs, ce type d'études se réalise souvent dans un contexte universitaire (Cazes-Duvat, 2002 ; Brigand et Le Berre, 2006) qui pourvoit par le biais de stages volontaires ou faiblement rémunérés une main-d'œuvre en nombre.

Afin d'illustrer au mieux ce rapport, nous avons représenté sur un plan en deux dimensions les implications en termes d'outils dans les variations du rapport moyen-terrain. Deux sites de taille différente ont été retenus pour cet exercice : La Réunion (44 km de linéaire côtier et 3500 hectares), et Mayotte dont le site est actuellement à l'étude pour la faisabilité d'un suivi de la fréquentation (73600 km² de zones protégées correspondant à la ZEE) (Figure 111). En vue de leur comparaison, nous avons considéré les distances à parcourir dans le cadre d'un vol en ULM (en trajet simple et non méandrique) sur le long de la côte à échantillonner, soit 44 kilomètres pour La Réunion et 261,3 kilomètres pour la seule île de Grande-Terre. Seuls les coûts engendrés par un déploiement d'écocompteurs n'ont pas pu être évalués précisément, puisque le nombre d'engins nécessaires pour couvrir la surface totale à échantillonner n'a pu être été défini faute de connaissance du terrain. Comme pour la méthode recourant à des observateurs itinérants, l'intensité de son déploiement est corrélée positivement à la taille du terrain d'étude. Enfin, seul le paramètre temporel manque à cette analyse, puisque nous postulons que la capacité d'un suivi à s'inscrire dans le temps et pouvoir prétendre à s'ériger en observatoire en contexte de gestion, dépend de sa capacité à réduire les coûts.

Dans tous les cas de figure, l'outil ULM apparaît comme optimal. Son coût qui varie en fonction du temps de vol, est marqué par une relative inertie liée à la capacité de l'appareil à réduire les distances-temps du fait de sa vitesse (90 km/h en moyenne). Inversement, l'augmentation de la superficie à étudier se fait en proportion avec l'augmentation de la main-d'œuvre nécessaire (Figure 111). L'option "observateurs itinérants", bien que 160 euros plus chère reste une solution qui n'est pas à exclure pour le cas réunionnais compte tenu du désengagement récent de l'Agence des Aires Marines Protégées vis-à-vis des protocoles de suivi recourant à des engins aéroportés. En revanche, pour Mayotte, cette solution est nettement plus coûteuse (1380 €). Pour pallier cette limitation dans le choix méthodologique, la sélection de sites pilotes représentatifs des dynamiques diverses peut s'avérer une solution optimale.

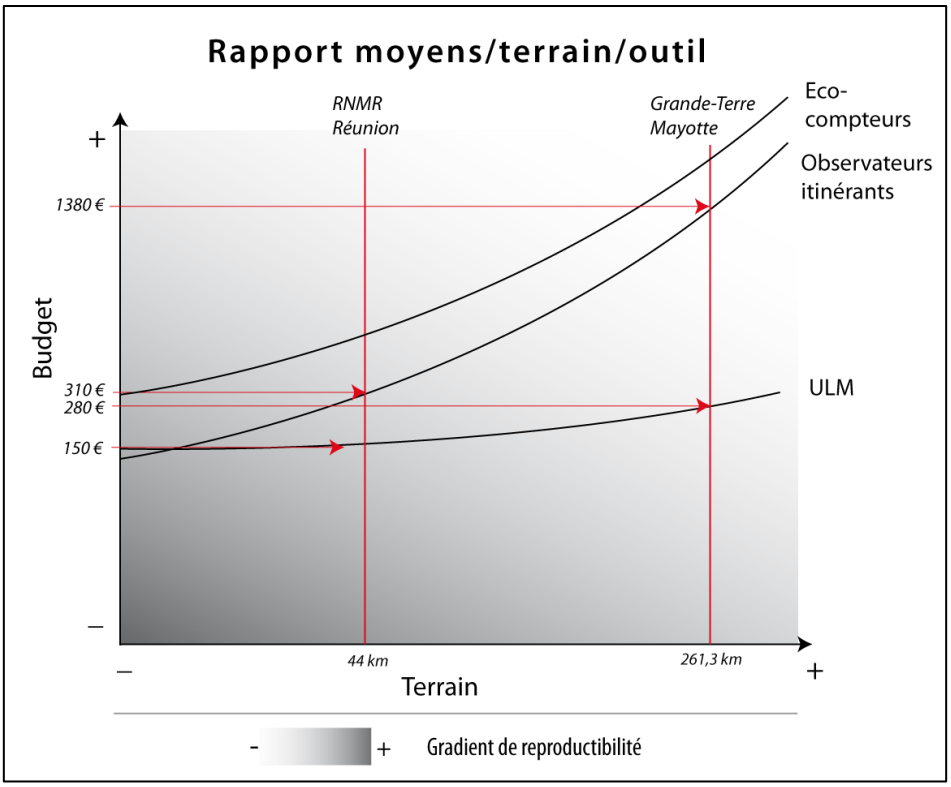


Figure III - Rapport entre terrain (en linéaire côtier cumulé), moyens et outils pour le cas réunionnais et le cas mahorais pour le déploiement d'une seule mission.

8.B.2.1. Comparaison des coût-avantages des méthodes au sol et ULM

En 2010, deux types de protocoles avaient été déployés : les suivis au sol et les suivis aéroportés. Afin de comparer les protocoles au sol et aéroporté entre eux, deux sites d'études aux dimensions et contraintes différentes, et tous deux en demande d'un observatoire ont été comparés entre eux : la RNMR et le Parc Marin de Mayotte (uniquement Grande-Terre pour les besoins de cet exercice) (Tableau 48). On postule, en vue de faciliter les comparaisons et de garantir un suivi qui minimise les biais, qu'un protocole au sol pour être efficace et pertinent, doit s'effectuer sur une durée minimale. Aussi, on prend ici pour durée de référence, le protocole le plus "rapide" qui s'avère être le protocole aérien dont la durée est de 50 minutes en contexte réunionnais et a été estimé à 2h55 en contexte mahorais.

Pour prétendre à être compétitif, le protocole au sol doit pouvoir être réalisé sur la même base de distance et de durée, pour un coût égal ou moindre. Dans les deux cas, une main-d'œuvre humaine est nécessaire. Son coût a été calculé sur la base du Smic horaire brut au 1er janvier 2014, à savoir 9,61 euros bruts de l'heure. Le besoin en main-d'œuvre est minime pour le protocole aérien (1 observateur) dans les deux cas. En revanche, il a été estimé à 78 observateurs nécessaires[167] pour couvrir la surface à étudier dans le temps imparti en contexte mahorais contre 18 pour La Réunion. Il en découle un coût en main-d'œuvre relativement conséquent pour le cas mahorais, soit 714 euros la mission. Dans ces frais sont compris les frais de déplacements en voiture. Nous avons estimé, au regard du nombre d'observateurs requis, qu'une quinzaine de voitures au minimum étaient nécessaires en contexte mahorais, lorsque 4 voitures suffisent pour le terrain réunionnais. En outre, pour cause d'un réseau routier peu développé et de la configuration du terrain, les distances à

[167] Calculé à partir d'une vitesse moyenne de déplacement de 2,5 km/h

parcourir sont plus importantes à Mayotte et donc plus coûteuses. Au final, l'écart de coût entre les méthodes au sol et aéroportée est bien plus significatif pour le cas mahorais que pour le cas réunionnais (Tableau 48).

Tableau 48 - Comparaison des coûts de mission pour les protocoles au sol et ULM, pour La Réunion (en h.) et Mayotte (en b.) calculé sur la base du tarif Félix ULM à La Réunion et par les Passagers du vent pour Mayotte (http://www.ulm-mayotte.com)

LA REUNION	**Protocole au sol**	**Protocole ULM**
Distance/temps à parcourir (linéaire RNMR aller-retour)	**88 km en 50 min**	
Coût de la main-d'œuvre en € par heure (base Smic brut en 2015)	*9,61*	
Coût logistique	**3€ essence x 4 voitures**	**150€ le vol + 3€ essence**
Main œuvre nécessaire	**18**	**1**
Coût de la mission hors traitements pour 50 min	**156**	**162,61**
Traitement des données	**1 observateur, 1 heure**	**1 observateur, 5 heures***
Coût total de la mission	**165,61**	**210,66**

MAYOTTE	**Protocole au sol**	**Protocole ULM**
Distance/temps à parcourir (pourtour de Grande-Terre)	**261,3 km en 2h55**	
Coût de la main-d'œuvre en € par heure (base Smic brut en 2015)	*9,61*	
Coût logistique	**6€ essence x 15 voitures**	**230€ le vol + 3€ essence**
Main œuvre nécessaire	**78**	**1**
Coût de la mission hors traitement pour 50 min	**714**	**202,6**
Traitement des données	**1 observateur, 6 heures**	**1 observateur, 30 heures**
Coût total de la mission	**771,66**	**490,9**

** sur la base du temps nécessaire estimé pour compter 1000 individus sur photographies, soit 50 minutes, et pour une mission à 6000 comptages, soit la médiane pour les vols du week-end après-midi*

Les opérations de traitement des données consistent pour le protocole au sol, en une numérisation des données acquises sur fiches (stockage dans une base de données). Elles sont plus gourmandes dans la version aéroportée du protocole puisqu'il s'agit de comptages sur photographies (cf. 4.A.4.). Le temps nécessaire pour compter 1000 individus sur photographies ayant été estimé à 50 minutes (cf. 4.A.4.1.), et le nombre de photos acquises lorsqu'une mission aéroportée en contexte mahorais

ayant été évalué à près de 1500[168], le temps nécessaire pour achever le comptage d'une mission s'élève à 30 heures environ. Ce coût en post-traitement réduit considérablement l'écart entre les méthodes au sol et les méthodes aéroportées.

Ce travail met en lumière les avantages comparatifs de la méthode aéroportée pour les surfaces plus grandes. Déployer un protocole au sol pour un terrain de la taille de la Grande-Terre serait en effet bien trop gourmand en nombre d'observateurs et donc plus coûteux. Dans le cas réunionnais, l'écart n'est pas réellement significatif, à la différence près :

- que les usages en mer ne pourront être recensés de façon exhaustive par endroits où le front récifal est distant de la côte que qu'une houle ne facilite pas l'observation ; ce constat avait déjà été fait lors les comptages sur le terrain mené en 2010 (Lemahieu *et al.*, 2010). Dans le meilleur des cas il faut envisager des observateurs supplémentaires en mer depuis un engin nautique, et bien davantage en contexte mahorais où le lagon est de grande étendue (1100 km²);
- que l'on peut se confronter à la difficulté de recruter de la main-d'œuvre. Dans le meilleur des cas, et comme cela a déjà été réalisé dans le passé (Cazes-Duvat et Pesmes, 2001), ce type d'étude peut recourir à de la main-d'œuvre universitaire, mais le gestionnaire doit avoir la garantie de la reproductibilité du protocole d'une année sur l'autre.

Cette comparaison entre deux AMP de taille différente donne un aperçu du budget et de la main-d'œuvre à déployer pour les besoins d'une seule mission. Finalement, c'est la méthode au sol qui s'avère être la moins chère pour le cas réunionnais, alors que le protocole ULM est nettement moins coûteux que le protocole au sol pour le cas mahorais. La version aéroportée du suivi de fréquentation garantit néanmoins un besoin en main-d'œuvre moindre, un critère qui peut avoir son poids en fonction du contexte local de gestion. Un tel tableau constitue un cahier des charges budgétaires dans la perspective de la mise en observatoire et de la définition d'une fréquence de suivi en accord avec le gestionnaire.

8.B.3. Calibrage du suivi de fréquentation réunionnais pour son intégration au plan de gestion : vers un calendrier optimisé

Nous nous proposons ici d'explorer trois scénarii sur la base d'une fréquence de suivi annuelle avec pour donnée d'entrée contraignante le budget. Étant donné de l'AAMP se désengage peu à peu vis-à-vis des suivis en ULM pour des raisons de sécurité et d'assurances, et afin d'assurer un choix large d'options pris en charge par le budget, nous avons sélectionné 6 sites pilotes et évalué des différents scénarii possibles en fonction du budget pour une mission aéroportée ou au sol (à l'échelle de la réserve ou des sites pilotes).

8.B.3.1. Sélection de sites pilotes

Après exclusion des sites où l'activité humaine est résiduelle (côtes rocheuses uniquement fréquentées par les pêcheurs à la gaulette), nous avons procédé à la sélection de sites pilotes d'après plusieurs critères :

- la représentativité morphologique au regard de l'échantillon de sites existants au sein du zonage. La gamme de sites pilotes retenus devra intégrer à la fois des plages de configuration

[168] Sur une base de 250 photos acquises en moyenne pour 44 kilomètres de côte comme c'est le cas pour La Réunion.

ouverte sur l'océan (Boucan-Canot, Etang-Salé), des plages récifales pourvues d'un récif et d'un front récifal (Ermitage, Saline) ;
- la représentativité de la gamme d'usages ciblés dans le plan de gestion (surf, activités plagiques et nautiques, plongée sous-marine et pêche à pied), l'ensemble des sites pilotes devant idéalement rassembler l'ensemble des 10 catégories d'activités ;
- une variabilité observée importante sur la période 2010-2013 échantillonnée dans le cadre de cette thèse, témoignant d'un certain dynamisme dans le temps.

Au regard de ces critères, nous avons sélectionné 6 sites pilotes (Tableau 49). Pour certains sites où le front récifal se trouve à distance, à l'instar d'Ermitage sud sanctuaire, les observations peuvent être rendues difficiles si s'ajoutent à la distance de fortes houles.

Enfin il est à noter que certains sites, en dépit de l'absence d'une zone de bain, méritent également une attention particulière dans la mesure où, sur fond d'augmentation moyenne interannuelle de la fréquentation globale (cf. 6.A.), ils sont le témoin d'une activité naissante et semblent attirer un public qui développe de plus en plus d'activité de plage : beach-volley, beach-tennis, etc. Ces sites sont Cap Champagne, Cap Homard, les Brisants (portion nord de Ermitage Sanctuaire), ou encore Saint-Leu Ravine du trou (cf. 6.D.1.3.).

Tableau 49 - Sites pilotes retenus, et usages représentés (les (X) indiquent un potentiel d'observation réduit en période de houle)

Zone	Plage/bain	Activités nautiques	Pêche à pied	Plongée	Surf
Boucan-Canot	X			X	X
Ermitage sud sanctuaire	X	X	X	(X)	(X)
Saline Trou d'eau	X	X	X		
Trois-Bassins passe					X
Saint-Leu sud	X	X	X	X	X
Etang-Salé nord	X				X

8.B.3.2. Scénarios budgétaires

Dans un contexte de gestion, c'est souvent le budget alloué par le gestionnaire qui prévaut en matière de planification. Nous avons donc considéré 3 scénarios différents dictés par des budgets allant de 1 000 à 2 000 € annuels sur la base du coût calculé d'une mission, soit 210,6 € pour la version aéroportée et 165,6 € pour la version au sol (cf. 8.B.2.1.) (Tableau 50). Ce budget de départ de 1 000 € a été fixé au regard des quelques budgets types alloués aux suivis scientifiques dans le plan de gestion (GIPRNMR, 2012), et à partir d'un seuil minimum concernant l'effort d'échantillonnage que nous avons fixé à 6 missions par an. Ce seuil minimal de 6 missions garantit l'obtention de 3 réplicas pour deux types de période (été/hiver). Nous avons estimé à 7 le nombre d'observateurs requis pour effectuer des comptages sur sites en divers points de la réserve, sur les sites pilotes sélectionnés précédemment. Sur cette base, seul le nombre de mission est amené à varier en fonction du budget.

Dans le cadre du premier scénario budgétaire à 1 000 € annuels, le choix d'un suivi à l'échelle de réserve entière contraint largement la méthode, puisqu'elle exclut d'emblée l'option aéroportée qui ne garantit pas pour ce budget l'acquisition d'un nombre suffisant de réplicas (scénario 1, Tableau 50). Seul le second scénario à 1 500 € garantit l'obtention d'un minimum de 7 missions. Dans la perspective d'un suivi au sol à l'échelle de la réserve, le protocole au sol se montre gourmand en main d'œuvre dans tous les cas. En revanche, à l'échelle des sites pilotes, tous les scénarii

permettent d'obtenir un nombre intéressant de réplicas (un minium de 15 missions dès 1000 € de budget), tout en mobilisant un nombre raisonnable d'observateurs (7 observateurs) (Tableau 50).

Tableau 50 - Scénarios budgétaires définissant l'échantillonnage pour les deux méthodes ULM et au sol, à l'échelle de la réserve ou des sites pilotes

ULM	Budget	Echelle de travail	Voie ULM	Nbre missions ULM
Scénario 1	1000 € annuels	Réserve (44 km)	1 observateur	-
Scénario 2	1500 € annuels	Réserve (44 km)		7 missions
Scénario 3	2000 € annuels	Réserve (44 km)		9 missions

SOL	Budget	Echelle de travail	Voie au sol	Nbre missions sol
Scénario 1	1000 € annuels	Réserve (44 km)	18 observateurs	6 missions
		Sites pilotes (7 km)	7 observateurs	15 missions
Scénario 2	1500 € annuels	Réserve (44 km)	18 observateurs	9 missions
		Sites pilotes (7 km)	7 observateurs	23 missions
Scénario 3	2000 € annuels	Réserve (44 km)	18 observateurs	12 missions
		Sites pilotes (7 km)	7 observateurs	31 missions

Compte tenu du fait qu'un équilibre doit être trouvé entre un nombre de réplicas suffisants pour prétendre à des analyses significatives et une charge de travail en post-traitement allégée pour les employés de la réserve, la méthode aéroportée apparait comme avantageuse, dans la limite des 12 vols annuels. Le protocole au sol sur sites pilotes est également intéressant puisqu'il n'implique pas de post-traitement fastidieux (comptages sur site). Un compromis peut être trouvé sur la base d'une alternance entre une campagne de 6 vols une année, complétée l'année suivante par une campagne de suivi au sol sur sites pilotes (une dizaine de missions). Cette option permet de garantir un suivi continu et régulier tout en réduisant les tâches de post-traitement, compte tenu du fait que les employés du GIPRNMR sont engagés dans d'autres suivis scientifiques.

8.B.3.3. Échantillonnage temporel optimal

Dans la perspective d'une réduction de coût par rapport au budget nécessaire à réaliser l'échantillonnage initial, nous avons cherché à identifier les périodes de l'année qu'il serait pertinent de suivre au regard des données historiques et des indicateurs qui intéressent le gestionnaire. Sur la base des données 2010-2013, nous avons identifié les périodes privilégiées de répartition pour les différents paramètres de suivi en se fixant sur le scénario 2 prévoyant 1500 € euros de budget annuel et donc 7 vols par an (cf. 8.B.3.2.) (Tableau 51). Pour les usages, les strates de répartition privilégiée de chaque usage ont été décrites et synthétisées dans un tableau décrit en 5.B.4.

Tableau 51 - Calendrier annuel de répartition des missions en fonction des paramètres à suivre, sur la base d'un effort d'échantillonnage de 8 vols annuels (scénario à 1500 €) (M : Matin ; A : Après-midi)

		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Paramètre de suivi	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A
Fréquentation globale	Pic de fréquentation		2		2														2		2
	Contraste semaine/week-end		2		2														2		2
	Contraste matin/après-midi	1	1	1	1					1	1	1	1								
	Contraste saison		1		1				1		1		1		1				1		1
	Contraste calendrier				4																4
Activités cibles	Plage/bain		2								2				2				2		
	Activités nautiques		2		2						2		2								
	Surf			1	1			1	1			1	1							1	1
	Pêche à pied	1	1	1	1															1	1
	Plongée sous-marine	1		1						1		1						1		1	

Pour certains paramètres, l'ensemble de la base de données (2010-2013) a pu être utile à proposer un calendrier annuel d'échantillonnage. Pour d'autres paramètres, à l'instar du surf, les perturbations dus aux événements n'ont pas permis l'exploitation de l'ensemble des années de suivi, et nous ont poussés à nous concentrer davantage sur les résultats de l'année 2010. Par exemple, nous avons identifié que les pics de fréquentation globale se situaient généralement entre avril et mai, un autre pic ayant été identifié en décembre. Le problème réside dans le fait qu'il n'y a pour cette période de l'année qu'une seule année de suivi (2012). Aussi, notre expertise ou les connaissances bibliographiques acquises nous ont parfois permis d'étayer nos choix. La saisonnalité de certaines pêcheries à l'instar de la pêche aux capucins qui se déroule de février à avril (Fleury *et al.*, 2012), ou des régimes de houles dictant en partie les variations de l'activité de surf, ont été prises en compte. Pour certaines activités, l'étude des deux créneaux matinaux et de l'après-midi a été maintenue dès lors que les données historiques ne présentaient pas trop de différences entre ces deux strates temporelles (surf, pêche à pied). Enfin, les mois de janvier et février n'ont pas été intégrés car ils ne disposaient pas de suffisamment de réplicas.

Conclusion du chapitre 8

En ce qui concerne ses applications possibles, le potentiel du suivi de fréquentation est multiple. D'une part les données quantitatives contribuent à améliorer l'efficacité de gestion par l'intégration d'indicateurs relatifs aux usages, d'autre part elles contribuent via la constitution d'une base de connaissances sur les pressions anthropiques directes à appréhender les interrelations Homme-milieu, système jusqu'ici approché par le seul biais d'indicateurs de pressions indirectes (de type "teneur en nitrates").

La comparaison des observations d'infractions à l'effort d'échantillonnage déployé sur la période a mis en évidence un lien positif, ce qui a pu justifier l'élaboration d'un indicateur de gouvernance relatif aux infractions. En ce qui concerne l'efficacité de l'effort de surveillance, les liens n'étaient pas suffisamment significatifs pour prétendre à produire des indicateurs fiables. Une première cartographie des pressions directes a en outre été produite, faisant office d'état zéro, et une série d'indicateurs relatifs ont été élaborés en vue de suivre l'évolution de ces pressions dans le temps. En tout, c'est un tableau réunissant 6 métriques relatives à l'efficacité de gestion (gouvernance) et 6 métriques relatives au niveau de pression anthropique qui a pu être élaboré sur la base du présent travail.

Dans la perspective de l'intégration de ces indicateurs au tableau de bord de l'AMP réunionnaise, le potentiel reproductible de notre protocole a été évalué. Les deux premiers critères incontournables qui nous sont apparus relèvent des impératifs de gestion et concernent le rapport coût/avantages du protocole et la prédisposition du gestionnaire à considérer le volet socio-économique de son plan de gestion en priorisant ce type de suivi. Les avantages comparatifs de la méthode aéroportée par rapport à la méthode en dépit de son coût plus élevé n'excluent pour autant pas la perspective d'un suivi sur sites pilotes, plus gourmand en main-d'œuvre, mais moins gourmand en temps alloué aux post-traitements.

Chapitre 9. Le suivi de fréquentation : un outil de gestion et un outil scientifique pour un réseau d'observation multidisciplinaire

À La Réunion où l'ensemble des suivis scientifiques en lien avec l'écosystème corallien constituent l'un des réseaux les plus denses de l'Océan Indien, les données quantitatives informant sur la pression directe exercée par les hommes ont longtemps fait défaut. Les données spatialisées de fréquentation obtenues dans le cadre de cette thèse offrent l'opportunité de confronter les données de pression aux données écologiques afin d'évaluer les interrelations Homme-milieu.

Ce chapitre vise à mettre en commun des données renseignant sur l'état écologique et les niveaux de pressions anthropiques directes ou indirectes exercées sur ce dernier. Pour les données déjà disponibles sous format de couches d'information géographique et disposant d'un nombre suffisant de réplicas spatiaux, la démarche a consisté en un croisement cartographique pression/enjeux afin de déterminer le niveau de vulnérabilité par zone de gestion. Un second volet s'intéresse à cartographier près de 10 suivis sur des paramètres relevant du benthos, des coraux ou des poissons afin d'identifier une échelle d'agrégation spatiale pertinente en vue de comparer les différentes variables et d'opérer un premier diagnostic pressions-milieu.

Le présent travail débouche sur une discussion autour du potentiel de telles démarches à échelle locale. Nous proposons à la lumière des résultats obtenus et en guise de perspective, une sélection de plusieurs types de suivis intégrant données sociales et écologiques et permettant d'évaluer les interrelations Homme-milieu et leur évolution dans le temps.

9.A. Cartographies intégrées de la vulnérabilité récifale et du risque d'interaction engins/tortues

Afin d'illustrer cette notion de démarche intégrée dans le diagnostic de l'état de santé récifale et dans la définition des zones à enjeux prioritaires, deux jeux de données ont pu être mobilisés : les données de sensibilité récifale évaluée par le consortium CAREX/ARVAM à partir de critères écologiques spécifiques (7.B.2.3.), et les données de densités d'observations de tortues vertes (*Chelonia mydas*) issues du projet TORSOOI[169].

9.A.1. Vulnérabilité récifale et pression humaine

Les données de sensibilité récifale (CAREX et ARVAM, 2005) et les données de pression directe exercée par les usages pouvant entrer en interaction avec le substrat corallien sont ici croisées.

9.A.1.1. Cartographie de la sensibilité récifale

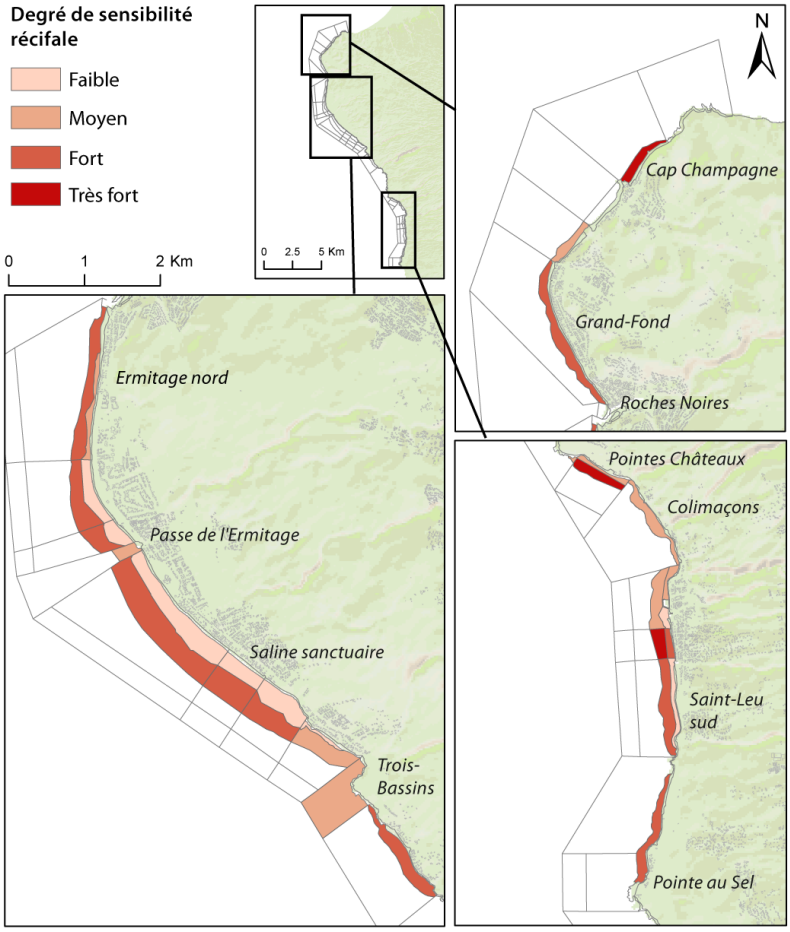


Figure 112 - Cartographie de la sensibilité obtenue après rééchantillonnage (d'après CAREX/ARVAM, 2005)

Afin de pouvoir superposer les données de sensibilité récifale à celles des pressions anthropiques directes, la cartographie élaborée par le consortium CAREX/ARVAM (2005) a été intersectée puis discrétisée en classes de niveau "faible" de sensibilité au niveau "fort" (Figure 112).

La donnée, disponible uniquement pour les récifs allant de Cap Champagne à Pointe au sel à Saint-Leu a par la suite été superposée à la cartographie des pressions liées aux risques d'impacts dur le récif, à savoir les usages dont la pratique peut impliquer un contact avec le substrat, sur les zones de récifs frangeants : la baignade, les activités nautiques et les sports de glisse.

[169] Pour rappel, TORSOOI est une base de données sur la répartition et le comportement des Tortues marines du Sud ouest de l'Océan indien créée et gérée par Kelonia (observatoire des tortues marine à La Réunion) et l'Ifremer

9.A.1.2. Cartographie croisée sensibilité récifale/pression anthropique directe

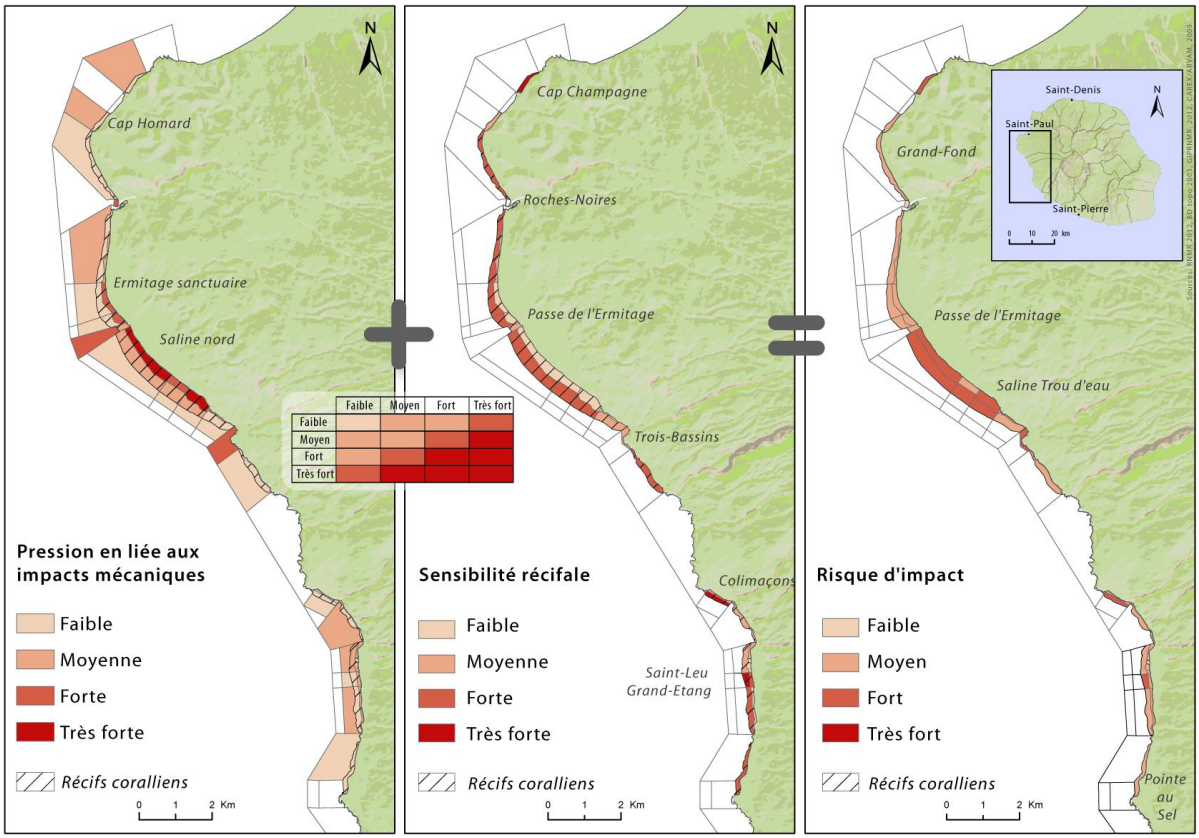


Figure 113 - Cartographies de la pression liée aux risques d'impacts mécaniques (à gauche) de la sensibilité récifale (au milieu) et de la cartographie du risque d'impact résultant (à droite).

La cartographie croisée sensibilité récifale/pression anthropique directe constitue un premier diagnostic du "risque d'impact" à La Réunion (Figure 113). Cette classification en "risque d'impact" résulte d'une analogie aux risques naturels puisque nous avons ici confronté la vulnérabilité du milieu dont le diagnostic date du début de la décennie 2000 (travaux menés entre 2000 et 2005) et la pression autrement assimilable à l'aléa. Cette cartographie du risque d'impact laisse apparaître les zones mobilisant pour l'heure les enjeux prioritaires pour la gestion et la recherche scientifique.

Les zones présentant le plus fort degré de risque d'impact correspondent à des récifs frangeants jeunes caractérisés par leur grande vulnérabilité (Cap Champagne, Saint-Leu Pointe Châteaux, Platier de Saint-Leu Grand-Etang, également zone sanctuaire) ou à des zones les plus fortement fréquentées par les usages les plus impactants pour les récifs coralliens (platiers de la Saline, dépressions d'arrière-récif de Saline nord et de Saline Trou d'eau et passe de Trois-Bassins) (Figure 113). Aucune zone ne présente à la fois un niveau d'exposition maximal sur les plans écologique et anthropique, les zones les plus vulnérables n'étant pas les plus fréquentées. C'est pourquoi dans la classification finale on n'aboutit pas, au degré maximal de risque d'impact.

Cette cartographie n'est par essence pas figée puisque la sensibilité récifale peut varier selon les pressions auxquelles les habitats sont soumis au cours du temps. Des épisodes récurrents de blanchissements, ou des expositions prolongées aux pressions humaines directes ou indirectes, peuvent avoir comme effet rétroactif des incidences sur le faciès des habitats telles qu'un changement dans la composition des espèces (Brown et Suharsono 1990), rendant *de facto* la

cartographie obsolète. En effet, selon les espèces et leur structure propre, la vulnérabilité est changeante : les coraux de forme tabulaire ou branchue sont plus sensibles aux changements environnementaux ou événements paroxysmiques que les coraux massifs. Il est donc nécessaire de mettre régulièrement les cartographies récifales à jour.

9.A.2. Densités d'observations de tortues vertes et pressions par les engins motorisés et les planches

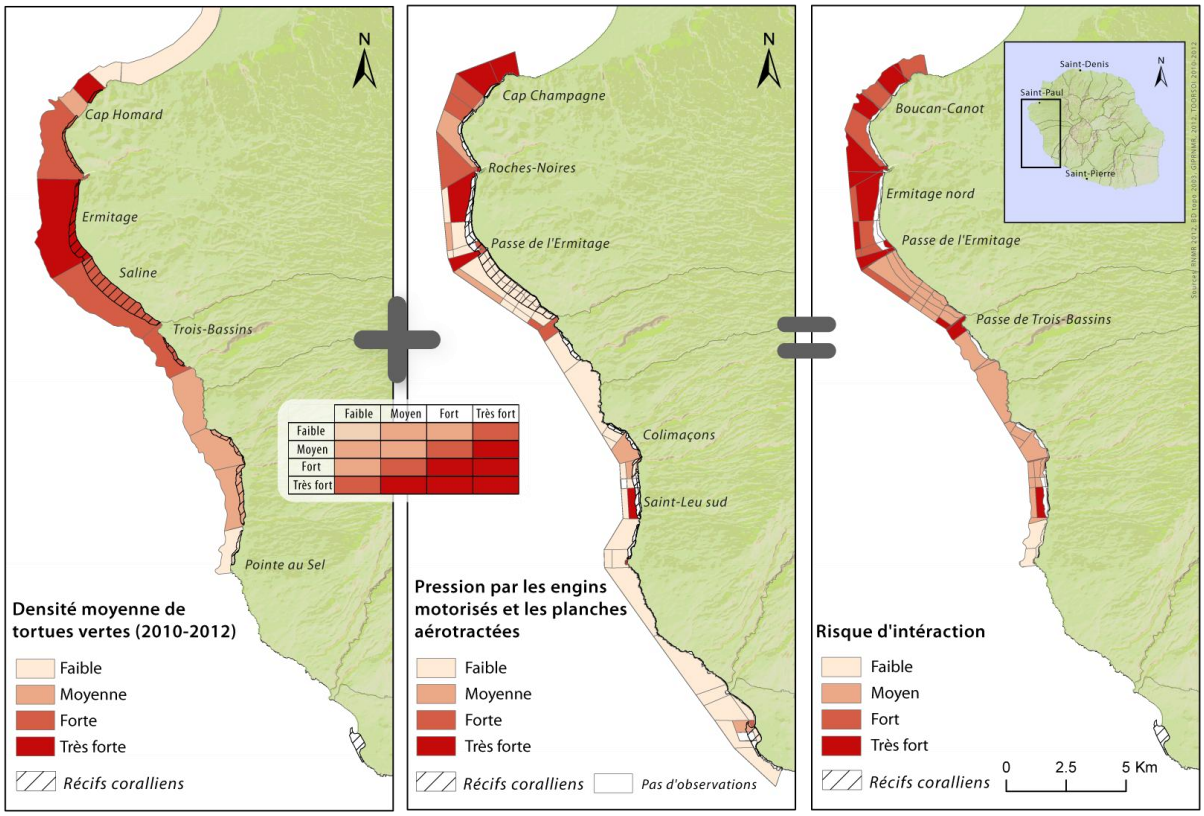


Figure 114 - Croisement cartographique des données de densités de tortues vertes et de la pression exercée par les engins motorisés et les planches (Kite-surf, windsurf et surf) pour un diagnostic du risque d'interaction.

Entre 2010 et 2012 les observations de tortues ont été plus importantes aux abords des récifs coralliens du nord de la réserve, notamment sur les secteurs de l'Ermitage et de Cap Champagne (Figure 114). Ces deux secteurs sont caractérisés par la présence d'un complexe récifal, dont les caractéristiques diffèrent. Cap champagne présente un récif frangeant étroit formé par un platier jeune et peu profond et une plage très peu fréquentée, alors qu'Ermitage nord se caractérise par un récif plus évolué et donc plus profond. Sur cette zone, la présence d'herbiers marins en quantités est supposée constituer une source de nourriture pour les tortues et par une forte présence humaine tant sur les pentes externes (plongée, activités de découverte du milieu marin) que sur les plages et platiers récifaux. Notons que lors des missions en ULM, la quasi-totalité des observations de tortues se sont faites en zones de pente externe.

Les plus hauts niveaux de pression liée aux engins motorisés et aux activités de kitesurf et de windsurf se localisent dans le même secteur nord, sur les zones de pentes externes (Figure 114). Les zones classées en "très fort" niveau de pression sont essentiellement fréquentées par les bateaux de plongée et les bateaux de découverte du milieu marin à l'instar de Cap Champagne, Cap la Houssaye et Ermitage nord. Quelques zones reliquats présentent également un niveau très fort de pression : la

passe de trois bassins est fréquentée par les bateaux de pêche et quelques bateaux de plongée, et la zone de pente de Saint-Leu sud caractérisée par une forte présence de bateaux de plongée.

Il résulte de ce croisement cartographique l'identification des zones classées à "très fort" risque d'interaction entre engins et tortues marines, lesquelles se répartissent entre Cap Champagne et la passe de L'Ermitage (Figure 114). Les zones à plus fort risque se localisent à proximité du port de Saint-Gilles où le risque d'interaction est naturellement plus accru. Les zones de Cap Champagne et de Saint-Leu sud sont associées à un très fort risque d'interaction entre mégafaune et bateaux de plongée. Les secteurs de la passe de l'Ermitage et la passe des Trois-Bassins se trouvent également classés en risque très fort d'interaction, un risque associé à la présence de surfeurs et de bateaux de plongée pour le premier site, et à une présence importante de surfeurs pour le second. Aux risques importants d'interactions viennent se cumuler les risques de perturbation de la faune induits par les usages (Chabanet *et al.*, 1995), notamment par les plongeurs sous-marin qui peuvent faire fuir la faune sous-marine et impacter durablement les comportements (cf. 1.C.2.2.).

9.B. Diagnostic intégré de l'écosystème récifal : contribution des données de fréquentation

Entre 2010 et 2013 le projet OT-RUN[170] a visé à mettre au point des méthodes d'évaluation des réponses des coraux bioconstructeurs, clés de voûte des récifs coralliens, aux changements globaux. Il constitue à ce jour l'un des seuls programmes scientifiques menés sur la côte Ouest récifale de La Réunion à avoir intégré pour ce diagnostic des données écologiques et des données socio-économiques à travers des approches physicochimique (qualité de l'eau) et sociale (données de fréquentation). L'une des restitutions de ce programme a pris forme d'une présentation orale lors du 8ème colloque international WIOMSA[171] (Lemahieu *et al.,* 2013) présentant les premiers résultats de notre démarche. Ces derniers ont consisté dans un premier temps en la construction d'une base de données spatialisée des suivis mobilisés dans le cadre du programme, enrichis de suivis issus d'autres programmes/études. Dans un second temps, pour les sites pilotes retenus au regard de la disponibilité des données (cf. 7.C.3.), les données standardisées ont été comparées dans une démarche descriptive pour un diagnostic intégré par site.

9.B.1. Une base de données spatialisée des réseaux de suivi et sites pilotes retenus

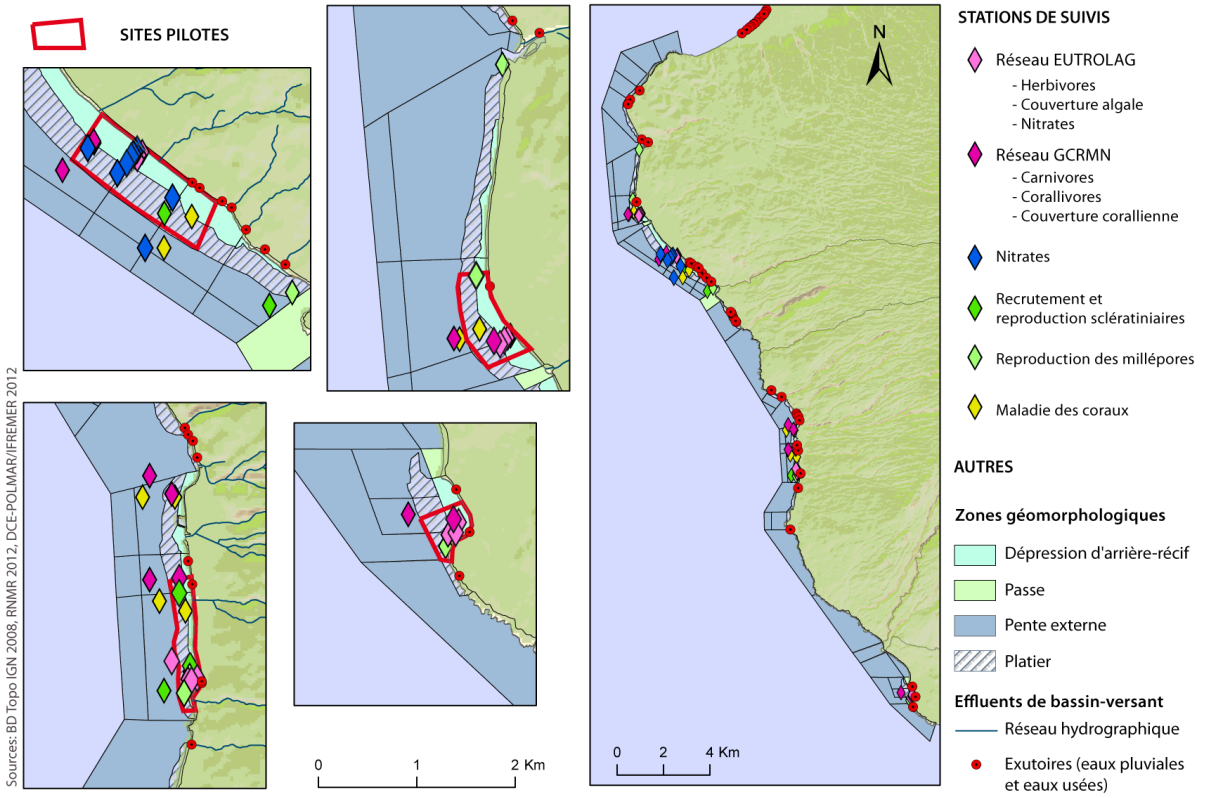


Figure 115 - Cartographie des réseaux de suivis en lien avec l'écosystème récifal au sein de la réserve marine et délimitation de sites pilotes optimaux.

La construction d'une base de données spatialisée commune, qui n'existait pas jusqu'alors, a permis de rendre compte de la forte disparité spatiale des réseaux de suivis. Nous nous sommes confrontés

[170] Réseau d'Observation des impacts du changement climatique sur les récifs coralliens de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion et modélisation prédictive des Trajectoires

[171] West Indian Ocean Marine Science Association

à la difficulté à trouver un mode d'agrégation de zone faisant consensus. En effet, travailler à l'échelle du complexe récifal n'était pas, pour la plupart des auteurs, pertinent, postulant que les processus étaient variables à cette échelle, ne serait-ce que du fait de la courantologie. Selon la nature du suivi, chaque réseau a ses propres logiques de répartition dictées par les paramètres environnementaux ou par la nature de l'habitat. En agrégeant la donnée par secteur, nous avons sollicité les différents auteurs des jeux de données afin d'isoler en concertation avec eux la donnée pertinente.

Quelques sites sont densément couverts par les stations de suivis à l'instar de l'Ermitage, la Saline Saint-Leu et l'Etang-Salé qui sont également des secteurs à forte concentration d'usagers (Figure 115). Il n'existe à proprement parler aucune zone de gestion où la totalité des suivis sont représentés. Nous avons identifié 4 zones pilotes qui constituent une échelle d'analyse pertinente et optimisante au regard des contraintes susnommées (Figure 115 et Tableau 52). Nous avons exclu de l'analyse et des zones pilotes les pentes externes car les conditions environnementales (profondeur, courantologie, ensoleillement, fréquentation) ne présentent pas les mêmes caractéristiques que les platiers et dépressions d'arrière-récif, et à ce titre, les suivis localisés sur ces zones ne peuvent donc pas être intégrés aux zones pilotes.

Tableau 52 - Coordonnées des zones pilotes retenues pour la comparaison des jeux de données écologiques et sociales en mètres (UTM, RGR92).

Zone pilote	Extrémité nord-ouest	Extrémité nord-est	Extrémité sud-ouest	Extrémité sud-est
Ermitage	314 834.650 S 7 668 477.877 E	315 112.463 S 7 668 477.877 E	315 026.473 S 7 667 617.980 E	315 449.808 S 7 667 783.345 E
Saline	316 205.459 S 7 665 988.055 E	316 546.772 S 7 666 408.743 E	317 356.399 S 7 665 138.741 E	317 594.524 S 7 665 599.117 E
Saint-Leu	321 857.764 S 7 657 741.452 E	322 107.796 S 7 657 733.515 E	322 000.639 S 7 656 466.687 E	322 151.452 S 7 656 462.718 E
Etang-Salé	326 691.116 S 7 647 128.799 E	327 194.884 S 7 647 171.133 E	326 854.100 S 7 646 802.832 E	326 968.400 S 7 646 785.899 E

9.B.2. Un diagnostic préalable sur la santé récifale

Compte tenu du fait que seule l'année 2011 permettait la comparaison d'un plus grand nombre de suivis entre eux, les analyses statistiques multivariées ne sont pas rendues possibles pour cause d'un trop faible nombre de réplicas. La démarche a consisté ici à comparer à plusieurs échelles spatiales d'analyse les jeux de données spatialisés entre eux (cf. 7.C.4.2). Une première confrontation des données a été faite à l'échelle des 4 zones pilotes. S'en suivent deux autres analyses à l'échelle du zonage de réglementation générale, puis à l'échelle du zonage de pêche, définissant les zones autorisées ou non à sa pratique.

9.B.2.1. Analyse par secteur géographique

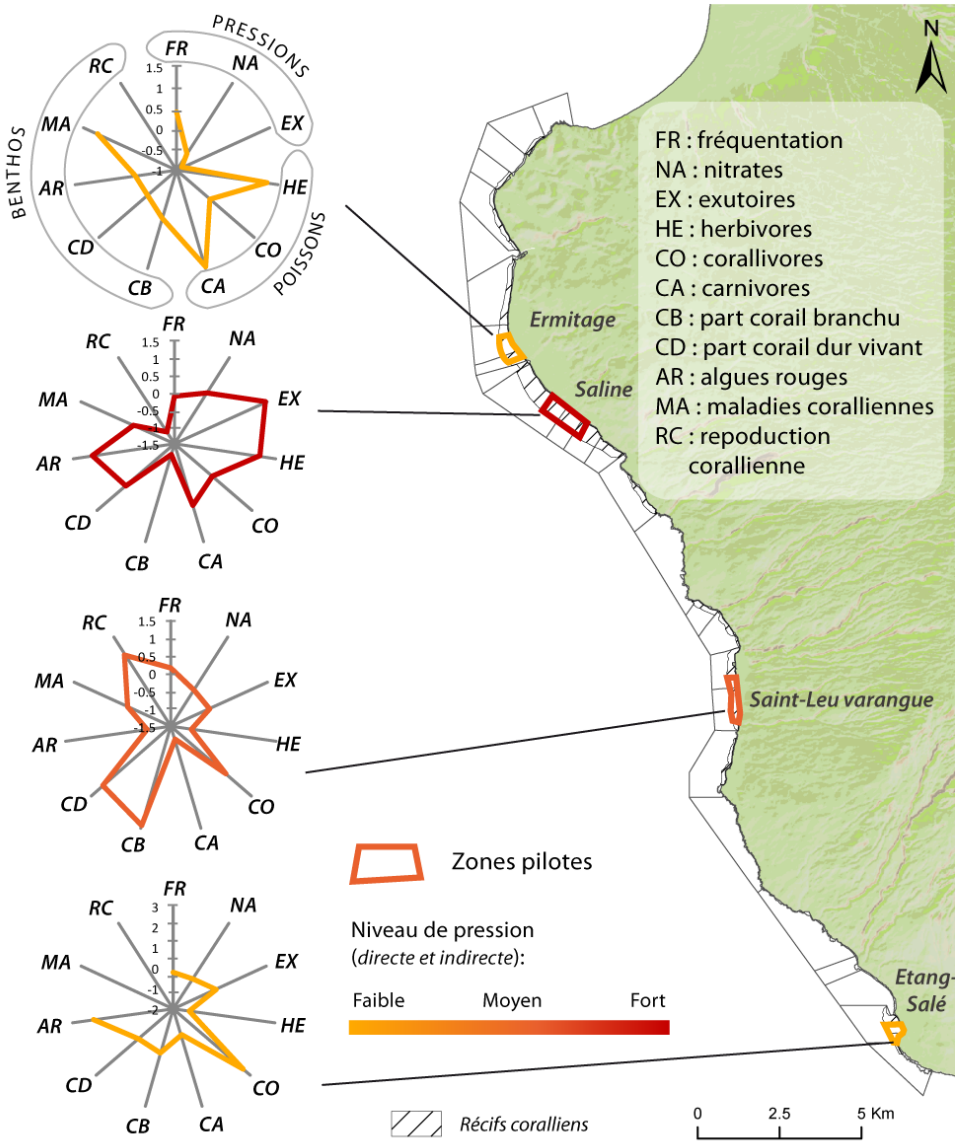


Figure 116 - Confrontation des données de pression, des peuplements ichtyologiques et benthiques à l'échelle des 4 zones pilotes

Les 4 zones pilotes ne présentent pas le même profil. Seule la zone pilote de la Saline se caractérise par de fortes pressions, à savoir qu'elle est associée à un important nombre d'exutoires, une teneur en nitrates importante et une fréquentation moyenne. Saint-Leu est associé à une pression classée "moyenne" avec un nombre relativement faible d'exutoires, une teneur en nitrates et une fréquentation moyennes. Enfin les zones pilotes de l'Ermitage au nord et de l'Etang-Salé au sud se caractérisent par un niveau plus faible de pression au regard du reste, à savoir que les trois paramètres de pression sont relativement faibles, à l'exception de l'Ermitage qui enregistre la fréquentation la plus importante des 4 zones. Les résultats et interprétations qui suivent mobilisent des données produites dans le cadre des programmes EUTROLAG et GCRMN, et des thèses de L. Massé (2014) et M. Séré (2014) et présentés en partie 7.C.2.

9.B.2.1.1. L'Ermitage ou la zone préservée

Malgré une forte fréquentation, la zone de l'Ermitage est peu soumise aux pressions indirectes (peu d'exutoires et teneur en nitrates faible). Elle présente une bonne abondance dans les peuplements

ichtyologiques, la part du substrat en corail branchu est relativement bonne et la couverture en corail dur vivant est moyenne. Au sein du peuplement ichtyologique, on note une importante abondance des herbivores, phénomène qui peut expliquer la faible présence des algues rouges. Fait important, l'Ermitage se caractérise par une forte prévalence des poissons carnivores (*Epinephelus merra* ou macabit), ce qui peut s'expliquer, dès lors que l'abondance en carnivores constitue un bio-indicateur de la pression de pêche (Friedlander et DeMartini, 2002) par la proximité immédiate d'un sanctuaire. Il s'avère en effet que les stations de suivi jouxtent la zone sanctuaire de l'Ermitage où toute activité est prohibée, ce qui peut expliquer cette forte prévalence des macabits, par ailleurs déjà identifiée dans le cadre d'études (Moullec, 2011). Enfin, on notera que, fait antagoniste, la prévalence des maladies coralliennes y est la plus importante à l'échelle des 4 zones.

Malgré le niveau important de pression directe (usages), la zone de l'Ermitage apparaît comme étant en bonne santé. La présence accrue de carnivores témoigne d'un très probable effet sanctuaire. La forte prévalence de coraux malade, au regard d'une couverture corallienne moyenne, reste anecdotique. Certaines hypothèses avancent que la crème solaire utilisée par les usagers pourrait impacter les coraux, en causant leur blanchissement et provoquant des infections (Danovaro *et al.*, 2008), ce qui constitue une piste à explorer au regard de de la forte fréquentation qui caractérise cette zone.

9.B.2.1.2. La Saline ou la zone dégradée

La Saline est la zone pilote qui détient les records en matière de teneur en nitrates ($\delta_{15}N$ = 17,5 ‰ en été 2011) et du nombre d'exutoires (5). Le peuplement ichtyologique est dominé par les *stegastes* (herbivores) ce qui témoigne d'un milieu perturbé. Le peuplement benthique se caractérise par une bonne couverture par les coraux durs vivants (55,6 %), mais par une très faible couverture par les coraux branchus, ce qui signifie que la couverture en coraux durs relève d'autres espèces de coraux, dont les plus courantes sont les Poritidae ou Porites (*Porites lutea, P. lobata*), espèces de coraux massifs reconnues comme opportunistes et témoins d'un milieu perturbé (Chabanet, 2002). Le recrutement y est faible au regard de Saint-Leu, autre site pour lequel la donnée est disponible et la prévalence des maladies est moyenne. La couverture en algues rouges enfin y est importante ce qui semble faire écho aux pressions qui s'exercent sur la zone.

9.B.2.1.3. Saint-Leu ou le jardin de corail

La zone de Saint-Leu qui se caractérise par des pressions relativement faibles à tous les égards, se démarque des autres zones par une très bonne vitalité corallienne reconnaissable à une très bonne couverture par les coraux branchus et les coraux durs vivants, et par un important taux de reproduction corallienne. Cet environnement benthique se répercute dans le peuplement ichtyologique dominé par les espèces corallivores, les poissons papillon (Chaeontidae) suivis dans le cadre du GCRMN. En réponse à cet environnement corallien sain, la prévalence en coraux malades est faible et la couverture en algues rouges est très faible, ce qui peut expliquer la faible présence des herbivores.

9.B.2.1.4. Etang-Salé ou le modeste aquarium

La zone de l'Etang-Salé est soumise à un niveau de pressions moyen à faible. Le peuplement ichtyologique y est dominé par les espèces corallivores, et demeure relativement faible pour les autres catégories, notamment les herbivores. La couverture en coraux branchus et d'une façon générale, la part de coraux durs vivants y sont moyennes et l'abondance en herbivores y est très faible. Cette configuration qui concoure à l'augmentation de la couverture en macroalgues peut

expliquer l'importante couverture par les algues rouges sur ce secteur ((McManus et Polsenberg, 2004). Aucune donnée sur la prévalence de coraux malades et les taux de reproduction n'est disponible pour ce secteur.

L'Etang-Salé apparaît comme un site en relative bonne santé, par ailleurs connu pour abriter une population importante de bénitiers (Safi, 2011), espèce emblématique récemment suivie dans le cadre du plan de gestion (GIPRNMR, 2012), mais présente au moment du suivi, à l'été 2011, les signes précurseurs d'une "phase-shift", désignant la transition d'un environnement dominé par les coraux durs à un environnement dominé par les macroalgues (McManus et Polsenberg, 2004).

9.B.2.1.5. Synthèse

Les jeux de données ne sont pas tous disponibles à l'échelle des 4 zones pilotes. Seuls les bio-indicateurs étudiés sont interprétés ici, et ne sauraient être représentatifs des peuplements benthique ou ichtyologique correspondants. En outre, seule une année de données a été exploitée, ce qui pour certains suivis se résume à un seul réplicat. Sur cette base, les observations faites ne sauraient être représentatives des tendances observées à long terme. Le suivi GCRMN, grâce à une fréquence de suivi annuelle permet de dégager des tendances, mais qu'intègre pas tous les suivis mobilisés dans le cadre de cette étude.

Dans la littérature scientifique il a été démontré qu'une augmentation de la couverture en macroalgues était corrélée à une augmentation de la teneur en nutriments et une baisse de l'abondance des herbivores (Cooper *et al.*, 2009). Chabanet *et al.* (1997) ont de leur coté mis en lumière la difficulté à mettre en évidence le lien couverture en macroalgues et l'abondance en herbivores à La Réunion. En effet, les deux zones de la Saline et de Saint-Leu, tous deux soumis à des pressions moyennes, voient ces deux variables positivement corrélées. À Bélize, des auteurs ont démontré qu'en contexte de couverture corallienne faible, les macroalgues avaient un potentiel de développement plus important (substrat disponible), ce qui dépassait les capacités de broutage des communautés d'herbivores (Williams *et al.*, 2001). Ainsi, sur la zone pilote de la Saline, où la couverture corallienne est faible, et la couverture par les macroalgues est importante, l'abondance en herbivores peut s'expliquer par un phénomène de "dépassement" de la capacité de broutage. Enfin, notons que la variabilité inter-sites en matière de relation herbivore/nutriments peut se montrer négligeable au regard des relations pouvant s'observer entre faible abondance et pressions de pêche (Zubia *et al.,* 2012).

Compte tenu du fait que nous souhaitions intégrer à la fois les pressions liées à la ressource, à la fois les pressions liées aux impacts sur le substrat, ce sont les données de fréquentation globale qui ont été mobilisées ici. La même étude peut s'affiner en n'intégrant que les données de pêche à pied dans la perspective d'analyser le lien entre l'abondance en carnivores et la pression de pêche.

9.B.2.2. Analyse par niveau de réglementation de pêche

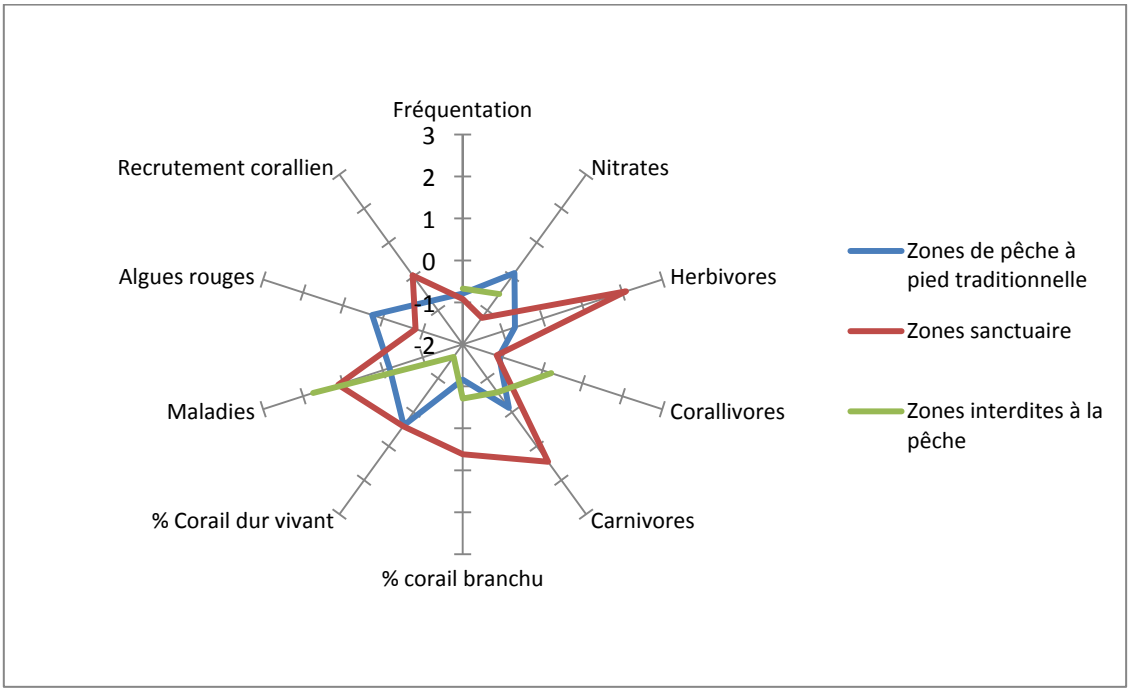


Figure 117 - Confrontation des données de pression, des peuplements ichtyologiques et benthiques à l'échelle du zonage de réglementation

L'échelle spatiale de la règle nous apparaît comme une échelle pertinente de travail dès lors qu'elle permet de mesurer les effets du dispositif réglementaire. Trois types de zones ont été retenus pour cette analyse : les zones autorisées à la pêche à pied traditionnelle (PPT), les zones de protection intégrale ou "sanctuaire" où toute activité est prohibée (SAN), et les zones autorisées aux activités mais interdites à la pêche (ZIP) (cf. Figure 100 en 7.A.3.1.1.). À l'échelle des trois types de zones étudiées, si la fréquentation moyenne obtenue en agrégeant les zones de même type est à peu près la même d'un groupe à l'autre et ne peut donc constituer un filtre d'interprétation, les caractéristiques écosystémiques diffèrent :

- Les zones sanctuaires présentent des peuplements ichtyologique et benthique plus riches que les autres types de zones, une assez bonne vitalité corallienne par ailleurs assurée par un niveau de recrutement corallien correct. L'abondance en carnivores y est la plus importante au regard des trois types de zones. La faible teneur moyenne en nitrates peut expliquer la faible couverture en algues rouges (macroalgues), ces deux conditions résultant dans une forte abondance en herbivores. La prévalence des coraux malades y est en revanche importante, explicable par les forts scores de l'Ermitage qui tirent la distribution vers les valeurs fortes ;
- les zones de pêche à pied traditionnelle (PPT) se caractérisent par une très faible couverture en coraux branchus et une couverture en algues rouges moyenne. Corrélativement, la teneur moyenne en nitrate y est importante. La couverture en coraux durs vivants y est aussi importante qu'en zone sanctuaire, mais étant non corrélée à la couverture en coraux branchus, elle pourrait être associée à une importante couverture en porites, qui constitue la seconde espèce de coraux la plus représentée à La Réunion (Tessier *et al.,* 2008).

- Les zones interdites à la pêche (ZIP) n'intègrent pas tous les jeux de données. On y enregistre une forte prévalence de coraux malades et une très faible couverture en coraux vivants. La couverture par les coraux branchus y est également faible et le peuplement ichtyologique est dominé par des corallivores.

Dans une certaine mesure les différents paramètres mesurés pour chaque type de zone semblent faire écho à la gestion. L'abondance des carnivores dans les seules zones sanctuaires est interprétable comme un "effet réserve", à savoir que les mesures de conservation exclusives et radicales qui caractérisent les zones de protection intégrale semblent porter leurs fruits. Toute augmentation de l'abondance des carnivores, cible privilégiée des pêcheurs, est généralement corrélée à une baisse de la pression de pêche (Friedlander et DeMartini, 2002 ; Moullec, 2011). De la même façon, la couverture corallienne est relativement importante, notamment par les coraux branchus, ce qui peut expliquer la forte abondance en stegastes, l'espèce herbivore qui nous sert de bio-indicateur dans le cadre de cette étude. Les zones de pêche à pied traditionnelle sont exposées à de fortes teneurs moyennes en nitrates, en résulte une couverture importante par les algues rouges. Dans des zones où le piétinement est important, les pêcheurs pouvant aller jusqu'au front récifal pour leur activité, la couverture corallienne en branchus est faible. Enfin, les données sont insuffisantes pour qualifier le profil de la troisième catégorie de zone.

9.B. Perspectives pour la mise en place d'un réseau "pressions-milieu" : une approche multidisciplinaire pour l'évaluation scientifique de l'écosystème

A La Réunion où il existe un réseau dense de suivis scientifiques de toutes origines disciplinaires en lien avec l'écosystème récifal, il manque encore un observatoire dédié pour une évaluation intégrée des relations pressions-milieu. Cette étude a permis de rendre compte de la forte variabilité spatiale et temporelle dans la disponibilité des données. Le trop faible nombre de sites où un maximum des suivis est disponible n'a pas permis des analyses statistiques poussées. Dans la perspective d'un observatoire, un plus grand nombre de séries temporelles devrait permettre de valider les tendances dégagées dans cette étude. Enfin, l'un des résultats fondamentaux de cette étude réside dans la proposition d'une échelle d'étude pertinente pour l'élaboration future d'indicateurs de synthèse. La discussion reste ouverte quand à la possibilité d'initier/de poursuivre les suivis pour les indicateurs phares sur des sites pilotes communs.

A La Réunion, la plupart des programmes en lien avec l'écosystème corallien s'étant déroulés ces dernières années mobilisent les seules disciplines écologiques et de biologie marine. Ils se focalisent souvent sur une problématique ciblée. Il en résulte une démarche compartimentée, au mieux multidisciplinaire : recrutement larvaire des poissons (POLARUN[172]), état de santé des récifs coralliens (GCRMN), etc. Certains programmes qui s'intéressent aux pressions de pêche afin de mieux interpréter les variations des populations ichtyologiques (ex : PECHTRAD[173]), n'intègrent pas pour autant systématiquement des données sociales. Parallèlement, quelques rares programmes ont été portés par les disciplines des sciences sociales, lesquels ont visé à caractériser les usages, et les valeurs de l'éco-sociosystème récifal (VALSECOR[174]). Le programme VALSECOR a constitué un premier pas dans l'intégration des sciences-humaines, économiques et juridiques dans l'approche du milieu récifal à La Réunion.

Dernièrement, seuls les programmes PAMPA ou OT-RUN ont visé, à travers des problématiques et objectifs différents, à intégrer des jeux de données écologiques et sociales, embrassant ainsi une démarche interdisciplinaire. Cette reconnaissance de l'éco-sociosystème (Mirault, 2006) comme nouvelle grille d'analyse, bien que tardive, est perçue jusque dans le plan de gestion de la RNMR (GIPRNMR, 2012) qui intègre désormais des objectifs nécessitant une démarche transdisciplinaire qui consiste à confronter les disciplines en restructurant le savoir disciplinaire et en créant un nouveau savoir partagé (Jakobsen *et al.*, 2004) (Figure 118). Pour atteindre ces objectifs, la seule compilation des indicateurs de diverses disciplines dans un tableau de bord commun n'est plus suffisant. Il est impératif de produire des indicateurs intégrés, développés sur la base des relations identifiés dans la littérature internationale et par les experts réunionnais.

[172] POLARUN est un programme mené par l'ARDA (Association Réunionnaise de Développement de l'Aquaculture) en collaboration avec la RNMR, qui vise à étudier la colonisation post-larvaire des poissons sur les récifs de La Réunion [URL: http://www.arda.fr/front/?iddossier=108]

[173] PECHTRAD (PECHe TRADitionnelle) est un programme mené en collaboration avec l'IFREMER et la RNMR qui s'appuie sur les données de suivi des pêches traditionnelles récoltées par les écogardes de la RNMR lors de leurs tournées sur le terrain, afin de s'assurer sur le niveau de captures est compatible avec un bon maintien écologique du récif

[174] VALSECOR (Valeurs socio-économiques des récifs coralliens de La Réunion) est un programme porté par l'IRD, qui s'est déroulé entre 2003 et 2006 dans le cadre de l'IFRECOR (Initiative Française pour les Récifs CORalliens)

OBJECTIF DE GESTION 2.3 : Assurer une gestion raisonnée des activités nautiques et touristiques au sein de la RNMR				
Améliorer les connaissances sur les activités nautiques et touristiques au sein de la RNMR				
231	Evaluer les impacts des activités sur le milieu	SI24	Croiser les données de fréquentation et l'état de santé des milieux	CO
		RE36	Mener une étude sur les services touristiques et de loisirs	CO
		RE37	Compiler les données statistiques de fréquentation, chiffres d'affaires	CO
Gérer durablement les activités nautiques et touristiques au sein de la RNMR				
232	Créer des supports de communication pour les usagers	G8	Créer et diffuser des cartes de spots de surf et points de mise à l'eau avec édition de livrets	SE
		G9	Créer et diffuser des plaquettes adaptées à tous les usagers et acteurs de la RNMR	SE
		G10	Créer des panneaux avec zone de franchissement de barrière	SE
233	Minimiser les impacts et développer des	G11	Réorganiser les activités	CS
		G12	Développer de nouveaux sites de plongée	CS

Figure 118 - Extrait du plan de gestion mentionnant les objectifs de "croisement des données de fréquentation et de l'état de santé des milieux" (GIPRNMR, 2012)

Cette thèse n'a pas la prétention de développer des indicateurs intégrés finalisés, lesquels seront jugés pertinents au regard des objectifs de gestion, mais de proposer des pistes de travail sur la base de l'exercice de confrontation des données en vue de faciliter le développement futur d'indicateurs intégrés. Du fait d'un trop faible nombre de réplicas temporels et spatiaux, les quelques relations entre indicateurs identifiés dans la littérature scientifique ne sont pas toujours vérifiées ici. En effet, certaines relations pourtant observées par de nombreux auteurs à travers le monde ne se vérifient pas systématiquement à l'échelle locale, à l'instar du lien macroalgues-herbivores (Chabanet *et al.*, 1997). D'une part, ce constat peut relever de spécificités locales que les auteurs peinent encore à identifier, d'autre part il pose la question de la standardisation et la synchronisation des suivis, lesquels pourraient contribuer à réduire significativement les biais liés aux méthodes d'acquisition.

Tableau 53 - Echelles d'analyse pertinentes des relations pressions-écosystème marin selon l'effet à mesurer

Effet mesuré	**Echelle d'analyse**	**Indicateurs de pression retenus**	**Bio-indicateurs retenus**	**Suivis pérennes mobilisés**	**Fréquence**
Etat de santé	Echelle des sites pilotes	Nitrates, exutoires, fréquentation	Algues rouges, Herbivores, maladies coralliennes	-Suivi fréquentation -GCRMN -Suivi merra - Nitrates ? - Maladies ?	Quinquennal
Effet de gestion	Echelle du zonage réglementaire	Fréquentation (pêche à pied)	Couverture corallienne (part de branchus et part de coraux durs vivants), carnivores	-Suivi fréquentation -GCRMN -Suivi merra	Bi-annuel
Risque d'interaction engins/tortues	Intersection zones TORSOOI et zonage de gestion RNMR	Pression par engins motorisés et planches	Densité de tortues vertes	- Suivi fréquentation - Suivi tortues vertes (Kélonia/IFREMER)	Quinquennal
Vulnérabilité récifale	Intersection zones Carex/arvam (2005) et zonage de gestion RNMR	Pression par les usages à fort potentiel d'interaction avec le substrat	Sensibilité récifale (Carex/arvam, 2005)	- Suivi fréquentation - Sensibilité récifale (?)	Quinquennal (sous condition pérennisation cartographie récifale)[175]

[175] Le projet BD récif financé et coordonné par l'IFRECOR, la DEAL, le MNHM et l'Ifremer est un projet qui a pour objectif d'élaborer une base de données relative aux écosystèmes récifaux ultramarins, sécurisée, interopérable et évolutive. Il peut constituer un support à long terme pour la mesure de la vulnérabilité récifale.

Nous avons identifié sur la base de notre travail, quelques suivis intégrés pression-milieu qu'il serait intéressant de mener au regard des suivis existant en local et de la littérature existante (Tableau 53). Bien que certaines interrelations n'aient pu être vérifiées dans cette thèse, ce qui ne relève par ailleurs pas des objectifs de ses objectifs, elles demeurent, au regard de la littérature spécialisée, une base de connaissances. De la pérennisation des différents suivis mobilisés ici et de la volonté des acteurs et des mandataires dépendent la faisabilité de ces suivis pensés pour mesurer ces interrelations (Tableau 53).

Conclusion du chapitre 9

La mise en commun des données sociales et d'écologie se confronte à de nombreuses difficultés qui relèvent non seulement de la difficile homogénéisation des différents jeux de données mais aussi de la difficulté de décloisonner les disciplines dans une approche systémique de l'éco-sociosystème. Dans un premier temps la cartographie croisée des données spatialisées de sensibilité récifale et de pression anthropique directe a permis de diagnostiquer les zones à forts risques d'impacts localisées essentiellement dans le secteur nord de la réserve. Cette même démarche entreprise avec les données spatialisées de densités d'observations de tortues vertes a permis d'identifier les zones à fort risque d'interaction également localisées aux abords des récifs nord.

Dans un second temps une analyse exploratrice et quelque peu pionnière visant à comparer diverses variables représentatives des éléments système pressions-milieu a mis en exergue la forte disparité spatiale et temporelle existant entre les divers jeux de données. Des zones pilotes jugées pertinentes au regard de la représentativité des données et du critère d'homogénéité environnementale ont été sélectionnées (Ermitage, Saline, Saint-Leu et Etang-Salé), et caractérisées à partir des différentes variables les décrivant à deux échelles : spatiale et réglementaire. Les liens entre pressions et équilibre écosystémique perturbé ne sont pas évidents, à l'exception de la Saline où un fort niveau de pression dû à la présence de nombreux exutoires se solde par une couverture en macroalgues importante et la présence de nombreux Stegastes (herbivores), dont la forte abondance peut être symptomatique des milieux dégradés.

Nous avons identifié, sur la base des données de fréquentation et d'usages dont nous disposons, quelques observatoires qu'il serait intéressant de mettre en œuvre, servant à évaluer les interrelations pressions-milieu par certaines mesures : état de santé récifale général, effet de gestion, risques d'interactions engins/tortues, et vulnérabilité récifale. La condition de leur mise en place réside dans la pérennisation des suivis qui le composent, mais également de l'engagement des différents acteurs, financeurs, scientifiques et gestionnaires.

Conclusion partielle

Longtemps absentes des phases de concertation, de décisions et d'institution des Aire Marines Protégées, les données socio-économiques constituent pourtant un volet essentiel dans les processus décisionnels et dans l'évaluation des performances d'une AMP. Les données de fréquentation et sur les usages contribuent généralement à mesurer des indicateurs mobilisant pour l'essentiel des données qualitatives, à l'instar du niveau d'acceptabilité du dispositif par les usagers (Thomassin, 2011). La constitution d'une base de données quantitative sur les usages et leur répartition spatiale et temporelle réalisée dans la présente thèse a constitué une opportunité d'explorer les apports potentiels en matière de gestion (indicateurs) et d'intégration aux réseaux de suivis écologiques.

Une première partie a visé à exploiter les données à travers le prisme de deux thèmes : la réglementation et les problématiques d'impacts. D'une part, les quelques 140 missions réalisées entre 2010 et 2012 ont constitué autant d'opportunités qu'il y eut de vols d'observer des infractions à la réglementation (cf. 8.A.1.). Nous avons diagnostiqué pour les usages de pêche à pied traditionnelle et de chasse sous-marine les plus concernés par la réglementation, respectivement 1258 et 83 infractions à la règle. La comparaison de nos observations à celles des écogardes faites au sol dans le cadre de leurs missions a permis d'évaluer l'efficacité de la surveillance et d'aboutir à la construction de 6 indicateurs de gestion. D'autre part, afin de contribuer à éclairer les gestionnaires sur une question qui sous-tend aux suivis de fréquentation à savoir les problématiques d'impacts, la donnée spatialisée a servi à cartographier la pression exercée au regard de 4 types d'impacts spécifiques (impacts mécaniques sur récifs coralliens ou sur mégafaune, sur la ressource et physico-chimiques) identifiés dans la littérature spécialisée (cf. 8.A.2.). De la même façon, une série de 6 indicateurs ont été proposés sur la base de notre démarche méthodologique en vue d'évaluer le niveau et la répartition de ces pressions dans le temps (cf. 8.A.3.).

Une seconde partie exploratrice a consisté à intégrer nos données de fréquentation et des données écologiques renseignant sur l'état de santé récifale. Les cartes de pression ont été confrontées à des cartes de vulnérabilité (cf. 9.A.1.) permettant une cartographie du risque d'impact direct sur les récifs corallien ou du risque de collision entre engins motorisés ou rapide et tortues vertes. Da, s un second temps, près de 10 jeux de données relatives au benthos (algues, couverture corallienne), aux coraux (maladies, reproduction des coraux) ou aux poissons (carnivores, herbivores et corallivores) ont été confrontés à des données de pression (teneur en nitrates, exutoires, fréquentation) (cf. 9.B.). Le manque d'homogénéité au sein des différents jeux et la faible disponibilité spatiale et/ou temporelle d'un certain nombre de données n'ont pas permis de réaliser des analyses statistiques, mais ont permis de caractériser le système pression-milieu pour chacun des 4 sites pilotes retenus, montrant une diversité des états écologiques des sites, de dégradés (la Saline) à un bon état général (Ermitage ou Saint-Leu). En outre, une analyse menée à l'échelle du zonage réglementaire a ouvert quelques pistes quand à une certaine efficacité de gestion (ex : la zone sanctuaire riche en macabits, espèce cible des pêcheurs), par ailleurs relevée par d'autres auteurs (Moullec, 2011).

De nature plus appliquée, cette partie a démontré que les données spatialisées de fréquentation présentaient de nombreux apports, et contribuait à enrichir à la fois les connaissances et la gamme d'outils du gestionnaire pour l'évaluation de son AMP, à la fois les diagnostics Hommes-Milieu par l'apport d'une donnée relative à la pression anthropique directe. Sur la base de ce travail

d’intégration des données écologiques et sociales, 4 observatoires potentiels d’évaluation de l’état de santé récifale ont été proposés (cf. 9.B.), et leur mise en place dépend fortement de la pérennisation des suivis qui le composent. Ces démarches menées en contexte réunionnais s’inscrivent dans une dynamique à plus grande échelle d’intégration des disciplines en matière de gestion des Aires Marines Protégées. En témoigne la récente institution du GIS HomMer, dont la volonté affichée est de mettre l’accent sur la collaboration chercheurs-gestionnaires.

Conclusion générale

L'essor très récent des études de fréquentation en milieu littoral explique qu'elles aient peu de traductions en termes de littérature grise. En effet, le sujet est relativement nouveau, né d'une récente demande de la part des gestionnaires et des acteurs de la conservation qui observent un engouement croissant de la part du public pour ces espaces de nature (Gagnon, 2007 ; Meur-Férec 2007). Souvent adossées à des plans de gestion, une grande part des études et observatoires identifiés relèvent plus du champ opérationnel qu'ils ne s'inscrivent dans un cadre de recherche scientifique. Pourtant, au-delà des besoins premiers du gestionnaire, la portée de ce type d'étude est multiple et des questions d'utilisation durable de l'environnement naturel et des ressources lui sous-tendent désormais (cf. Partie 1, chapitre 2). Les suivis de fréquentation et les données d'usages permettent d'ores et déjà de répondre concrètement à plusieurs questions de gestion et de recherche :

- l'amélioration de la connaissance sur les usages (Smallwood, 2009), de leur répartition spatio-temporelle (cf. Partie 2, chapitre 5.A et 5.B.), leur évolution dans le temps (cf. Partie 2, chapitre 6.A. à 6.C.) et ce qui détermine leur répartition (cf. Partie 2, chapitre 5.C. et chapitre 6.D.)
- la réalisation d'un diagnostic des répartitions spatiales et temporelles des pressions anthropiques directes (cf. Partie 3, chapitre 8.A.2.) et l'étude de leurs relations avec l'état du milieu (cf. Partie 3, chapitre 9), une démarche nécessairement multidisciplinaire de plus en plus sollicitée par les gestionnaires et encouragées par les autorités d'évaluation de la recherche française (AERES) ;
- à la seule condition que le protocole soit reproductible sur le long terme (cf. Partie 3, chapitre 8.B.), la contribution à la production d'indicateurs socio-économiques (cf. Partie 3, chapitre 8.A.3.).

Si de plus en plus de chercheurs accompagnent les gestionnaires dans ce type d'études, une part importante est cependant réalisée par des consortiums privés (Brigand, 2008). La conséquence directe de cette structuration des études est qu'une bonne partie des restitutions paraissent sous forme de manuels destinés aux gestionnaires d'espaces protégées. Depuis une dizaine d'années que ce type d'étude, originellement pensée pour améliorer la gestion récréative des forêts (Ballion, 1975 ; Poulin 1980), tend à se généraliser en milieu littoral, elles mobilisent des disciplines variées (géographie, sociologie, économie, anthropologie, écologie, biologie) selon le contexte et la finalité de l'étude. Parce qu'elles sollicitent une compréhension des interactions Hommes-milieu, le thème de la fréquentation et ses corollaires (usages, services écosystémiques, territoires) tendent aujourd'hui à s'ériger en champs (trans) disciplinaire pour de nombreuses disciplines des sciences humaines. La géographie contemporaine qui se revendique de cette approche systémique à travers ses paradigmes de "géosystème" (Bertrand et Bertrand, 2002) ou d'"éco-sociosystème" (Corlay, 1995), se positionne en discipline de choix dans ce contexte. Aussi, en France comme ailleurs, les études de fréquentation sont le plus souvent réalisées par des géographes, dont la formation, les méthodes et les paradigmes permettent, dans une approche territorialisée, l'intégration des problématiques écolo-centrées et anthropocentrées (Skole, 2004 ; Mathevet et Poulain, 2006).

* *
*

La diversité des territoires de conservation en termes de taille, de morphologie et de fréquentation mais également en termes de moyens, implique que les protocoles de suivi développés sont fortement variables d'un site à un autre. L'un des premiers résultats de cette thèse réside dans l'élaboration d'un protocole de suivi de la fréquentation abouti et optimisé pour la gestion. Élaboré en collaboration avec le gestionnaire dès 2010, il a été pensé pour répondre aux contraintes spécifiques du terrain (récif frangeant, multiples usages aux divers territoires de pratique) et à la faible disponibilité en main-d'œuvre (contexte de gestion). Il recourt à des outils généralement utilisés en écologie pour le suivi de l'avifaune (Tasker *et al.*, 1984 ; Okamura, 2003 ; Certain et Bretagnolle, 2008 ; Rowat *et al.*, 2009), à savoir le couplage ULM-appareil photographique, ce qui permet de recenser toute l'activité au sein de la RNMR dans un court laps de temps d'une heure et de réaliser des "instantanés de fréquentation".

Toujours vérifiable, la structure des protocoles repose sur un rapport générique "Moyens-Terrain-Outils" et son optimisation garantit la mise en place d'un protocole reproductible pour le gestionnaire. Cette reproductibilité est également fonction de la politique de gestion du gestionnaire et sa propension à valoriser le volet socio-économique. Nous avons pu déterminer dans le cadre de cette thèse qu'un budget annuel de 1500 euros pouvait garantir un maintien du suivi à raison de 7 missions aéroportées par an. En cas de non-disponibilité des moyens aéroportés, la sélection de 6 sites pilotes se positionne alors comme une alternative durable limitant à 7 observateurs le besoin en main d'œuvre (cf. 8.B.3.2.). Afin d'alléger les opérations de post-traitement consistant à dénombrer les usagers sur photographies, des tests en télédétection par le biais d'images à très Haute Résolution Spatiale (THRS-Pléiades) et d'un protocole orienté objet en traitement d'image (OBIA) ont été réalisés[176], lesquels n'avait permis de discriminer que les activités d'une taille égale ou inférieure à une planche de surf. Sur les plages de sable blanc corallien, la saturation des capteurs abouti à un phénomène de sous détection. Par ailleurs, des applications logicielles de détection automatique à reconnaissance de pixel ou de forme sur photographies existent, notamment dans le domaine de l'ornithologie (Descamps *et al.*, 2011). L'objet avifaune présente cependant moins de variance que l'humain en contexte balnéaire (couleur de peau ou de vêtement, position, accessoires, etc.).

* *
*

Déployé entre 2010 et 2013, le protocole a permis la production d'une base de données importante comportant plus de 577 600 observations contenues dans un tableau de contingence de 18 532 lignes et 35 colonnes et dont l'exploitation autorise la réponse à diverses problématiques. Au total, ce sont 15 usages répartis au sein de 10 catégories d'activités dont les dynamiques spatiales et temporelles ont pu être analysées et cartographiées. La "crise requin" et les impacts engendrés sur les dynamiques de répartition sont venus donner une nouvelle dimension à ces travaux de thèse. Entre 2011 et 2013, une augmentation soudaine, considérée comme "exceptionnelle", de la fréquence des attaques sur cette période ont donné naissance à ce que les médias ont nommé "crise requin". Aussi, a poste*riori*, la campagne 2010 de suivi de la fréquentation a constitué un état initial

[176] Goutorbe S., Pennober G., Lemahieu A., 2014 - Evaluation of littoral distribution using images from Pleiades satellite in a reef context. Pléiades days, April 1-3, 2014, Toulouse, France.

de la fréquentation balnéaire et nautique pratiquée au sein de la Réserve Marine, dès lors qu'aucun facteur de perturbation n'a été enregistré cette année-là.

Un schéma de répartition initial attendu…

L'état zéro 2010 (chapitre 4) fait état de la répartition initiale en climat politico-social neutre. Nous postulons donc qu'elle se rapproche du modèle de répartition initial, hors crise sociale, économique ou environnementale. Cet état initial a permis de dresser une cartographie spatio-temporelle du territoire des pratiques pour 15 types d'usages. Près de 90 % des quelque 135 296 des individus observés sur l'aire d'étude en 2010 sont des plageurs et baigneurs soit des usages du domaine fronto-littoral, témoignant d'un modèle balnéaire à dominante récréative. Cette dominance des activités récréatives nautiques est entérinée par la forte prévalence des surfeurs (4,1 %), des plongeurs (2,6 %) ou des pratiquants de palmes-masque-tuba (1,2 %). De la même façon, l'essentiel des activités aérotractées, kitesurf et windsurf, se pratique à proximité de la côte sur les plans d'eau récifaux de la Saline. La pêche tient tout de même une place importante dans le paysage des activités avec 1,6 % des observations dont les trois quarts sont des pêcheurs à pieds (cf. 5.A.1.1). Ces derniers tendent à se concentrer dans les secteurs de passes et sur les platiers au plus près du front récifal. Le modèle de répartition historique (cf. Partie 2, chapitre 6.D.) témoigne de l'ancienneté du schéma de répartition actuel, marqué par la présence de trois foyers attractifs distincts : Boucan-Canot (12 % des observations en 2010), les complexes récifaux de l'Ermitage/la Saline (30 et 23 %) et l'Etang-Salé (12 %).

L'été austral (janvier-avril) demeure plus que jamais la saison de prédilection pour la pratique d'un plus grand nombre d'activités à l'exception du surf qui reste une activité intemporelle et la plongée sous-marine qui se pratique davantage en hiver lorsque la visibilité est optimale et que la saison touristique bat son plein (juillet-aout). Le week-end de période scolaire apparait comme la période privilégiée de répartition pour une grande partie des activités. Ce constat renforce l'hypothèse d'une forte prévalence d'usagers locaux dans les différentes communautés d'usagers, notamment chez les plageurs. Les activités plagiques et nautiques et les sports de glisse s'épanouissent se pratique préférentiellement l'après-midi lorsque les activités à vocation touristique (plongée sous-marine, découverte du milieu marin) et les activités de pêche sont associées au créneau matinal.

Le modèle de répartition spatio-temporel décrit ci-dessus répond à des logiques dictées par de nombreux facteurs pérennes ou événementiels. Par le biais d'un inventaire des commodités et des services mis à disposition des usagers sur les espaces fronto-littoraux, nous avons mis en lumière l'effet attractif des plages pourvues d'une dépression d'arrière-récif, de postes de maître-nageurs-sauveteurs, de parkings et de sanitaires sur les usagers. Alors que d'autres sites à l'instar de Cap Champagne, Cap Homard ou Saint-Leu sud peuvent parfois présenter de nombreux atouts structurels ou naturels, il semblerait que l'absence d'une zone de baignade ait historiquement entravé toute politique de développement et n'encourage pas les usagers à s'isoler (Moya, 2000). Pour A.A. Lew (1987) l'attractivité se trouve à la base du développement touristique constituant ainsi un élément d'organisation du territoire (Bourgain *et al.*, 2010 ; Poirot et Gérardin, 2010). Chaque usager produit son espace de représentation selon ses codes, et Raffestin (1986) dira du touriste qu'il recherche des lieux *"réels qui n'ont d'existence que par leur nom sur une carte ; il recherche des lieux-images qui sont localisés dans son esprit, qui habitent ou hantent son imagination"* (Raffestin, 1986). Aussi, afin de cerner complètement les dynamiques à l'origine de la répartition des usagers, les protocoles

d'acquisition de données quantitatives devraient être complétés par des enquêtes sur les préférences des usagers.

Évolution de la fréquentation sur fond de crise requin

Entre 2010 et 2011, la fréquentation moyenne globale s'est accrue de 15,7 % et à nouveau de 10 % entre 2011 et 2012. L'année 2013 qui dispose d'un nombre plus faible de réplicas a été marquée par une baisse moyenne de 5 %. Ces évolutions sont variables en fonction des périodes d'échantillonnage. Alors que la tendance à l'augmentation se vérifie pendant les vacances scolaires, la période scolaire est soumise à une variabilité dans son évolution qu'il s'agisse du week-end (baisse de 6 % en 2011 et augmentation 10 % en 2012) ou de la semaine (augmentation de 52 % en 2011 et baisse de 15 % en 2012). Au regard des autres années, la fréquentation moyenne a davantage augmenté le matin en 2012 (+11 %). Ces variations ont été plus significatives à l'échelle des secteurs de Boucan-Canot dont la configuration de la zone de bain dépourvue de front récifal est plus propice et a historiquement favorisé les attaques de requin (2 attaques en 2011). Cette forte variabilité concerne également les secteurs de l'Ermitage et de Saline nord où l'on a constaté une augmentation moyenne d'usagers (+48 % entre 2010 et 2012 et seulement 13,5 % sur la période week-ends de période scolaire), probablement par un effet de report des usagers des plages à risque (Boucan-Canot, Roches-Noires ou Etang-Salé) aux plages pourvues d'un front récifal, et donc rendues plus sécurisantes. A l'échelle des usages, les évolutions ont été marquées sur la période 2010-2012 par une augmentation des activités plagiques entre 2010 et 2012 (+17 %), de pêche à pied (+21 %), et les activités nautiques (4,6 fois plus d'observation de paddle, +9,6 % de PMT, et +26 % de pédalo). Inversement, certaines activités ont vu leur nombre moyen de pratiquants décroître significativement, à l'instar de la plongée sous-marine (-24 % d'observations de bateaux), du surf (-40,7 %), du kitesurf ou du windsurf (-15 %). En 2013, ces tendances se maintiennent à l'exception des activités de plage, et certaines activités nautiques à l'instar du PMT qui accusent une baisse (-24 % de plageurs et -8,3 % entre 2012 et 2013).

Plusieurs facteurs concourent à expliquer la répartition spatio-temporelle des usagers. Ces derniers sont à la fois structurels (législation de l'AMP, aménités, infrastructures et aménagement) et événementiels (crises politiques ou sociales, fluctuations du tourisme, météorologie, événements météo-marins paroxysmiques). A l'échelle de la période étudiée, la crise requin a fortement impacté les dynamiques et donné davantage de poids à des paramètres qui participaient déjà à expliquer la répartition en 2010 (cf. Partie 2, chapitre 5.C.) à l'instar des zones pourvues de dépression d'arrière-récif dont la propriété est d'offrir un espace de baignade sécurisant (Ermitage-Saline). Une nécessaire attention a été portée à l'interprétation des variations interannuelles à la lumière de cette "crise requin". D'une part, les 10 attaques enregistrées sur la côte Ouest dont 9 dans le périmètre de la Réserve Marine ont eu des répercussions sur la perception des usagers, d'autre part les arrêtés préfectoraux et municipaux de baignade et d'activités nautiques ont largement contraint la répartition dans le temps (durée d'interdiction) et dans l'espace (secteurs désertés et secteurs en forte progression d'usage). Ces deux phénomènes ont contribué à altérer le schéma de répartition originel. Les secteurs offrant une zone de baignade naturellement "sécurisée"[177] par la présence d'un

[177] Certains témoignages d'observations de squales dans le lagon et par ailleurs relayés par les médias mettent à mal cette assertion

front récifal ont vu leur effectif augmenter relativement aux autres sites, ce qui est particulièrement le cas pour les plages de la Saline (24,7 % des observations en 2012 contre 20 % en 2010). Les secteurs de Boucan-Canot (8,5 % des observations en 2012 contre 12,4 % en 2010) ou Roches-Noires ont quant à eux subit de plein fouet la crise requin et vu leur fréquentation baisser, notamment la fréquentation par les baigneurs (-45 % entre 2010 et 2012 lors des week-ends de vacances scolaires). Alors que l'augmentation du nombre moyen de pratiquants de sports nautiques (PMT, paddle notamment) peut être directement imputable à la crise requin et provenir des effets d'une probable "reconversion" des pratiquants de sports de glisse, l'augmentation des pêcheurs à pied traditionnels fait également, dans une certaine mesure, écho à la crise. Alors que l'attention se focalise sur la communauté des surfeurs directement impactée par les attaques de squales, cette recrudescence de pêcheurs à pied peut hypothétiquement être interprétée comme une défiance à l'égard de l'autorité du gestionnaire, une reconquête de territoire de la part de d'un groupe d'usagers qui depuis l'institution de la RNMR se sent lésé (Thomassin, 2011).

Alors que certaines voix se sont élevées pour dénoncer les impacts d'une crise requin sur le secteur touristique en vue d'asseoir la légitimité des campagnes de prélèvements de squales, plébiscitée par certains groupes d'usagers de la mer, il s'avère que les chiffres du tourisme n'ont cessé de croître jusqu'en 2012, pour ne baisser qu'en 2013 de 10 %. Beaucoup affirment que cette baisse serait due à la crise requin, sur fond de crise économique (annexe 14). On peut néanmoins s'étonner que les répercussions de la crise ne se soient pas fait sentir en 2012, année qui a enregistré une hausse de 4,8 % du nombre de nuitées en hôtels au premier semestre. Afin d'identifier à quoi pourrait être imputée cette inertie, des enquêtes ciblées sont nécessaires pour mieux connaître la perception du risque et de la crise par les usagers. Nous avons dans notre étude montré un lien statistique entre fréquentation balnéaire et fréquentation touristique dans les hôtels (cf. Partie 2, chapitre 6.D.2.). Ce constat laisse envisager l'hypothèse d'une forte contribution des usagers touristes dans les scores de fréquentation observés, une hypothèse renforcée par le comportement de certaines activités "à touristes". En effet, les activités de découverte du milieu marin ou les activités plagiques (plage/baignade) ont toutes tendance à épouser la courbe du tourisme (cf. 6.D.2.), se traduisant par une augmentation progressive jusqu'en 2012 (+21 % et +39 % entre 2010 et 2012) puis une baisse en 2013[178] (-72 % et -10 % entre 2012 et 2013). Ce lien déjà perceptible à l'échelle des trois années de données exploitées dans cette thèse ouvre de nombreuses perspectives en matière d'accompagnement des décideurs dans l'aménagement littoral et les stratégies de développement auxquelles sous-tendent les questions de régulation des flux et de rééquilibrage des densités d'usagers (Budowski, 1976).

* *
*

L'efficacité des Aires Marines Protégées est mesurée à l'aide d'indicateurs renseignant sur l'évolution des processus économiques, sociaux, écologiques ou de gouvernance. Or, comme le font si bien remarquer D. Pelletier *et al.* (2005), encore trop peu de littérature grise est dédiée à l'étude des effets sociaux ou économiques des AMP, un constat hérité d'une longue période de gestion écolo-centrée. Il est aussi pointé du doigt le fait que les deux tiers de la littérature dédiée à l'évaluation de la conservation ne se soldent par aucune action concrète puisque les chercheurs explorent trop peu la dimension appliquée de leurs recherches (Knight *et al.*, 2008), ce qu'ils nomment le "*knowing-*

[178] Pour les bateaux de découverte, la baisse s'amorce prématurément en 2012

doing gap", soit le fossé entre savoir et action concrète. Un troisième volet a visé à explorer la dimension appliquée de ces travaux de thèse à travers une contribution de l'outil à la gestion par le biais d'indicateurs de gouvernance et de pression, et à travers une démarche exploratrice de confrontation des données de fréquentation aux données écologiques du milieu.

Un outil de la gestion…

L'Aire Marine Protégée est une "construction sociale" (Depraz, 2008), et sa mise en place résulte dans une superposition de nombreux territoires (David *et al.*, 2008). De cette superposition résulte un nouveau territoire à administrer (Chaboud et Galetti, 2007) qui mobilise de nombreuses disciplines au travers des processus de mise en place et d'évaluation de l'efficacité de ces dispositifs. Pour atteindre ses objectifs de conservation, un gestionnaire d'Aire Marine Protégée doit s'acquitter de nombreuses tâches. Longtemps reléguées au second plan, les études socio-économiques, à l'instar des études de fréquentation, deviennent indispensables. Dans un contexte où la raréfaction des ressources s'oppose à une demande croissante de la part des sociétés humaines, les gestionnaires ont affaire à plusieurs obstacles. D'une part une trop forte fréquentation peut engendrer des impacts sur le milieu et ils ont à cet égard un devoir de régulation des pressions ; d'autre part la lente et difficile acceptation sociale récurrente constitue une entrave aux objectifs de gestion, pire encore, elle peut menacer la pérennité du dispositif (Halpern et Warner, 2003 ; Thomassin, 2011). Aussi, la prise en compte de ces problématiques se traduit par la mise en place d'études et de suivis socio-économiques sur la gouvernance et les usages.

À La Réunion où les objectifs de conservation d'un récif frangeant déjà fortement fragilisé (Ahamada *et al.*, 2008) s'opposent à une occupation massive et croissante du littoral, la promotion de démarches intégrées est plus que jamais au goût du jour. Le gestionnaire de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion créée en 2007 a d'ores et déjà intégré à son premier plan de gestion (GIPRNMR, 2012) de nombreux objectifs transversaux qui sollicitent la contribution des sciences sociales (cf. 3.C.5.), à l'instar du suivi de fréquentation qui a fait l'objet de cette thèse. Cette dernière a donc pour vocation seconde d'accompagner le gestionnaire dans l'intégration durable d'un volet socio-économique au plan de gestion. Les données de fréquentation acquises dans le cadre de ce travail ont offert l'opportunité d'accéder à une cartographie non plus théorique, mais réelle des territoires de pratique. En outre elle a permis d'avoir une idée des échelles de valeurs en matière de nombre d'usagers sur une portion de linéaire côtier donnée. Le nombre important de réplicas a permis d'affiner le modèle de répartition pour chaque année échantillonnée.

Sur la base du suivi réalisé entre 2010 et 2013, un ensemble d'indicateurs a pu être élaboré. Un premier set de métriques de gouvernance basé sur la comparaison des infractions constatées en vol et l'effort d'échantillonnage par la cellule surveillance du GIPRNMR a été proposé, de même qu'un second set de métriques de pression développées sur la base du potentiel impactant des différentes activités (cf. 8.A.3.). Ces métriques viennent compléter celles qui ont été élaborées dans le cadre du programme PAMPA (Tessier *et al.*, 2011) sur la base des travaux de thèse de A. Thomassin (2011) sur l'acceptabilité sociale de l'AMP, et des travaux de Master I de l'auteure (Lemahieu, 2010) (annexe 13). Leur intégration au tableau de bord des indicateurs est fonction de la pérennisation du suivi de fréquentation et donc des moyens alloués à ce type d'étude. Cet impératif budgétaire

renvoie à la nécessaire valorisation et/ou priorisation des études socio-économiques par le gestionnaire, et c'est encore là le point faible en matière de stratégies de gestion.

La question de la généricité des protocoles se pose en outre depuis quelques années au sein du réseau d'AMP, puisque pour de nombreuses raisons par ailleurs déjà évoquées (cf. 1.B.3.3.), les problématiques de connectivités et de corridors de biodiversités amènent les institutions à mettre l'accent sur la coopération et la mise en place de cadres méthodologiques communs. Alors que l'AAMP encourage la diffusion des connaissances en régional ou à l'échelle nationale au sein du réseau d'AMP, se pose la question de la généricité des suivis. Chaque gestionnaire recourt à ses propres intervenants, ce qui résulte dans une multiplicité des méthodes et rend difficile la comparaison des résultats entre eux. C'est pourquoi de plus en plus de réunions de travail s'organisent entre les gestionnaires d'AMP, afin de mettre en commun les compétences, les outils, les méthodes pour tendre vers un cadre commun d'évaluation des AMP. Alors que Mayotte souhaite intégrer à son plan de gestion un volet fréquentation, l'UMR Espace-Dev a été approchée pour son expertise nouvelle en la matière, afin de collaborer à l'élaboration d'un protocole de suivi adapté et reproductible. Nous avons par ailleurs illustré par cet exemple la difficulté et les limites inhérentes à standardiser des protocoles compte tenu de la variabilité intersites, la configuration géographique restant la première contrainte (cf. 8.B.2.).

Enfin, la prise en compte des perceptions qui devrait être au cœur d'un programme financé par l'IFRECOR et chapeauté par l'UMR Espace-Dev en 2017 afin d'évaluer la perception des usagers dix années après l'établissement de la RNMR, reste une donnée fondamentale qu'il est impératif d'obtenir régulièrement. D'une part elle permet de nuancer les modèles de répartition acquis et mieux interpréter les variations dans le temps à la lumière des préférences et des habitudes des usagers. D'autre part car elle peut fournir des indications sur le niveau de conscientisation des communautés d'usagers vis-à-vis de leurs devoirs de conservation. S. Aswani et M. Lauer ont démontré en comparant l'évolution du benthos entre deux évènements paroxysmiques (tsunami) et la perception que les peuples indigènes des îles Salomon avaient de cette évolution, que ces derniers étaient capables de détecter les changements environnementaux fidèlement à la réalité scientifique (Aswani et Lauer, 2006). Cette conscience de leur environnement qu'ont acquis ces communautés constitue un point fort pour la conservation en ce qu'elle les responsabilise vis à vis de l'utilisation des ressources.

* *
*

L'une des clés du système homme-environnement

Depuis une dizaine d'années que l'intégration progressive des données sociales qualitatives et quantitatives ouvre le champ des possibles en matière de développement d'indicateurs, on assiste à l'émergence de programmes dédiés aux approches interdisciplinaires. Longtemps manquantes, ces métriques socio-économiques permettent de venir enrichir les tableaux de bord et facilitent les

démarches systémiques dans les diagnostics environnementaux. Sur cet échiquier, il est de plus en plus reconnu que la Géographie dispose des outils permettant de créer des ponts entre les disciplines dans l'approche des problématiques d'interactions Homme-milieu (Mathevet et Poulain, 2006), et peut jouer un rôle fédérateur comme l'affirme D.L. Skole (2004) : *" […] trends are converging that will place the discipline of geography at the forefront of knowledge creation in the environmental sciences, with a key emphasis on human-environmental interactions, and these trends will present opportunities and challenges for geography as an integrative discipline"* [179]. L'intégration entre données écologiques et données socio-économiques demeure un réel challenge du fait que les méthodes, les outils, les protocoles et la nature des données diffèrent considérablement d'une discipline à l'autre. C'est probablement la raison pour laquelle il est si difficile d'identifier une littérature grise qui réponde aux mots-clés "*coral reefs*" et "*multidisciplinary /trandisciplinary/interdisciplinary*", et les chercheurs français s'illustrent relativement bien dans ce type de démarche en contexte corallien (Pelletier *et al.*, 2005 ; Clua *et al.*, 2005).

Dans le cadre de cette thèse, l'acquisition de données spatialisées d'usages a permis d'approcher la problématique des impacts environnementaux d'origine anthropique à travers la cartographie des pressions. Quatre types de pression ont été diagnostiquées et cartographiées au regard des activités impliquées dans les impacts pouvant survenir localement (impact mécanique, impact sur faune, impact physico-chimique et impact sur la ressource). Ces cartes constituent une connaissance de base sur la répartition et le niveau des pressions et permettent l'identification des zones mobilisant des enjeux pour le gestionnaire. Une démarche de croisement des cartes de pression aux cartes de sensibilité récifale (CAREX et ARVAM, 2005) et de densité de tortues[180] a également été entreprise, laquelle a permis d'établir que les zones à plus forts risques d'impact et de collision se situaient essentiellement dans les secteurs nord de la réserve, à proximité du port de Saint-Gilles et des récifs coralliens (cf. Partie 3, chapitre 8.A.2.1.). De la même façon, l'existence de ces données quantitatives et spatialisées sur les usages a créé l'opportunité d'entreprendre une démarche, pionnière à La Réunion, d'intégration spatialisée des données écologiques et d'usages. D'emblée confrontés au problème d'hétérogénéité spatiale et temporelle et de la difficulté de les comparer entre elles, un ensemble de quatre sites pilotes ont été retenus (Ermitage, Saline, Saint-Leu et Etang-Salé) pour l'année 2011, sur la base desquels un diagnostic environnemental initial a été posé (cf. Partie 3, chapitre 9.B.2.1.), et un ensemble d'outils pour l'évaluation de l'état de santé récifal proposés (chapitre 9.B.).

Les limites rencontrées au cours de cette démarche interdisciplinaire de croisement des données sociales et écologiques ont mis en lumière le difficile mais impérieux besoin d'harmoniser les protocoles en proposant des échantillonnages spatiaux et temporels communs et des méthodes standardisées de stockage des informations. A l'heure où de plus en plus d'études de fréquentation sont sollicitées par les décideurs et les gestionnaires et où des observatoires produisent de la donnée en continu, il manque encore une passerelle entre disciplines sociales et écologiques pour véritablement explorer la dimension appliquée des données de fréquentation. Les relations de cause à effet sont difficiles à établir scientifiquement, car il s'agit de processus en proie à une forme d'inertie s'agissant des impacts induits par les changements climatiques, ou les impacts indirect

[179] "(...) il existe actuellement des courants convergents qui placent la Géographie contemporaine au front de la production du savoir en sciences environnementales, avec l'accent mis sur les interactions Homme-Milieu. Ces courants sont à même de présenter de nouvelles opportunités et constituer un challenge pour la Géographie en ce qu'ils la placent en tant que discipline intégrative"

[180] Base de données TOrtues marines du Sud-Ouest de l'Océan Indien TORSOOI [URL:www.torsooi.com]

causés par l'Homme. En outre, la fréquence trop peu élevée des suivis scientifiques ne permet pas de déceler les changements pour peu que ces derniers se produisent sur une échelle de temps courte à l'instar des impacts directs causés par l'homme (cassage ou abrasion du corail par exemple). Aussi, concernant la mesure et le suivi de ce dernier type d'impact, des progrès sont encore à faire pour rendre les protocoles de suivis plus efficaces. A l'heure actuelle, ces derniers sont fastidieux et difficilement reproductibles car ils recourent à des méthodes d'observation directe *in situ* en intensif (Rouphael et Inglis, 1997 ; Barker et Robert, 2004 ; Luna *et al*., 2009) qui nécessitent de suivre des usagers et détecter les moindres interactions avec le substrat afin d'en quantifier les impacts. Une autre alternative plus répandue consiste recourir à des analyses comparatives entre sites très fréquentés et sites peu ou pas fréquentés afin d'évaluer les effets de la pratique du palmes-masque-tuba (Allison, 1996), de la plongée sous-marine (Hawkins *et al*., 1998) ou des effets du piétinement (Rodgers et Cox, 2003) sur le substrat corallien.

Si dans le cadre de cette thèse une cartographie des pressions directes a pu être proposée, elle n'a pu être confrontée à des données sur les impacts mécaniques sur récif. Ce type d'information, qui va typiquement s'exprimer en prévalence d'organismes sensibles et en coraux durs cassés sur un transect donné, ne fait l'objet d'aucun suivi spécifique à La Réunion, ni n'est particulièrement développé dans la littérature grise. De tels protocoles, par ailleurs déjà testés à Mayotte au travers de la mesure de "l'Indice de Dégradation des Organismes Sensibles" ("IDOS" ; Jamon *et al.,* 2009) visent à quantifier les impacts directs par la reconnaissance des branches fraîchement cassées (la blancheur gageant que l'impact s'est récemment produit) ce qui est rendu difficile non seulement par la nature "rapide" des processus naturels de repousse ou de colonisation des colonies et branches cassées par les algues, mais également par la difficulté à discriminer l'origine anthropique dans les impacts constatés (Jamon *et al.,* 2009). Aussi ce type de suivi impose-t-il une fréquence élevée d'échantillonnage et une disponibilité des observateurs qui doivent pouvoir se rendre sur site de façon régulière, notamment après des configurations exceptionnelles (une très forte fréquentation associée à une marée basse exceptionnelle). Enfin une dernière solution consisterait à intégrer aux suivis existants (GCRMN par exemple) le suivi des impacts directs sur récif. Repenser les réseaux de suivis existants de façon plus intégrée et standardisée nous apparaît être, en contexte de gestion d'un écosystème corallien, une condition à la mise en place d'un observatoire efficace et au décloisonnement des disciplines dans l'évaluation de l'état de santé récifale.

Bibliographie

A

Agardy M.T., 1993 - Accommodating ecotourism in multiple use planning of coastal and marine protected areas. *Ocean & Coastal Management*, 20(3), pp. 219-239.

Agardy M.T., Bridgewater P., Crosby M.P., Day J., Dayton P.K., Kenchington R., Laffoley D., McConney P., Murray P.A., Parks J.E., Peau L., 2003 - Dangerous targets? Unresolved issues and ideological clashes around marine protected areas. *Aquatic conservation*, 13(4), pp.353-367.

Agrawal A., Gibson C.C., 1999 - Enchantment and disenchantment : the role of community in natural resource conservation. *World development*, 27(4), pp. 629-649.

Ahamada S., Bijoux J., Cauvin, B, Hagan A., Harris A., Koonjul M., Meunier S., Quod J.P., 2008 - Status of the coral reefs of the South-West Indian Ocean island states: Comoros, Madagascar, Mauritius, Reunion, Seychelles. In: Wilkinson, C.R. (Ed.), Status of coral reefs of the world: 2008, AIMS, Townsville, Australia, 13 p.

Allison W.R., 1996 - Snorkeler damage to reef corals in the Maldives Islands. *Coral Reef*, 15(4), *Springer Berlin*, pp. 215-218.

Allison G.W., Lubchenco J., Carr M.H., 1998 - Marine reserves are necessary but not sufficient for marine conservation. *Ecological applications*, 8(1), pp. S79-S92.

Alós J., Arlinghaus R., 2012 - Impacts of partial marine protected areas on coastal fish communities exploited by recreational angling. *Fisheries Research*,137, pp. 88-96.

Aminot A., Kerouel R., 2007 - Dosage automatique des nutriments dans les eaux marines. *Editions de l'Ifremer*, 188 p.

Andral B., Cambert H., Turquet J., Ropert M., Duval M., Vermenot C., Boissery P., Talec P., 2013 - Guide méthodologique pour la surveillance des rejets urbains dans les eaux littorales de La Réunion. Rapport Ifremer/Arvam/Agence de l'eau, 87 p.

Andréfouët S., Chagnaud N., Chauvin C., Kranenburg C., 2008 - Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer. Centre IRD de Nouméa, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, [URL: http://ifrecor-doc.fr/items/show/1032].

Anonyme, 1980 - La Réunion entre Terre et Mer. Conservatoire de l'espace et du littoral.

Armsworth P.R., Chan K.M.A., Daily G.C., Ehrlich P.R., Kremen C., Ricketts T.H., Sanjayan M.A., 2007 - Ecosystem Service Science and the Way Forward for Conservation. *Conservation Biology*, 21(6), pp. 1383-1384.

Arnberger A., Brandenburg C., 2002 - Visitor structure of a heavily used conservation area: the danube floodplains national park, Lower Austria. *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas*, Conference Proceedings, pp. 7-13.

Aswani S., Lauer M., 2006 - Benthic mapping using local aerial photo interpretation and resident taxa inventories for designing marine protected areas. *Environmental Conservation*, 33(03), pp.263-273.

Aubert de la Rue E., 1956 - L'homme et les îles. Géographie Humaine Coll., *Gallimard éds*., 212 p.

Aubertin C., Rodary E., (eds), 2008 - Aires protégées: espaces durables. *IRD éds*, 276 p.

Audouit C., 2008 - L'occupation et la fréquentation liées aux activités récréatives et leurs impacts. A la recherche d'une gestion intégrée du littoral du Languedoc-Roussillon. Université de Montpellier III, Thèse de géographie.

B

Ballion R., 1975 – La fréquentation des forêts. *Revue forestière française*, 27(2), pp. 155-170.

Ban N., Alder J., 2008 - How wild is the ocean? Assessing the intensity of anthropogenic marine activities in British Columbia, Canada. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 18(1), pp. 55-85.

Barker N.H., Roberts C.M., 2004 - Scuba diver behaviour and the management of diving impacts on coral reefs. *Biological Conservation*, 120(4), pp. 481-489.

Barnaud C., Antona M., Marzin J., 2011 - Vers une mise en débat des incertitudes associées à la notion de service écosystémique. VertigO*,* Vol. 11, n°1, [http://vertigo.revues.org/10905 ; DOI : 10.4000/vertigo.10905].

Baron-Yelles N., 2001 - Tourisme et aires protégées du littoral: le cas de la façade atlantique française. *L'information géographique*, 65(2), pp. 141-155.

Battistini R., Bourrouilh F., Chevalier J.P., Coudray J., Denizot M., Faure G., Fisher J.C., Guilcher A., Harmelin-Vivien M., Jaubert J., Laborel J., Masse J.P., Mauge L.A., Montaggioni L., Peyrot-Clausade M., Pichon M., Plante R., Plaziat J.C., Plessis Y.B., Richard G., Salvat B., Thomassin B.A., Vasseur P., Weydert P., 1975 – Eléments de terminologie récifale indo-pacifique. *Thétys*, 7(1), pp. 1-111.

Beck M.W., Heck K.L., Able K.W., Childers D.L., Eggleston D.B., Gillanders B.M., Halpern B., Hays C.G., Hoshino K., Minello T.J., Orth R.J., Sheridan P.F., Weinstein M.P., 2001 - The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates a better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *Bioscience*, 51(8), pp. 633-641.

Becker A., Whitfield A.K., Cowley P.D., Järnegren J., Næsje T.F., 2013 - Does boat traffic cause displacement in estuarine fish? *Marine Pollution Bulletin*, 75, pp. 168–173.

Beguin M., Pumain D., 2003 - La représentation des données géographiques. Statistique et cartographie, *Armand Colin éds.*, Paris, 256 p.

Bergère J., 2011 - Mise en place d'un réseau de plongeurs observateurs bénévoles sur l'aire de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Rapport de stage, 40 p.

Bertrand G., 2000 - La pêche sous-marine à La Réunion. Mémoire de Master 2, Université de La Réunion, dir. J.-L. Guebourg, 59 p.

Biais G., Taquet M., 1992 - La pêche locale aux abords de La Réunion. *Repères océan*, 2 : pp. 1-78.

Bigot L., 2008 - Evolution spatio-temporelle de la biodiversité et de la structure des communautés benthiques entre 1998 et 2008 sur les stations sentinelles GCRMN de La Réunion. Rapport ECOMAR pour le compte de APMR. 32 p.

Birkeland C. (Ed.), 1997 - Life and death of coral reefs. *Kluwer éds*., 535 p.

Birkeland C., 1982 - Terrestrial runoff as a cause of outbreaks of Acanthaster planci (Echinodermata: Asteroidea). *Marine Biology*, 69(2), pp 175-185.

Bouchon C., 1978 – Etude quantitative des peuplements à base de sclératiniaires d'un récif frangeant de l'île de La Réunion, Océan Indien. Thèse de doctorat, Aix-Marseille II, 125 p.

Bourgain A., Brot J., Gérardin H., 2010 - L'attractivité : quel levier pour le développement*? Mondes en développement*, n° 149, p. 7-10. DOI : 10.3917/med.149.0007.

Bourmaud C.A.F. , Abouïdane A., Leclère L., Mirault E., Pennober, G., 2005 - Coastal and marine biodiversity of La Réunion, in : (2005). Coastal and marine biodiversity of Indian Ocean. *Indian Journal of Marine Sciences*, 34(1) : pp. 98-103.

Bourque J., Poulin N., Cleaver A. F., 2006 - Évaluation de l'utilisation et de la présentation des résultats d'analyses factorielles et d'analyses en composantes principales en éducation. *Revue des sciences de l'éducation*, 32(2), pp. 325-344.

Bousquet B., 1990 - Définition et identification du littoral contemporain. *Revue Juridique de l'Environnement*, n°4-1990, pp. 451-468.

Bowen R.E, Riley C., 2003 - Socio-economic indicators and integrated coastal management. *Ocean and Coastal management*, n° 46, pp. 299-312.

Breton F., Clapés J., Marquès A., Priestley G. K., 1996 - The recreational use of beaches and consequences for the development of new trends in management : the case of the beaches of the Metropolitan Region of Barcelona (Catalonia, Spain). *Ocean & Coastal Management*, 32(3), pp. 153-180.

Brigand L., Le Berre S., Franz T., 2005 - État des lieux des mouillages organisés et forains utilisés par les plaisanciers le long des côtes finistériennes, Rapport Laboratoire Géomer, Université de Bretagne Occidentale/Nautisme en Finistère, 160 p.

Brigand L. Le Berre S., 2006 - Etude de fréquentation de l'archipel des îles Chausey. Rapport Laboratoire Géomer - Université de Bretagne Occidentale, Conservatoire du littoral, 115 p.

Brigand L., Le Berre S., Le Corre N., Peuziat I., 2008 – Connaitre et suivre la fréquentation touristique, une clé pour mieux gérer les espaces insulaires ? Actes du colloque international pluridisciplinaire "Le littoral : subir, dire, agir", Lille, France, 16-18 janvier 2008.

Brown B.E., Suharsono, 1990 - Damage and recovery of coral reefs affected by El Niño related seawater warming in the Thousand Islands, Indonesia. *Coral reefs*, 8(4), pp 163-170.

Brown B.E. 1997 - Coral bleaching : causes and consequences. *Coral reefs*,16(1), pp. 129-138.

Brundtland G.H., 1987 - Notre Avenir à Tous, rapport de la commission mondiale sur l'Environnement et le Développement. *Les Editions du Fleuve*, Paris.

Brunet R., Ferras R., Théry H., 2006 - Les mots de la Géographie. Dictionnaire critique. *Reclus, la documentation française*, Paris, 518 p.

Bruno J.F., Petes L.E., Drew Harvell C., Hettinger A., 2003 - Nutrient enrichment can increase the severity of coral diseases. *Ecology letters*, 6(12), pp. 1056-1061.

Buckley R., Robinson J., Carmody J., King N., 2008 - Monitoring for management of conservation and recreation in Australian protected areas. *Biodiversity Conservation*, 17, pp. 3589-3606.

Buddemeier R.W., Smith S.V., 1988 - Coral reef growth in an era of rapidly rising sea level: predictions and suggestions for long-term research. *Coral Reefs*, 7(1), pp 51-56.

Budowski G., 1976 - Tourism and environmental conservation: conflict, coexistence, or symbiosis? *Environmental conservation*, 3(01), pp. 27-31

Burke L., Spalding M., Reytar K., Perry A., 2011 - Reefs at risk. World Resources Institute, Washington, DC.

C

Cabanne C., Chaussade J., Corlay J.-P., Miossec J.-M., Pinot J.-P., 1999 - Géographie humaine des littoraux maritimes. *René Constans éds*., CNED-SEDES, 471 p.

Cambert H., Russo C., Nicet JB., Quod J-P., 2007 - Etude de l'impact de la fréquentation d'aménagements liés à la Réserve Naturelle : le sentier sous-marin de l'Hermitage. Réalisé par l'ARVAM pour le Parc Marin, 52 p.

CAREX et ARVAM, 2005 - Cartographie des récifs coralliens du Parc Marin de La Réunion : phase 2 (Saint Gilles, Saint Leu et Saint Pierre). Documentation Ifrecor, [URL: http://ifrecor-doc.fr/items/show/1091].

Cazelais N., 1999 - « L'espace touristique québécois contemporain », dans Normand Cazelais, Roger Nadeau et Gérard Beaudet (dir.), *L'espace touristique*, Québec, Les Presses de l'Université du Québec, pp. 5-60.

Cazes G., 1992 - Fondements pour une géographie du tourisme. Paris, *Bréal éds*., 190 p.

Cazes-Duvat V., 2002 – La fréquentation des côtes coralliennes de l'île de La Réunion. *The Journal of Nature*, 14(1), pp. 14-20.

Cazes-Duvat V., Pesme J.-O., 2002 - Étude de capacité de charge des plages des côtes ouest et sud de l'île de La Réunion. Rapport de synthèse. Étude réalisée pour le compte du Conseil régional de La Réunion, programme de recherche en gestion des zones côtières, 63 p.

Cazes-Duvat V., Paskoff R., 2004 - Les littoraux des Mascareignes entre nature et aménagement. L'Harmattan, Paris, Coll. *Milieux naturels et sociétés*, 187 p.

Certain G., Bretagnolle V., 2008 – Monitoring seabirds population in marine ecosystem: the use of strip-transect aerial surveys. *Remote sensing of environment*, n°112, pp. 3314-3322.

Cervantes O., Espejel I., Arellano E., Delhumeau S., 2008 - Users' perception as a tool to improve urban beach planning and management. *Environmental Management*, vol. 42, n°2, pp. 249-264.

Cesar H., 1996 - Economic Analysis of Indonesian Coral Reefs. The World Bank.

Cessford G., Muhar A. 2003 - Monitoring options for visitor numbers in national parks and natural areas. *Journal for nature conservation*, 11(4), pp. 240-250.

Cherubini B., 2004 - Le territoire littoral: tourisme, pêche et environnement dans l'océan Indien. *l'Harmattan éds*., 292 p.

Chabanet P., Dufour V., Galzin R., 1995 - Disturbance impact on reef fish communities in Reunion Island (Indian Ocean). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 188, p.29-48.

Chabanet P., Ralambondrainy H., Amanieu M., Faure G., Galzin R., 1997 - Relationship between coral reef substrata and fish. *Coral Reefs*, 16, pp. 93-102.

Chabanet P., 2002 - Coral reef fish communities of Mayotte (western Indian Ocean) two years after the impact of the 1998 bleaching event. *Marine and freshwater research*, 53(2), pp. 107-114.

Chabanet P., Adjeroud M., Andrefouët S., Bozec Y.-M., Ferraris J., Garciacharton J.-A., Schrimm M., 2005 - Human-induced physical disturbances and their indicators on coral reef habitats : a multi-scale approach. *Aquatic Living Resources*, 18, pp. 215-230.

Chaboud C., Galletti F., 2007 - Les aires marines protégées, catégorie particulière pour le droit et l'économie? *Monde en Développement*, 138, pp. 27-42.

Chaboud C., Galletti F., David G., Ferrari J., Breier A., Méral P., Andriamahefazafy F., 2008a - Regards disciplinaires sur les Aires marines protégées *in* Aubertin, C. et Rodary, E. (eds.), Aires protégées et développement durable. Marseille, IRD, chapitre 2, pp. 55-81.

Chaboud C., Galletti F., David G., Brenier A., Méral P., Andriamahefazafy, Ferraris J., 2008b - Aires Marines Protégées et Gouvernance : contributions des disciplines et évolution pluridisciplinaire *in* Aubertin, C. et Rodary, E. (eds.), Aires protégées et développement durable. Marseille, IRD, chapitre 2, pp. 55-81.

Chartier D., Rodary E., 2007 - Géographie de l'environnement, écologie politique et cosmopolitiques, L'Espace Politique [En ligne], 1 | 2007-1, [URL : http://espacepolitique.revues.org/284].

Christie P., 2004 - Marine protected areas as biological successes and social failures in Southeast Asia. American Fisheries Society Symposium, 42, pp. 155-164.

Cicin-Sain B., 1993 - Sustainable development and integrated coastal management. *Ocean and Coastal Management*, 21(1), pp. 11-43.

Claval P., 1998 - Propos sur la maritimité. Géographie humaine des littoraux, activités liées à la mer. Dir. Dumortier B., *Ed. du Temps*, Paris, 239 p.

Clark Jr R.C., Finley J.S., Gibson G.G., 1974 - Acute effects of outboard motor effluent on two marine shellfish. *Environmental Science & Technology*,8(12), pp. 1009-1014.

Clua E., Beliaeff B., Chauvet C., David G., Ferraris J., Kronen M., Kulbicki M., Labrosse P., Letourneur Y., Pelletier D., Thébaud O., Léopold M., 2005 - Towards multidisciplinary indicator dashboards for coral reef fisheries management. *Aquatic living resources*, 18(03), pp. 199-213.

Cole D.N., 1995 - Wilderness management principles: Science, Logical Thinking or Personal Opinion? *Trends, Wilderness Research*, 32(1), pp. 6-9.

Coleman F.C., Figueira W.F., Ueland J.S., Crowder L.B., 2004 - The impact of United States recreational fisheries on marine fish populations. *Science*, 305(5692), pp. 1958-1960.

Coll J., Linde M., García-Rubies A., Riera F., Grau A. M., 2004 - Spear fishing in the Balearic Islands (west central Mediterranean): species affected and catch evolution during the period 1975–2001. *Fisheries Research*, 70(1), pp. 97-111.

Colson V., 2006 – La fréquentation des massifs forestiers à des fins récréatives et de détente par la population wallonne et bruxelloise, Forêt wallonne, 81, pp. 26-38.

Conand F., Marsac F., Tessier E., Conand C., 2007 - A ten-year period of daily sea surface temperature at a coastal station in Reunion Island, Indian Ocean (July 1993 – April 2004) : Patterns of

variability and biological responses. Western Indian Ocean Journal of Marine Science, 6, pp. 1-16.

Cook R.D., Jacobson J.O., 1979 - A design for estimating visibility bias in aerial surveys. *Biometrics,* 35(4), pp. 735-742.

Cooper T.F., Gilmour J.P., Fabricius K.E., 2009 - Bioindicators of changes in water quality of corals reefs : review and recommandations for monitoring programmes. *Coral Reefs*, 28, pp. 589-606.

Corbin A., 1988 - Le territoire du vide. L'occident et le désir de rivage (1750-1840). *Aubier éds*., Paris, 411 p.

Cordier E., 2007 - Dynamiques hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage/La Saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires. Thèse d'Océanographie Physique et de sédimentologie, dir. J. Coudray, Université de La Réunion, 208 p.

Corlay J.-P., 1995 - Géographie sociale, géographie du littoral, *Norois*, 42(165), pp. 247–265.

Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van Den Belt M., 1997 - The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, pp. 253-260.

Costanza R., 1999 - The ecological, economic, and social importance of the oceans. *Ecological Economics*, 31, pp. 199-213.

Cuet P., Naïm O. Faure G. , Conan J.Y., 1988 - Nutrient-rich groundwater impact on benthic communities of a Saline fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean) : preliminary results. Proc. 6th Int. Coral Reef Symposium, Townsville, 12 août, pp. 207-212.

Creel L., 2003 - Ripple effects: Population and coastal regions. Washington, DC : Population Reference Bureau, pp. 1-7.

Crochelet E., 2015 - Modélisation de la connectivité larvaire et implications en terme de gestion de l'environnement. Thèse de doctorat en écologie marine. Université de La Réunion.

D

Daily G. (Ed.), 1997 - Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, 392 p.

Danovaro R., Bongiorni L., Corinaldesi C., Giovannelli D., Damiani E., Astolfi P., Greci L., Pusceddu A. 2008 - Sunscreens cause coral bleaching by promoting viral infections. Environmental health perspectives, 116(4), pp 441-447.

Darwin C., 1842 - The Structure and Distribution of Coral Reefs. *Smith, Elder and Co*., London, 214 p.

Dauphiné A., 2003 - Les théories de la complexité chez les géographes. *Anthropos éds*., Paris, 248 p.

Davenport J., Davenport J.L., 2006 - The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: a review. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 67, pp. 280-292.

David G., Cillaurren E., 1992 - Food security and village fisheries in Vanuatu. Notes et Documents d'Océanographie, ORSTOM, pp. 3-29.

David G., 1998 - Les aires protégées, laboratoires de la gestion intégrée des zones côtières : l'exemple des pays membres de la Commission de l'océan Indien. Dynamiques sociales et

environnement, pour un dialogue entre chercheurs, opérateurs et bailleurs de fonds, Bordeaux, 9-10-11 Septembre 1998.

David G., René F. Tessier E., 1999 - Synthèse du groupe de travail « Pêche et aquaculture ». CLOE/Conservatoire du littoral/Université de La Réunion/ Ifremer/IRD/UICN, Saint-Leu, La Réunion, 7 p.

David G., 2000 – Projet de Réserve Naturelle sur les formations Récifales de la côte Ouest et sud de La Réunion. Réalisé pour le compte de l'OCEA et la DIREN, 27 p.

David G., Mirault E., Quod J.-P., Thomassin A., 2006 - Les concordances territoriales au cœur de la gestion intégrée des zones côtières : l'exemple de La Réunion. Colloque Interactions Nature-Société, analyse et modèles, La Baule, 3-6 mai 2006, [URL : http://letg.univnantes.fr/colloque/actes.htm]

David G., Herrenschmidt J.B., Mirault E., Thomassin A., 2007- Valeur sociale et économique des récifs coralliens du Pacifique Insulaire - Eléments méthodologiques. Nouméa: CRISP/IRD, 49 p. [URL: http://www.sprep.org/pyor/reefdocs/crisp/c1a4_manuel_methodo_final.pdf].

David, G., Antona, M., Botta A., Dare W., Denis J., Durieux L., Lointier M., Mirault E., Thomassin A., 2009 - La gestion intégrée du littoral récifal de La Réunion : de la connaissance scientifique à l'action publique, jeux d'échelles et jeux d'acteurs. In « Agir ensemble pour le littoral ». Mobilisations scientifiques pour le renouvellement des politiques publiques. La Documentation française/Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du territoire, pp. 213-227.

David G., 2010 - Existe-t-il une spécificité insulaire face au changement climatique ?, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 10 (3), [URL : http://vertigo.revues.org/10530 ; DOI : 10.4000/vertigo.10530].

David G., 2011 - Petit voyage autour de la notion de gouvernance des AMP. Brest, PAMPA, WP4, rapport final n°1, 56 p.

David G., Mirault E., Pennober G., Révillion C., 2012 - Unités Paysagères et services écosystémiques, l'exemple des récifs coralliens. *VertigO,* Hors-série 14, 2012, [URL : http://vertigo.revues.org/12570 ; DOI : 10.4000/vertigo.12570].

David G., Kulindwa K., Lemahieu A., Tobisson E., 2013 - *Editorial* - Changing livelihoods in the Coastal Zone of the Western Indian Ocean and East Africa. *West Indian Ocean Journal of Marine Science.* 12(2), pp. 89-94.

DDE, 1982 - Enquête de fréquentation des plages de La Réunion. Saint-Denis, DDE, 66 p.

De Loma T. L., Harmelin-Vivien M., Naim O., Fontaine M. F., 2000 - Algal food processing by Stegastes nigricans, an herbivorous damselfish : differences between an undisturbed and a disturbed coral reef site (La Reunion, Indian Ocean). *Oceanologica acta*, 23(7), pp. 793-804.

De Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M., 2002 - A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological economics, 41(3), pp. 393-408.

De Ruyck A.M.C., Soares A.G., McLachlan A., 1995 - Factors influencing human beach choice on three South African beaches: A multivariate analysis. *Geojournal*, 36(4), pp. 345-352.

Deacon R.T., Kolstad C.D., 2000 – Valuing beach recreation lost in environmental accidents. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), pp. 374–381.

Decoupigny F., 2010 - Accès et diffusion des visiteurs sur les espaces naturels; modélisation et simulations prospectives. Thèse de Doctorat mention Aménagement de l'espace et Urbanisme, Dir. P. Mathis, Université François Rabelais, Tours, 401 p.

Dehoorne O., Saffache P., 2008 - Le tourisme dans les îles et littoraux tropicaux : ressources et enjeux de développement. *Études caribéennes*, pp. 9-10, [URL, <http://etudescaribeennes.revues.org/852].

Demangeot J., 1999 - Tropicalité. Géographie physique intertropicale. Collection U, *Armand Colin éds.*, Paris, 1999, 340 p.

Depraz S., 2008 - Géographie des espaces naturels protégées. Génèse, principes et enjeux territoriaux. Collection U, *Armand Colin éds.*, Paris, 320 p.

Descamps S., Béchet A., Descombes X., Arnaud A., Zerubia J., 2011 - An automatic counter for aerial images of aggregations of large birds. *Bird Study*, 58(3), pp. 302-308.

Descola P., 2008 - A qui appartient la nature? La vie des idées, 7 p.

Dewailly J. M., 1997 - L'espace récréatif: du réel au virtuel ? *Espace géographique*, 26(3), pp. 205-213.

Dharmaratne G.S., Yee Sang F., Walling L.J., 2000 - Tourism potentials for financing protected areas. *Annals of Tourism Research*, 27(3), pp. 590-610.

Dinesen Z., Oliver J., 1997 - Tourism Impacts. State of the Great Barrier Reef World Heritage Area Workshop proceedings, pp. 414-427.

DIREN, 2011 - Schéma d'Aménagement Régional de La Réunion. Vol. 3, Chapitre individualisé valant Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM), Rapport en coll. DIREN, DDE, Agorah, Safege, 124 p.

Dixon J.A., Fallon Scura L., van't Hof T., 1993 - Meeting ecological and economic goals: marine parks in the Caribbean. *Ambio,* 22, pp. 117–125.

Duvat V., 2008 - L'évolution de la recherche sur les systèmes coralliens (1960-2007). *VertigO,* la revue électronique en sciences de l'environnement, 8(2), [URL: http://vertigo.revues.org/5051].

Dormois R. (dir.), Dolle C., Rocher A., Schneider M., 2000 - Fréquentation touristique des plages, Odit France, Afit, 53 p.

Doumenge J.-P., 1984a - Enjeu géopolitique et intérêt scientifique des espaces insulaires. Dans Nature et Hommes dans les îles tropicales. Collection "îles et archipels", n°3, CEGET-CRET éds. p.2-6.

Doumenge J.-P., 1984 b - Unité et diversité des caractères naturels des îles tropicales. Dans Nature et Hommes dans les îles tropicales. Collection "îles et archipels", n°3, *CEGET-CRET éds*., pp.9-24.

Doumenge J.-P., 2000 - L'Outre-Mer français. *Armand Colin éds*., Paris, 224 p.

Dudley N., (Ed.), 2008 - Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées. IUCN.

Dwight R.H., Brinks M.V., SharavanaKumar G., Semenza J.C., 2007 - Beach attendance and bathing rates for Southern California beaches. *Ocean and Coastal Management*, 50, pp. 847-858.

E

English J.N., McDermott G.N., Henderson D., 1963 - Pollution effects of outboard motor exhaust – laboratory studies. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 35(7), pp. 923-931.

EPA (Environment Protection Authority), 1994 - Who cares about the environment? Sydney, EPA.

Epstein N., Vermeij M.J.A., Bak R.P.M., Rinkevich B., 2005 - Alleviating impacts of anthropogenic activities by traditional conservation measures : can a small reef reserve be sustainedly managed ? *Biological Conservation*, 121(2), pp. 243-255.

F

Fabbri P., 1989 - Recreational uses of coastal areas. Kluwer Academic Publishers Group.

Fabricius K.E., 2005 - Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs : review and synthesis. *Marine pollution bulletin*, 50(2), pp. 125-146.

Fabricius K.E., Cooper T.F., Humphrey C., Uthicke S., De'ath G., Davidson J., LeGrand H., Thompson A., Schaffelke B., 2011 - A bioindicator system for water quality on inshore coral reefs on the Great Barrier Reef, Marine Pollution Bulletin, 65(4-9), pp. 320-332.

Faure G., 1982 - Recherche sur les peuplements de sclératiniaires des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien Occidental). Thèse d'état, Université d'Aix-Marseille II, Faculté les sciences de Luminy, 206 p.

Féral F., 2011 - L'extension récente de la taille des aires marines protégées: une progression des surfaces inversement proportionnelle à leur normativité. *VertigO,* la revue électronique en sciences de l'environnement, (Hors-série 9), [URL: http://vertigo.revues.org/10998].

Ferrario F.F., 1979 - The evaluation of tourist resources: an applied methodology. *Journal of Travel Research*, 17(3), pp. 18–22.

Fleury P.-G., Cadet C., Turban S., Le Bonniec S., 2012 - Suivi des pêches à pied traditionnelles et de la chasse sous-marine de 2008 à 2011 dans la Réserve Naturelle Marine de La Réunion, rapport IFREMER , 85 p.

Formica S., Uysal M., 2006 - Destination attractiveness based on supply and demand evaluations: An analytical framework. Journal *of Travel Research*, 44 (4), pp. 418-430.

Friedlander A.M., DeMartini E.E., 2002 - Contrasts in density, size, and biomass of reef fishes between the northwestern and the main Hawaiian islands: the effects of fishing down apex predators. *Marine Ecology Progress Series*, 230, pp.253-264.

Friedman T.L., 2005 - It's a flat world, after all. The New York Times, 3, pp. 33-37.

Fusillier J.-L., Saqué C., 2003 - Stratégies de production agricole et demande en eau d'irrigation. Un approche de la diversité des irrigants sur les périmètres hydro-agricoles du sud de l'île de La Réunion, dans "Eau et Littoral; préservation et valorisation de la ressource dans les espaces insulaires. *Karthala éds*., Université de La Réunion, 331 p.

G

Gabel F., Stoll S., Fischer P., Pusch M.T., Garcia X.F., 2011 - Waves affect predator-prey interactions between fish and benthic invertebrates. *Oecologia*, 165 (1), pp. 101–109.

Gabrié C., Montaggioni, L., 1985 - L'érosion des plages balnéaires à La Réunion. Contrats Ministère de l'Education Nationale-Conseil Général de La Réunion-Conseil Régional de La Réunion, Laboratoire de Géologie, Université de La Réunion.

Gabrié C., 1989 - Etude de l'aménagement des milieux récifaux de l'île de La Réunion . Rapport réalisé pour le compte du Conseil Régional de La Réunion, 159 p.

Gabrié C., 1997 - Protégeons nos lagons. Pour le compte de la Région Réunion, Saint-Denis, 4ème édition, 20 p.

Gagnon S., 2007 - Attractivité touristique et «sens» géo-anthropologique des territoires. *Téoros,* Revue de recherche en tourisme, 26(26-2), pp. 5-11.

Gamp E., 2008 - Etude de la fréquentation et des usages du lagon du Grand-Nouméa: mise en place d'un protocole et proposition de métriques dans le cadre du projet de recherche PAMPA. Mémoire de Master 2, Université de Montpellier 2, dir. D. Pelletier, 56 p.

Gardner T.A., Cote I.M., Gill J. A., Grant A., Watkinson A.R., 2005 - Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long-term decline. *Ecology*, 86(1), pp. 174-184.

Garrad P.N., Hey R.D., 1987 - Boat traffic, sediment resuspension and turbidity in a Broadland river. *Journal of Hydrology*, 95 (3-4), pp. 289–297.

Gay J.-C., 2000 - La mise en tourisme des îles intertropicales. *Mappemonde*, 2, pp.17-22 [URL: http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/M200/Gay1.pdf?].

Gilmore D.W., 1997 - Ecosystem management – a needs driven, resource-use philosophy. *The Forestry Chronicle,* 73, pp. 560-564.

GIPRNMR, 2012 - Premier plan de gestion de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion, SECTION B. 49 p.

Glynn P., 1981 - Acanthaster population regulation by a Shrimp and a Worm. Proceeding of the 4th International Coral Reef Symposium, 2, pp. 607-611.

Grenier C., de Miras C., 1994 - Les Galapagos : du mythe d'un espace vierge au partage disputé de la rente. *Cahiers des sciences humaines*, 30 (4), pp. 645-666.

Griffin T., Moore S.A., Crilley G., Darcy S., Schweinsberg S., 2010 - Protected Area Management, Collection and Use of Visitor Data. In : Summary and Recommendations, vol. 1, Sustainable Tourism CRC, Queensland, Australia.

Grigg R.W., Dollar S.J., 1990 - Natural and anthropogenic disturbance on coral reefs. *Ecosystems of the World,* 25, pp. 439-452.

Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C., 2010 - Food security : the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), pp. 812-818.

Gómez-Baggethun E., De Groot R., Lomas P. L., Montes C., 2010 - The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69 (6), pp. 1209-1218.

Gössling S., 2001 - The consequences of tourism for sustainable water use on a tropical island: Zanzibar, Tanzania. *Journal of Environmental Management*, 61 (2), pp. 179-191.

Guais A., Vacher L., Vye D., 2011 - Rapport Campagne d'enquêtes été 2010, La Rochelle, Observatoire des Pratiques de Tourisme et de Loisir-ECOP, UMR LIENSs, CNRS - Université de La Rochelle, 186 p.

Guégan C., 2012 - Modélisation de la fréquentation touristique du mont-saint-michel ; approches systémique et prospective. Thèse d'état, Université de Bretagne occidentale, dir. L. Brigand, 246 p.

Guilcher A., 1988 - Coral reef geomorphology. *J. Wiley & Sons (Eds)*, Chichester, 228 p.

Guillaume M., Turquet J., Bruggeman H., 2005 - "Réseau Récif Réunion" : le blanchissement des coraux à La Réunion en 2005. Rapport APMR, ARVAM, ECOMAR, MNHN.

Goutorbe S., 2013 - Caractéristiques spatiales et temporelles des usages littoraux face au risque requin. Mémoire de Master 2, Université de La Réunion, dir. G. Pennober, 31 p. + annexes.

H

Hadwen W.L., Arthington A.H. Mosisch T.D., 2003 - The impact of tourism on dune lakes on Fraser Island, Australia. Lakes & Reservoirs: Research & Management, 8 (1), pp. 15-26.

Hadwen W.L., Hill W., Pickering C. M., 2008 - Linking visitor impact research to visitor impact monitoring in protected areas. Journal of Ecotourism, 7 (1), pp. 87-93.

Halpern B.S., 2003 - The impact of marine reserves: do reserves work and does reserve size matter ? Ecological applications, 13(sp1), pp. 117-137.

Halpern B.S., Warner R.R., 2003 - Review paper. Matching marine reserve design to reserve objectives. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: *Biological Sciences*, 270 (1527), pp. 1871-1878.

Hannak J.S., Kompatscher S., Stachowitsch M., Herler J., 2011 - Snorkelling and trampling in shallow-water fringing reefs : Risk assessment and proposed management strategy. *Journal of environmental management*, 92 (10), pp. 2723-2733.

Harada S.Y., Goto R.S., Nathanson A.T., 2011 - Analysis of lifeguard-recorded data at Hanauma Bay, Hawaii. *Wilderness & environmental medicine*, 22 (1), pp. 72-76.

Harmelin-Vivien, M.L., Laboute, P. 1986 - Catastrophic impact of hurricanes on atoll outer reef slopes in the Tuamotu (French Polynesia). *Coral reefs*, 5(2), pp. 55-62.

Harmelin-Vivien M., 1994 - The effects of storms and cyclones on coral reefs: a review. *Journal of Coastal Research*, 12, pp.211-231.

Harribey J.M., 1999 - La soutenabilité: une question de valeur(s), Université Montesquieu-Bordeaux IV, Centre d'Economie du Développement, 48 p.

Harriott V. J., 2002 - Marine tourism impacts and their management on the Great Barrier Reef. Coral Research Center, rapport technique n° 46, 41 p.

Harrison P. C., Wallace C. C., 1990 - Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals In Dubinsky, Z. (éd.) Ecosystem of the World 25 Coral Reefs. *Elsevier*, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, pp. 133-207.

Hawkins J.P., Roberts C.M., 1993 - Effects of recreational diving on coral reefs. Trampling of reef-flat communities. *Journal of Applied Ecology*, vol. 30, pp. 25-30.

Hawkins J.P., Roberts C.M., 1994 - The growth of coastal tourism in the Red Sea: present and possible future effects on coral reefs. *Ambio*, Vol.23, pp. 503-508.

Hazel J., Lawler I.R., Marsh H., Robson S., 2007 - Vessel speed increases collision risk for the green turtle Chelonia mydas. *Endangered Species Research*, 3, pp. 105-113.

Henriques S., Pais M.P., Batista M.I., Costa M.J., Cabral H.N., 2013 - Response of fish-based metrics to anthropogenic pressures in temperate rocky reefs. *Ecological Indicators*, 25, pp. 65-76.

Hernandez V.A., 2002 - Chercheur-décideur. Quelle synergie entre champ politique et sciences sociales? Journal des anthropologues. *Association française des anthropologues*, (88-89), pp. 139-149.

Hill J., Wilkinson C., 2004 - Methods for ecological monitoring of coral reefs. *Australian Institute of Marine Science*, Townsville, 117 p.

Hocking M., Stolton S., Dudley N. 2000 - Evaluating Effectiveness : A Framework for Assessing the Management of Protected Areas. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Hoegh-Guldberg O., 1999 - Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and freshwater research*, 50(8), pp. 839-866.

Hoegh-Guldberg O., Mumby P. J., Hooten A. J., Steneck R. S., Greenfield P., Gomez E., Harvell C.D., Sale P.F., Edwards A.J., Caldeira K., Knowlton N., Eakin C.M., Iglesias-Prieto R., Muthiga N., Bradbury R.H., Dubi A., Hatziolos M. E., 2007 - Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), pp. 1737-1742.

Holling C.S., 1973 - Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecological Systems*, 4, pp. 1-23.

Hollis G.E., 1975 - The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. *Water Resources Research*, 11(3), pp. 431-435.

Hopkins A.G., 2011 - Globalisation in world history. Random House.

Hopwood B., Mellor M., O'Brien G., 2005 - Sustainable development: mapping different approaches. *Sustainable development*, 13 (1), pp. 38-52.

Hubbard D.K., 1997 - Reefs as dynamic systems. In "Life and death of coral reefs", Birkeland C. (Ed.), pp. 43-67.

Kuffner I.B., Walters L. J., Becerro M. A., Paul V. J., Ritson-Williams R., Beach K. S., 2006 -Inhibition of coral recruitment by macroalgae and cyanobacteria. *Marine Ecology Progress Series*, 32, pp.107-117.

Hughes T.P., Rodrigues M.J., Bellwood D.R., Ceccarelli D., Hoegh-Guldberg O., McCook L., Moltschaniwskyj N., Pratchett M.S., Steneck R. S. , Willis B., 2007 - Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Current Biology* , 17 (4), pp. 360-365.

Hunter C., 1995 - Key concepts for tourism and the environment. In: Hunter C. & Green H. (eds.). Tourism and the Environment. A sustainable relationship? *Routledge*, London-New York. p. 52-92.

I

IUCN, UNEP, WWF, 1980 - World Conservation Strategy : Living Resource Conservation for Sustainable Development. IUCN: Gland, Switzerland.

Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), 2001 - Summary for policymakers : a report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. Available online at: [URL: http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf.]

J

Jackson J.B., Kirby M.X., Berger W.H., Bjorndal K.A., Botsford L. W., Bourque B.J., Bradbury R.H., Cooke R., Erlandson J., Estes J.A., Hughes T.P., Kidwell S., Lange C.B., Lenihan H.S., Pandolfi J.M., Peterson C.H., Steneck R.S., Tegner M.J., Warner R.R., 2001 - Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293 (5530), pp. 629-637.

Jakobsen C.H., Hels T., McLaughlin W.J., 2004 - Barriers and facilitators to integration among scientists in transdisciplinary landscape analyses: a cross-country comparison. *Forest Policy and Economics*, 6 (1), pp. 15-31.

James R.J., 2000 – From beaches to beach environments: linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia. *Ocean and Coastal Management*, 43, pp. 495-514.

Jamon A., Nicet J.B., Wickel J., Sauvignet H., 2009 - Contribution à l'évaluation des effets plongeurs sur les peuplements marins : Aire Marine Protégée de la Passe en S. Rapport d'étude pour le Service Environnement et Forêt de la DAF Mayotte, 65 p. + annexes

Jean C., Ciccione S., Ballorain K., Georges J.-Y., Bourjeau J., 2010 - Ultralight aircraft surveys reveal marine turtle population increases along the west coast of Reunion Island. *Oryx*, 44 (02), pp. 223-229.

Johnson L.E., Ricciardi A., Carlton J.T., 2001 - Overland dispersal of aquatic invasive species: a risk assessment of transient recreational boating. *Ecological Applications*, 11 (6), pp. 1789-1799.

Joliveau T., 1996 - Gérer l'environnement avec des SIG Mais qu'est-ce qu'un SIG ? Revue de géographie de Lyon, 71 (2), pp. 101-110.

Jollit I., 2010 - Spatialisation des activités humaines et aide à la décision pour une gestion durable des écosystèmes coralliens. La pêche plaisancière dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat en Géographie, Université de la Nouvelle-Calédonie, 558 pp.

Join J.L., Pomme J.B, Coudray J., Daesslé M., 1988 - Caractérisation des aquifères basaltiques en domaine littoral. Impact d'un récif corallien. *Hydrogéologie*, 2, pp. 107-115.

K

Kay A.M., Liddle M.J., 1989 - Impact of Human Trampling in Different Zones of a Coral Reef Flat. *Environmental Management*, 13 (4), pp. 509-520.

Kelleher G., Kenchington R.A., 1999 - Guidelines for Marine Protected Areas. A Marine Conservation and Development report. IUCN, Gland, Suisse, vii + 79 p.

Kennedy D.M., Woodroffe C.D., 2002 - Fringing reef growth and morphology : a review. Earth-Science Reviews, 57 (3), pp. 255-277.

Killgore K.J., Maynord S.T., Chan M.D., Morgan R.P., 2001 - Evaluation of propeller-induced mortality on early life stages of selected fish species. *North American Journal of Fisheries Management*, 21 (4), pp. 947-955.

Koch E.W., 2002 - Impact of boat-generated waves on a seagrass habitat. *Journal of Coastal Research*, 37, pp. 66-74.

Kuffner I.B., Walters L.J., Becerro M.A., Paul V.J., Ritson-Williams R., Beach K.S., 2006 - Inhibition of coral recruitment by macroalgae and cyanobacteria. *Marine Ecology Progress Series*, 323, pp. 107-117.

L

Lagabrielle E., Metzger P., Martignac C., Lortic B., Durieux L., 2007 - Les dynamiques d'occupation du sol à La Réunion (1989-2002). *M@ppemonde*, 86, vol.2, [URL: http://mappemonde.mgm.fr/num14/articles/art07205.htm].

Lagabrielle E., Loiseau N., Verlinden N., Chabanet P., Soria M., 2012 - Analyse des conditions environnementales et des usages de la mer associés aux attaques de requin à la l'île de La Réunion entre 1980 et 2011. Rapport CHARC , IRD, 34 p.

Lagéiste J., 2009 - La plage, un objet géographique de désir. *Géographie et cultures*, 67 | 2009 [URL : http://gc.revues.org/1002 ; DOI : 10.4000/gc.1002].

Lajoie G., Hagen-Zanker A., 2007 - La simulation de l'étalement urbain à La Réunion : apport de l'automate cellulaire Metronamica® pour la prospective territoriale , *Cybergeo : European Journal of Geography* , [URL : http://cybergeo.revues.org/11882].

Lalli C.M., Parsons T.R., 1993 - Biological Oceanography : An Introduction. *Butterworth–Heinemann*, Oxford, 320 p.

Lahaye N., 2007 - La dimension conflictuelle de la valorisation touristique d'un espace naturel protégé : le cas du Mont Orford. *Téoros*, 26-2, [URL : http://teoros.revues.org/834].

Laplante M., 1983 - Les attractions touristiques : un système à décoder, *Téoros*, 2 (2), pp. 14-22.

Lapointe B.E., Clark M.W., 1992 - Nutrient inputs from the watershed and coastal eutrophication in the Florida Keys. *Estuaries*, 15 (4), pp. 465-476.

Le Berre S., 2008 - Les observatoires de la fréquentation, outils d'aide à la gestion des îles et des littoraux. Thèse d'état, Université de Bretagne Occidentale, Brest, dir. L. Brigand, 1, 323 p. et 2, 427 p.

Le Berre S., Courtel J., Brigand L., 2009 - Etude de la fréquentation nautique du Bassin d'Arcachon. Rapport laboratoire Géomer UMR 6554 LETG, Université de Bretagne Occidentale, Direction départementale des Affaires maritimes de Gironde, 94 p.

Le Berre S., Peuziat I., Le Corre N., Brigand L., 2013 - Observer et suivre la fréquentation dans les aires marines protégées de Méditerranée. Projet MedPAN Nord. Guide méthodologique. WWF-France et Parc National de Port-Cros. 58 p.

Le Corre N., 2009 - Le dérangement de l'avifaune sur les sites naturels protégés de Bretagne: état des lieux, enjeux et réflexions autour d'un outil d'étude des interactions hommes/oiseaux. Thèse d'état d'Université de Bretagne Occidentale, Brest, dir. L. Brigand, 516 p + annexes.

Le Corre N., Le Berre S., Meunier M., Brigand L., Boncoeur J., Alban F., 2011 - Dispositifs de suivi de la fréquentation des espaces marins, littoraux et insulaires et de ses retombées socioéconomiques: état de l'art. Rapport Géomer LETG, UMR 6554 et UMR M101 Amure, Université de Bretagne Occidentale, Agence des Aires Marines Protégées, 150 p.

Lecomte R., 2010 - Mise au point d'une méthode de suivi de la fréquentation pour la Réserve Marine de La Réunion. Mémoire de master, Université de Bretagne Occidentale, dir. L. Brigand, 43 p.

Lee K., 2000 - Global sustainable development: its intellectual and historical roots. In *Global Sustainable Development in the 21st Century*, Lee K, Holland A, McNeill D éds., Edinburgh University Press, Edinburgh, pp. 31-47.

Lee C.F., Huang H.I., Yeh H.R., 2010 - Developing an evaluation model for destination attractiveness: Sustainable forest recreation tourism in Taiwan. *Journal of Sustainable Tourism*, 18 (6), pp. 811-828.

Lefebvre C., 2011 - La gestion intégrée côtière et marine: nouvelles perspectives. VertigO- la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 9, [URL: http://vertigo.revues.org/10985].

Lemahieu A., 2010 - Elaboration d'un suivi de fréquentation au sein de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Mémoire de Master II EDMR, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 71 p.

Lemahieu A., Gérard L., Lecomte R., 2010 – Elaboration d'un suivi de fréquentation au sein de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Rapport d'étude RNMR, 136 p.

Lemahieu A., Pennober G., David G., Lavigne F., Pothin K., Gérard L., 2013a - Elaboration d'un protocole de suivi de la fréquentation au sein de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion, France, Ocean Indien, *VertigO,* 13 (1), [URL: http://vertigo.revues.org/13379].

Lemahieu A., Massé L., Séré M., Bourmaud C., Chauvin A., Cuet P., Mahabot M., Pennober G., Pothin K., Zubia M. , Chabanet P., 2013b - Building transdisciplinary indicators for reef management in Reunion Island, Western Indian Ocean. *WIOMSA 8th symposium*, 28th October-2 November, Maputo, Mozambique.

Lester S.E., Halpern B.S., Grorud-Colvert K., Lubchenco J., Ruttenberg B.I., Gaines S.D., Warner R.R., 2009 - Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. *Marine Ecology Progress Series*, 384, pp. 33-46.

Leujak W., Ormond R.F., 2008 - Reef walking on Red Sea reef flats–Quantifying impacts and identifying motives. *Ocean and Coastal Management*,51 (11), pp. 755-762.

Leung Y.F., Marion J.L., 2000 - Recreation impacts and management in wilderness: A state-of-knowledge review. Cole, DN, McCool, SF, Borrie, WT, O'Loughlin, J.,(comps), Proceedings: *Wilderness Science in a Time of Change,* vol. 5.

Leung Y.F., Pickering C., Cole D. N., 2012 - Informal trails and fragmentation effects: A conceptual and research overview. *Management*, 47, pp. 93-106.

Lew A.A., 1987 - A Framework of Tourist Attraction Research. *Annals of Tourism Research*, 14, pp. 553-575.

Littler M.M., Littler D.S., 1997 - Disease-induced mass mortality of crustose coralline algae on coral reefs provides rationale for the conservation of herbivorous fish stocks. 8th *International Coral Reef Symposium*, proceedings, vol. 1, pp. 719-724.

Liu P.J., Meng P.J., Liu L.L., Wang J.T., Leu M.Y., 2012 - Impacts of human activities on coral reef ecosystems of southern Taiwan: A long-term study. *Marine pollution bulletin*, 64 (6), pp. 1129-1135.

Lloret J., Riera V., 2008 - Evolution of a Mediterranean coastal zone: human impacts on the marine environment of Cape Creus. *Environmental management*, 42 (6), pp. 977-988.

Lockwood R.N., 2000 - Conducting roving and access site angler surveys. *Manual of Fisheries Survey Methods II*, chapitre 14, 5 p.

Lopes R., Videira N., 2013 - Valuing marine and coastal ecosystem services: An integrated participatory framework. *Ocean and Coastal Management*, 84, pp. 153-162.

Louze J., 2007- Caractérisation de la valeur économique et sociale du système récifo-lagonaire réunionnais dans le cadre de la mise en place d'une AMP. Enquête auprès des centres de plongée et plongeurs. Mémoire de Master 1 EGEL, Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM), IRD, 38p. + annexes.

Lozato-Giotart J.-P., 1983 - Les zones naturelles d'équilibre en Ile-de-France : Quelle place, quel rôle dans les loisirs? *Norois*, 120, pp. 669-677.

Lozato-Giotart J.P., 1998 - Le littoral, premier espace touristique mondial. Géographie humaine des littoraux, activités liées à la mer. Dir. Dumortier B., *éds. du Temps*, Paris, 239 p.

Lozato-Giotart J. P., 2008 - Géographie du tourisme: de l'espace consommé à l'espace maîtrisé. Paris: *Pearson Education France*, 2ème éd., 320 p.

Lucas R., 2004 - Des îles, des ports et des hommes en Indianocéanie *in* Le territoire littoral, Tourisme, pêche et environnement dans l'Océan Indien. *L'harmattan éds*., Université de La Réunion, 292 p.

Luna B., Pérez C.V., Sánchez-Lizaso J.L., 2009 - Benthic impacts of recreational divers in a Mediterranean Marine Protected Area. *ICES Journal of Marine Science*: Journal du Conseil, 66 (3), pp. 517-523.

M

Mascia M.B., 2001 - Designing effective coral reef marine protected areas. Report, IUCN/WCPA-m, Washington DC.

Massé L., 2014 - Comparaison de la reproduction sexuée et du recrutement des coraux scléractiniaires entre un récif tropical (La Réunion) et subtropical (Afrique du Sud) du sud-ouest de l'océan indien. Thèse de doctorat en Biologie marine, Université de La Réunion, dir. Chabanet P. et Schleyer M., 172 p.

Mathevet R., Poulin B., 2006 - De la biologie à la géographie de la conservation. Bulletin de l'Association de géographes français, 83 (3), pp. 341-354.

McAllister D.E., 1991 - What is the status of the world's coral reef fishes? *Sea Wind,* 5, pp. 14–18.

McClanahan T.R., Muthiga N.A., 1988 - Changes in Kenyan coral reef community structure and function due to exploitation. *Hydrobiologia*, 166 (3), pp. 269-276.

McClanahan T.R., Obura D., 1997 - Sedimentation effects on shallow coral communities in Kenya. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 209 (1), pp. 103-122.

McClanahan T., Polunin N., Done T., 2002 - Ecological states and the resilience of coral reefs. *Conservation ecology*, 6 (2), p. 18.

McCook L. J., Folke C., Hughes, T. P., Nyström M., Obura D., Salm R., 2007 - Ecological resilience, climate change and the Great Barrier Reef, Chap. 4, [URL: http://elibrary.gbrmpa.gov.au/jspui/bitstream/11017/537/1/Chapter-4-Ecological-resilience-climate-change-and-the-Great-Barrier-Reef.pdf]

McLaughlin C.J., Smith C.A., Buddemeier R.W., Bartley J.D., Maxwell B.A., 2003 - Rivers, runoff, and reefs. *Global and Planetary Change*, 39(1), pp. 191-199.

McManus J.W., Reyes J.R., Nañola J.R., 1997 - Effects of some destructive fishing methods on coral cover and potential rates of recovery. *Environmental management*, 21(1), pp. 69-78.

McManus J.W., Polsenberg J.F., 2004 - Coral-algal phase shifts on coral reefs: ecological and environmental aspects. *Progress in Oceanography*, 60, pp. 263-279.

MEA, Millenimum Ecosystem Assessment, 2005 - Ecosystems and human well-being. Washington, DC : Island Press, 2005, 63 p.

Méral P., 2012 - Le concept de service écosystémique en économie: origine et tendances récentes. *Natures Sciences Sociétés*, 20 (1), pp. 3-15.

Meur-Férec C., 2006 - De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral: un itinéraire de géographe. Habilitation à Diriger les Recherches, Université du Littoral Côte d'Opale, Vol.1, 240 p. + annexes.

Meur-Férec C., 2007a - Entre surfréquentation et sanctuarisation des espaces littoraux de nature. *Espace Géographique*, 36, pp. 41-50.

Meur-Ferec C., 2007b - La GIZC à l'épreuve du terrain: premier enseignements d'une expérience française. Développement durable et territoires. [URL : http://developpementdurable.revues.org/4471].

Milliman J.D., 1974 - Marine Carbonates. *Springer-Verlag*, Berlin, 375 pp.

Mioche D., Cuet P., 1999 - Métabolisme du carbone, des carbonates et des sels nutritifs en saison chaude, sur un récif frangeant soumis à une pression anthropique (île de La Réunion, océan Indien). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science, 329 (1), pp. 53-59.

Miossec J.M., 1977 - Un modèle de l'espace touristique. *Espace géographique*, 6 (1), pp 41-48.

Mirault E., 2006 – Les fonctions et enjeux socio-économiques des écosystèmes récifaux : une approche géographique des valeurs de l'environnement appliquée à l'île de La Réunion. Thèse d'état de Géographie, Université de La Réunion/IRD, 727 p.

Moberg F., Folke C., 1999 - Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological economics*, 29 (2), pp. 215-233.

Montaggioni L., 1978 - Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (océan Indien occidental). Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre, Université Aix-Marseille II, 217p.

Montaggioni L.F., Faure G., 1980 - Récifs coralliens des Mascareignes: océan Indien. Centre universitaire de La Réunion.

Monz C., 1998 - Monitoring recreation resource impacts in two coastal areas of Westerne North America: an initial assessment. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-4. [URL: http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p004/rmrs_p004_117_122.pdf].

Moore S.A., 2012 - Current and future issues in natural area tourism with a special focus on visitor monitoring. Monitoring and Management of Visitors in Recreational and Protected Areas (MMV) conference 6th, August 21-24, 2012, Stockholm, Proceedings, pp. 20-21.

Morgan R., 1999 - A novel, user-based rating system for tourist beaches. *Tourism management*, 20 (4), pp. 393-410.

Morgan D., Ozanne-Smith J., 2013 - Identification of observed factors that predict bather water-immersions at beaches. *Ocean and Coastal Management*, 84, pp.180-183.

Moullec F., 2011 - Ecologie et évolution des populations du mérou Epinephelus merra au sein de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Mémoire de Master 2 Océanographie, université de Marseille, Ifremer/RNMR.

Moya J.-P., 2000 - Gestion de la fréquentation des plages: la problématique des accès à la mer. Application à la côte Ouest de l'île de La Réunion. Mémoire de Master II de Géographie, dir. Cazes-Duvat V., Université de La Réunion, 128 p.

Muhar A., Arnberger A., Brandenburg C., 2002 - Methods for Visitor monitoring in recreational and protected areas: an overview. Conference Proceedings, pp. 1-6.

N

Nagelkerken I., Van der Velde G., Gorissen M.W., Meijer G.J., Van't Hof T., Den Hartog C., 2000 - Importance of mangroves, seagrass beds and the shallow coral reef as a nursery for important coral reef fishes, using a visual census technique. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51 (1), pp. 31-44.

Naïm O., Cuet P., Mangar V., 2000 - The Mascarene Islands. Dans : Corals reefs of the Indian Ocean : their ecology and conversation. McClanahan, Sheppard et Obura (éds), Oxford University Press, pp. 353-381.

Nardin G., Le Berre I., Brigand L., 2008 - Un SIG pour connaitre et gérer la plaisance dans le Finistère. *Norois,* 206 (1), pp. 53-72.

Nascimento Silva J., Pirani Ghilardi-Lopes N., 2012 - Indicators of the impacts of tourism on hard-bottom benthic communities of Ilha do Cardoso State Park (Cananéia) and Sonho Beach (Itanhaem), two southern coastal areas of Sao Paulo State (Brazil). *Ocean and coastal management*, 58, pp. 1-8.

Nevill J., 2005 - The impacts of spearfishing: notes on the effects of recreational diving on shallow marine reefs in southern Australia. Only One Planet Australia, 23 p. + annexes.

Nicet J.-B., Turquet J., 2004 – Réponse à un phénomène de blanchissement corallien observé en 2004 à La Réunion. Rapport DIREN Réunion, 27 p.

Nicet J.-B., Cambert H., Pribat B., 2009 – Cartographie du blanchissement corallien à La Réunion en 2009. Rapport RNMR, 26 p.

Nicholls R.J., Hoozemans F.M., Marchand M., 1999 - Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. *Global Environmental Change*, 9, pp. 69-87.

Nicholls H., 2004 - The conservation business. *PLoS biology*, 2(9), e310, [URL: http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.0020310#pbio-0020310-g004].

NOAA, 2003 - What Is Integrated Coastal Managementv? [URL: www.icm.noaa.gov/story/icm_def.html].

Noin D., 1999 - La population des littoraux du monde. *L'information géographique*, 63 (2), pp. 65-73.

Nyström M., Folke C., Moberg F., 2000 - Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. *Trends in Ecology and Evolution*, 15 (10), pp. 413-417.

O

O'reilly A.M., 1986 - Tourism carrying capacity: concept and issues. Tourism management, 7 (4), pp. 254-258.

Odum E.P., 1969 - The strategy of ecosystem development. Science, 164, pp. 262-270.

Okamura H., 2003 - A line transect method to estimate abundance of long-diving animals. *Fisheries Science*, 69, pp. 1176–1181.

Oqueli Turcios M.D., 2002 - Conception d'un système d'enquêtes pour l'étude de l'activité halieutique des pêcheurs à pied de La Réunion. Mémoire DESS Economie et Environnement, Université Aix-Marseille II.

P

Paskoff R., 1998 - Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution. *Armand Colin éds*., Paris, 260 p.

Paulian R., 1984 - Les îles, laboratoires naturels. Dans Nature et Hommes dans les îles tropicales. Collection "îles et archipels", n°3, *CEGET-CRET éds.* pp. 69-80.

PCC, 2013 - Climate change 2013: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker TF, Qin D, Platnner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung A, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

Pearson R.G., 1981 - Recovery and recolonization of coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 4: pp. 105-122.

Pedreros R. Lenôtre R., Aubié S., Rançon J.-P., 2002 - Dynamique sédimentaire en milieu corallien à l'île de La Réunion. Etude morphologique des plages à l'arrière des formations récifales de la cote Ouest de La Réunion. Rapport BRGM/ RP-52047-FR, 32 p.

Pellet L., 2008 - Vers une réhabilitation de l'assainissement sur le littoral réunionnais. Application sur le périmètre de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Mémoire de master 2 Génie Urbain et Environnement, Université de La Réunion, dir. Emmanuel Tessier, 93 p.

Pelletier D., García-Charton J.A., Ferraris J., David G., Thébaud O., Letourneur Y., Claudet J., Amand M., Kulbicki M. et Galzin R., 2005 - Designing indicators for assessing the effects of marine protected areas on coral reef ecosystems : A multidisciplinary standpoint. *Aquating Living Resources*, 18 (1), pp. 15-33.

Pennober G., Borius A., 2010 - Détection à très haute résolution spatiale du blanchissement corallien sur les récifs de l'île de La Réunion. *Télédétection,* 9, pp. 1–3.

Pereira da Silva C., 2002 – Beach carrying capacity assessment: how important is it ? *Journal of Coastal Research*, special issue 36, pp. 190-197.

Petit J., Prudent G., 2008 - Changement climatique et biodiversité dans l'outre-mer européen. IUCN.

Peuziat I., 2009 - Plaisance et environnement. Pratiques, représentations et impacts de la fréquentation nautique de loisir dans les espaces insulaires. Le cas de l'archipel de Glénan (France). Thèse d'état, Université de Bretagne Occidentale, dir. L. Brigand, 310 p. + annexes.

Peuziat I., Brigand L., Le Berre S., 2010 - Etude de la fréquentation de l'île d'Arz et de l'Île-aux-Moines. Rapport d'étude, 90 p.

Pickering C.M., Hill W., 2007 - Impacts of recreation and tourism on plant biodiversity and vegetation in protected areas in Australia. *Journal of Environmental Management*, 85 (4), pp. 791-800.

Pigram J. J., 1980 - Environmental Implications of Tourism Development. *Annals of Tourism Research*, 7(4), pp. 554-583.

Poirot J., Gérardin H., 2010 - L'attractivité des territoires : un concept multidimensionnel. Mondes en développement, 1 (149), pp. 27-41.

Pollock K.H., Hoenig J.M., Jones C.M., Robson D.S., Greene C.J., 1997 - Catch rate estimation for roving and access point surveys. *North American Journal of Fisheries Management*, 17 (1), pp. 11-19.

Pomeroy R.S., Parks J.E., Watson L.M., 2005 - How Is Your MPA Doing ? A Guidebook of Natural and Social Indicators for Evaluating Marine Protected Area Management Effectiveness. IUCN, Gland, Switzerland.

Pomeroy R.S., Mascia M.B., Pollnac R.B., 2007 - Marine protected areas: the social dimension. In FAO expert workshop on marine protected areas and fisheries management : review of issues and considerations, pp. 149-275.

Pothin K., 2009 - Plan de gestion de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Section: diagnostic, 233 p.

Poulin G., 1980 – La fréquentation différentielle d'une aire de camping en forêt : un indice et une application. *Cahiers de Géographie du Québec*, 24 (62),pp.327-336.

R

Raffestin C., 1986 - Ecogenèse territoriale et territorialité. In Auriac F., Brunet R., (Dir) - Espace, jeux et enjeux, Paris, *Fayard éds*., pp. 173-185.

Rapport D.J., Constanza R., McMichael A.J., 1998 - Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution*, 13, pp. 397–402.

Reclus E., 1866 - Du sentiment de la nature dans les sociétés modernes. *Revue des deux mondes*, 63, pp.352-381.

Ribes S., 1978 - La macrofaune vagile associée à la partie vivante des Scléractiniaires sur un récif frangeant de l'île de La Réunion (Océan Indien). Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, Université Aix-Marseille II.

Richez G., 1990 - La navigation de plaisance dans l'anse d'Elbu (réserve naturelle de Scandola, Corse du Sud): étés 1988 et 1989. Université de Provence, géographie et aménagement, Travaux scientifiques du Parc naturel régional et des réserves naturelles de Corse, 36, pp. 35-64.

Riegl B., Velimirov B., 1991 - How many damaged corals in Red Sea reef systems? A quantitative survey. *Coelenterate Biology: Recent Research on Cnidaria and Ctenophora, Springer Netherlands*, pp. 249-256

Riegl B., Velimirov B., 1994 - The structure of coral communities at Hurghada in the northern Red Sea. *Marine Ecology*, 15 (3-4), pp. 213-231.

Riegl B., Cook P.A., 1995 - Is Coral Community Structure Linked to Damage Susceptibility? A Case Study from South Africa. Oceanography Faculty Proceedings, Presentations, Speeches, Lectures. Paper 113, [http://nsuworks.nova.edu/occ_facpresentations/113]

Ritchie J.B., Goeldner C.R., 1994 - Travel, tourism, and hospitality research: a handbook for managers and researchers (2nd éd.), *John Wiley and Sons éds*., 640 p.

Roberts C.M., McClean C.J., Veron J.E., Hawkins J.P., Allen G.R., McAllister D.E., Werner T.B., 2002 - Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science*, 295 (5558), pp.1280-1284.

Robert R., 2003 - Les régions climatiques de l'île de La Réunion: évolution des connaissances depuis quarante ans, 1958-1998. Université de La Réunion, 92 p.

Robert S., Sillère G., Liziard S., 2008 - Evaluer et représenter le nombre d'usagers sur une plage urbaine (les Ponchettes, Nice). *Mappemonde*, n°91.

Rodary E., Castellanet C., Rossi G., 2003 - Conservation de la nature et développement: l'intégration impossible? *Karthala éds*., Paris, 310 p.

Rodary E., Castellanet C., 2003 - Les trois temps de la Conservation, dans, Conservation de la nature et développement, l'intégration impossible? Rodary E., Castellanet C. et Rossi G. (Ed.*) Karthala et GRET éds*., 310 p.

Rodary E., Milian J., 2003 - Extension et diversification des aires protégées : rupture ou continuité ? in Aubertin C., Rodary E., (éds) Aires protégées: espaces durables. *IRD éditions*, pp. 33-53.

Rodgers K.U.S., Cox E.F., 2003 - The effects of trampling on Hawaiian corals along a gradient of human use. *Biological Conservation*, 112 (3), pp. 383-389.

Rogers K.M., Nicolini E., Gauthier V., 2012 - Identifying source and formation altitudes of nitrates in drinking water from Réunion Island, France, using a multi-isotopic approach. *Journal of contaminant hydrology*, 138/139, pp. 93-103.

Rolland R., Boullet V., Quod J.P., 2005 - Mayotte, biodiversité et évaluation patrimoniale– Contribution à la mise en œuvre de l'inventaire ZNIEFF. Service Environnement, Direction de l'Agriculture et de la Forêt, Mayotte. Conservatoire Botanique National, Mascarin, 324p.

Roos D., Tessier E., Guyomard D., 1997 - Evolution du secteur halieutique à La Réunion de 1990 à 1996. Rapport Ifremer, Saint-Denis, La Réunion. 68p.

Roos D., Bertrand G., Tessier E., 1998 - La chasse sous-marine à La Réunion : premiers éléments descriptifs et quantitatifs sur une activité méconnue. Rapport Ifremer

Rouphael A.B., Inglis G.J., 1997 - Impacts of recreational scuba diving at sites with different reef topographies. *Biological Conservation*, 82, pp. 329-336.

Rowat D., Gore M., Meekan M.G., Lawler I.R., Bradshaw C.J.A, 2009 – Aerial survey as a tool to estimate whale shark abundance trends. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology*, 368, pp. 1-8.

Ruppert, K. 1983 - Les loisirs non touristiques et leur influence sur l'organisation de l'espace. *Norois,* 120 (1), pp. 503-510.

S

Safi M., 2011 - Cartographie et structure des populations de Tridacna sp. dans l'unité récifale du Bassin Pirogue (l'Etang-Salé). Mémoire de master 2 BEST, Université de La Réunion, dir. H. Magalon, 77 p.

Sala E., Garrabou J., Zabala M., 1996 - Effects of diver frequentation on Mediterranean sublittoral populations of the bryozoan Pentapora fascialis. *Marine Biology*, 126 (3), pp. 451-459.

Sale P.F., 1990 - Recruitment of marine species: Is the bandwagon rolling in the right direction? *Trends in Ecology and Evolution*, 5(1), pp. 25-27.

Salm R.V., Clark J.R., Siirila E., 2000 - Marine and coastal protected areas : a guide for planners and managers. IUCN.

Salvat B., 1992 - Coral reefs : a challenging ecosystem for human societies. *Global Environmental change*, 2, pp. 12-18.

Santy T.L., 1980 - The analytical hierarchy process : Planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill.

Sarrasin B., 2007 - Quelques dimensions politiques de l'écotourisme : l'attractivité de la nature n'est pas "naturelle". *Études caribéennes*, [URL : http://etudescaribeennes.revues.org/455 ; DOI : 10.4000/etudescaribeennes.455].

Sayre N.F., 2008 - The genesis, history, and limits of carrying capacity. *Annals of the Association of American Geographers*, 98 (1), pp. 120-134.

Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010 - Synthèse scientifique des impacts de l'acidification des océans sur la biodiversité marine. Montréal, Cahier technique 46, 61 p.

Seber G.A.F, 1986 – A review of estimating animal abundance. *Biometrics*, 42, pp. 267-292.

Séré M., 2014 - Identification et étiologie des maladies associées aux coraux Scléractiniaires dans le sud-ouest de l'Océan Indien, Thèse de biologie marine, Université de La Réunion, dir. P. Chabanet (IRD) et M. Schleyer (Oceanographic Research Institute).

Sheppard C.R., 2003 - Predicted recurrences of mass coral mortality in the Indian Ocean. *Nature*, 425 (6955), pp. 294-297.

Sidman C.F., Fik T.J., Sargent B., 2004 – A Recreational Boating Characterisation for Tampa and Sarasota Bays. Florida Sea Grant Program and Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida, USA.

Skole D.L., 2004 - Geography as a great intellectual melting pot and the preeminent interdisciplinary environmental discipline. Annals of the Association of American Geographers, 94 (4), pp. 739-743.

Smallwood C.B., 2009 - Spatial and temporal patterns of recreational use at Ningaloo Reef, north-western Australia. Thèse de Doctorat en Sciences Environnementales, Université de Murdoch, Australie, 316 p.

Smallwood C.B., Beckley L.E., Moore S.A., Kobryn H.T., 2011 – Assessing patterns of recreational use in large marine parks: A case study from Ningaloo Marine Park, Australia. *Ocean and Coastal management*, 54, p. 330-340.

Smallwood C.B., Beckley L.E., Moore S.A., 2012 - An analysis of visitor movement patterns using travel networks in a large marine park, north-western Australia. *Tourism Management*, 33, pp. 517-528.

Smith M.E., Kane A.S., Popper A.N., 2004 - Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (Carassius auratus). Journal of Experimental Biology, 207, pp. 427–435.

Soler O., 1997 - Atlas climatique de La Réunion. *Météo France éds*., La Réunion, 79 p.

Solomon R., 2006 - Tourisme dans les petits Etats insulaires en développement : quelle durabilité ? Alternative sud, Centre Tricontinental, [URL: http://www.cetri.be/spip.php?article190].

Soria M., Bigot L. ,Blaison A., Bourjea J., Cambert H., Ciccione S., Clair J., Cordier E., Cotel P., Crochelet E., Dalleau M., Dulau V., Estrade V., Evano H., Goutorbe S., Guyomard D., Jaquemet S., Jean C., Lagabrielle E., Lemahieu A., Magalon H., Nadeau A., Pothin K., Revillion C., Trystam C., Verlinden N., 2014 - Connaissances de l'écologie et de l'Habitat de deux espèces Programme CHARC de Requins Côtiers à La Réunion. Compte-rendu du groupe de travail du jeudi 30 Janvier 2014, 27 p.

Spalding M.D., Ravilious C., Green E.P., 2001 -United Nations Environment Programme, World Conservation Monitoring Centre. World Atlas of Coral Reefs. University of California Press, Berkeley, 416 p.

Stoddart D.R., 1969 - Ecology and morphology of recent coral reefs. *Biological Reviews*, 44 (4), pp. 433-498.

Szmant A.M., 2002 - Nutrient enrichment on coral reefs : is it a major cause of coral reef decline? *Estuaries*, 25 (4), pp. 743-766.

T

TER, 2011 - Tableau Economique de La Réunion. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, Direction régionale de La Réunion, 172 p.

Taglioni F., Guiltat S., 2015 - Le risque d'attaques de requins à La Réunion. *EchoGéo*, [URL : http://echogeo.revues.org/14205 ; DOI : 10.4000/echogeo.14205].

Tasker M.L., Jones P.H., Dixon T.J., Blake B.F., 1984 - Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. *Auk*, 101, pp. 567-577.

Tessier E., Bigot L., Chabanet P., Conand C., Quod J.-P., Cauvin B., Cadet C., 2008 - Les récifs coralliens de La Réunion : état des lieux et réseau de suivi. *Revue Ecologie (Terre & vie)*, 63, pp. 1-18.

Tessier E., Pothin K., Bigot L., Chabanet P., Fleury P.-G., Bissery C., David G., Thomassin A., Lemoigne V., Loiseau N., 2011 - Définition d'Indicateurs de Performance et d'un Tableau de bord pour la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Rapport du site atelier de La Réunion pour le Projet PAMPA, Rapport IFREMER RST-DOI-2011-05.

Thacker R., Ginsburg D., Paul V., 2001 - Effects of herbivore exclusion and nutrient enrichment on coral reef macroalgae and cyanobacteria. *Coral reefs*, 19 (4), pp. 318-329.

Thiann-Bo Morel M., Duret P., 2013 - Le risque requin, mise en risque de la pratique du surf à La Réunion. *Staps*, 99 (1), pp. 23-36.

Thomassin A., Havard L., 2008 - Caractérisation socio-économique de l'état initial de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion : Etude des pratiquants de sports de glisse. IRD, Saint-Denis, La Réunion, 101 p.

Thomassin A., 2011 - "Des réserves sous réserve" ; acceptation sociale des Aires Marines Protégées - L'exemple de la région sud-ouest de l'océan Indien. Thèse d'état, Université de La Réunion, département de Géographie, dir. David G. et Robin M., 567 p.

Thurot J.M., 1980 - Capacité de charge et production touristique. CHET, Aix-en-Provence, vol. 43.

Thurstan R.H., Roberts C.M., Hawkins J.P., Neves L., 2009 - Highly protected marine conservation zones: defining damaging and disturbing activities. Countryside council for Wales. Policy research report, 91 p.

Thurstan R.H., Hawkins J.P., Neves L., Roberts C.M., 2012 - Are marine reserves and non-consumptive activities compatible? A global analysis of marine reserve regulations. *Marine Policy*, 36 (5), pp. 1096-1104.

Trenberth K.E., 1997 - The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78 (12), pp. 2771-2777.

Troadec R., 1991 - Courantologie et sédimentologie des baies de Saint-Paul et de la Possession à l'île de La Réunion. Thèse de Doctorat en géologie, université de Marseille.

Tudor D.T., Williams A.T., 2006 - A rationale for beach selection by the public on the coast of Wales. UK. *Area*, 38 (2), pp. 153-164.

Turbow D.J., Osgood N.D., Jiang S.C., 2003 - Evaluation of recreational health risk in coastal waters based on enterococcus densities and bathing patterns. *Environmental health perspectives*, 111 (4), pp. 598-603.

Turquet J., Mirault E., Conand C., Conand F., Rard M., Cambert H., Quod JP., 2001 - Réponse à un phénomène de blanchissement corallien observé en Mars-avril 2001 à La Réunion. Rapport ARVAM/ECOMAR pour le compte de l'APMR, 35 p + annexes.

Turquet J., Garnier R., Quod J.-P., Bigot L., Moyne-Picard M., Naïm O. Cauvin B., 2003 - Réponse au phénomène de blanchissement corallien observé en 2003 à La Réunion. Rapport ARVAM pour le compte de la DIREN Réunion.

U

UNEP-WCMC , 2008 - National and Regional Networks of Marine Protected Areas: A Review of Progress. UNEP-WCMC, Cambridge.

UNESCO, 1993 - Coasts, Environment and Development briefs. N°6, Paris, 16 p.

V

Vacher L., 2008 - Et l'on inventa l'eau chaude et le "blue lagoon" ou la découverte récréative des eaux tropicales. XIIe Journées de la Commission Espaces Tropicaux du Comité National Français de Géographie, Bordeaux, 16-18 Octobre 2008, acte de colloque.

Vacher L. (dir), Bouquet C., Brunello P., Guyonnard V., Koehren M., 2014 - Atlas de la fréquentation des plages de Charente-Maritime, Campagne 2013, Centre de Traitement de l'Information Géoréférencée FLASH-Université de La Rochelle, Observatoire des Pratiques de Tourisme et de Loisir-ECOP de l'UMR 7266 LIENSs (LIttoral ENvironnement et Sociétés) CNRS - Université de La Rochelle, 310 p.

Valentine P.S., Birtles A., Curnock M., Arnold P., Dunstan A., 2004 - Getting closer to whales - passenger expectations and experiences, and the management of swim with dwarf minke whale interactions in the Great Barrier Reef. *Tourism Management*, 25 (6), pp. 647-655.

Van Treeck P., Schuhmacher H., 1999 - Mass diving tourism - a new dimension calls for new management approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 37 (8), pp. 499-504.

Van Waerebeek K., Baker A.N., Félix F., Gedamke J., Iñiguez M., Sanino G.P., Secchi E., Sutaria D., Van Helden A., Wang Y., 2007 - Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 6 (1), pp. 43-69.

Vaz B., Williams A.T., Silva C.P.D., Phillips M., 2009 - The importance of user's perception for beach management. *Journal of Coastal Research*, pp. 1164-1168.

Veiga P., Ribeiro J., Gonçalves J.M.S., Erzini K., 2010 - Quantifying recreational shore angling catch and harvest in southern Portugal (north-east Atlantic Ocean): implications for conservation and integrated fisheries management. *Journal of Fish Biology*, 76 (9), pp. 2216-2237.

Veyret Y., 2007 - Dictionnaire de l'environnement. *Armand Colin éd*., Paris, 403 p.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., Melillo, J. M., 1997- Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277 (5325), pp. 494-499.

Vivier M., 2002 - Evaluation de la fréquentation des dispositifs d'amarrage sur Saint-Gilles et Saint-Leu. Mémoire de master, Université de La Réunion, RNMR, 89 p. + annexes.

W

Wackermann G., Huetz de Lemps C., Husson J.P., 1998 - Géographie humaine des littoraux maritimes, Ellipses édit. 143 p.

Wallmo K., 2003 - Assessment of techniques for estimating beach attendance. Beach sampling report of NOAA, 33 p.

Ward Jr. J. H., 1963 - Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association,* 58 (301), pp. 236-244.

Warnken J., Leon M., 2006 - Estimating anchor site usage and potential pollution loads for recreational vessels in Moreton Bay Marine Park using aerial surveys. *Exploring the Nature of Management*, 502 p.

Watson A.E, Cole D.N., Turner D.L., Reynolds P.S., 2000 - Wilderness recreation use estimation: a handbook of methods and systems. United States Department of Agriculture, Forest service, Report RMRS-GTR-56, 208 p.

Weaver D.B., Lawton L.J., 2007 - Twenty years on: The state of contemporary ecotourism research. *Tourism Management*, 28 (5), pp. 1168-1179.

Weaver D.B., 2012 - Organic, incremental and induced paths to sustainable mass tourism convergence. *Tourism Management*, 33 (5), pp. 1030-1037.

Wilbanks T.J., Kates R. W., 1999 - Global change in local places: how scale matters. *Climatic Change*, 43 (3), pp. 601-628.

Wilkinson C., 2008 - Status of Coral reefs of the world. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia, 296 p.

Williams I.D., Polunin N.V.C., Hendrick V.J., 2001 - Limits to grazing by herbivorous fishes and the impacts of low coral cover on macroalgal abundance on a coral reef in Belize. *Marine Ecology Progress Series*, 222, pp. 187-196.

Wolanski E., Martinez J. A., Richmond R. H., 2009 - Quantifying the impact of watershed urbanization on a coral reef : Maunalua Bay, Hawaii. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84 (2), pp. 259-268.

Z

Zakai D., Chadwick-Furman N.E., 2002 - Impacts of intensive recreational diving on reef corals at Eilat, northern Red Sea. *Biological Conservation*, 105 (2), pp. 179-187.

Zaninetti, J.-M., 2006 - L'urbanisation du littoral en France. *Population et Avenir*, 2, pp. 4-8.

Zieman J.C., 1976 - The ecological effects of physical damage from motor boats on turtle grass beds in southern Florida. *Aquatic Botany*, 2, pp. 127-139.

Zubia M., Cuet P., Nicet J.B., Cambert H., Bein A., Turquet J., 2012 - Définition d'un bio-indicateur d'eutrophisation (coraux, algues, invertébrés) pour les récifs coralliens de La Réunion. Rapport final EUTROLAG, 188 pages.

Table des figures

Figure 1- La variation de la part des résidences secondaires dans le logement communal en France entre 1968 et 1999 16
Figure 2- Le modèle de développement dissymétrique, caractéristique des îles en milieu austral 18
Figure 3- Les discordances au sein du territoire des usages en contexte littoral 26
Figure 4 - Évolution historique mondiale et nationale des AMP en termes de surface océanique couverte 30
Figure 5 - Récifs coralliens, polypes et polypier 33
Figure 6 - Dépendance sociale et économique des écosystèmes récifaux mondiaux. 40
Figure 7 - Des données de fréquentation pour optimiser l'aménagement, la gestion d'une aire protégée et sa conservation. 48
Figure 8 - Évolution du nombre de publications sur le thème de la fréquentation littorale 51
Figure 9 - Les 15 premières occurrences des termes "fréquentation" et "littoral" dans le moteur de recherche Google Scholar 55
Figure 10 a. et b. - Efficacité des gestionnaires de 1147 AMP à réduire la pression de pêche et l'évolution positive des variables biologiques de biomasse, densité, taille et richesse spécifique des populations benthiques pour 124 réserves intégrales dans 29 pays 59
Figure 11 a. et b. - Mécanisme géologique à l'origine de la formation des récifs frangeants (a.), et stades de développement d'un récif (b.) 70
Figure 12 - Répartition des récifs coralliens de La Réunion et types morphologiques en présence. ... 71
Figure 13 - Passe de l'Ermitage et récifs frangeants de l'Ermitage et de la Saline (a.), Bassin Pirogue ou le récif frangeant de l'Etang-Salé (b.), plate-forme récifale de Grand-Fond (c.) et banc récifaux de Boucan-Canot (d.) 71
Figure 14 - Zonation transversale du récif frangeant réunionnais. 72
Figure 15 - Nature morphologique du linéaire côtier ouest. 73
Figure 16 - Le récif de l'Ermitage sub-affleurant lors de l'épisode de marée basse exceptionnelle du 5 mai 2013. 77
Figure 17 - Illustration schématique des pressions en provenance du bassin-versant. Coupe le Maido/la Saline-les-Bains. 82
Figure 18 - Evolution de la tâche urbaine entre 1989 et 2011. Focus sur les communes de Saint-Paul, Trois-Bassins et Saint-Leu 83
Figure 19 - Surface en culture sur la zone ouest de La Réunion et son évolution entre 2010 et 2012 84
Figure 20 - Rejets liés au débordement d'une station d'épuration à Saint-Leu 85
Figure 21 - Cartographie des effluents pluviaux et d'eaux usées. 86
Figure 22 - Pêcheurs "gaulette" à la côte 90
Figure 23 - Un chasseur sous-marin à proximité de son zodiaque 91
Figure 24 - Bateau de plongée sur la pente externe de Cap Homard. 91
Figure 25 - Le "Lady la fée", catamaran de tourisme à vocation touristique. 92
Figure 26 - Activités de kitesurf (a.), de windsurf (b.) de surf (c.) et de bodyboard (d.). 93
Figure 27 - Activités de palmes-masque-tuba (a.), de canoë-kayak (b.), de pédalo (c.) et de paddle (d.) 94
Figure 28 - Frise chronologique de la mise en place de la RNM à La Réunion 96
Figure 29 - Extrait du plan de gestion, zoom sur l'objectif de gestion 2.3, SI24 consistant à "croiser les données de fréquentation et l'état de santé des milieux" 102

Figure 30 - Eléments du système Homme-milieu pris en compte dans le cadre du projet OT-RUN .. 103
Figure 31 - Synthèse de la première partie : de la littoralisation à la conservation en milieu récifal. 105
Figure 32 - Localisation du terrain d'étude, délimitations de la RNMR 113
Figure 33 - Zonage de gestion et adaptation pour la représentation spatiale de la répartition et de son évolution. 115
Figure 34 - Heure moyenne et lieu du passage estimés de l'appareil lors des survols..... 117
Figure 35 - Schéma du protocole aéroporté aller et retour 118
Figure 36 - Succession de 3 clichés du 11 avril 2010 à 16h20, zone Ermitage nord. 121
Figure 37 - Logigramme décrivant les protocoles d'acquisition et d'analyse des données..... 124
Figure 38 - Le biais de visibilité dû au rayonnement oblique matinal. 125
Figure 39 - Répartition des spots de surf au sein des zones de gestion 126
Figure 40 - Représentations théoriques de la répartition exprimée en densité et répartition réelle. 129
Figure 41 - Méthode d'analyse spatiale pour le calcul de l'emprise des infrastructures à l'échelle des zones de travail. 137
Figure 42 - Répartition des vols en été et en hiver 2010, scores et conditions météorologiques..... 142
Figure 43 - Fréquentation plagique sur la zone d'Ermitage sanctuaire le dimanche avril 2010 à 16h25. 143
Figure 44 - Cumul des observations au cours des 48 vols en 2010 pour les 15 activités suivies, sur une échelle logarithmique de base 2. 143
Figure 45 - Les variations saisonnières (janvier-Juillet) de la fréquentation en 2010..... 144
Figure 46 - Les variations de la fréquentation d'après le calendrier scolaire en 2010 les après-midi entre 15h et 16h. 145
Figure 47 - Répartition générale de la fréquentation globale, cumul des observations en 2010 (48 vols) ramené au kilomètre linéaire. 146
Figure 48 - Répartition côte-large des usages exprimée en % d'usagers observés en 2010 par type de zone morphologique 147
Figure 49 - Répartition temporelle des usagers "plagiques" en 2010 148
Figure 50 - Répartition des "plageurs" et des "baigneurs", d'après le cumul des observations en 2010, ramené au kilomètre linéaire. 149
Figure 51 - Variations temporelles du nombre d'usagers des activités nautiques en 2010. 150
Figure 52 - Répartition spatiale des activités nautiques, le PMT en 2010 152
Figure 53 - Variations temporelles de l'activité de plongée en 2010..... 153
Figure 54 - Répartition des bateaux de plongée sous-marine d'après le cumul des observations en 2010, ramené au kilomètre linéaire. 154
Figure 55 - Variations temporelles de la fréquentation par les sports de glisses en 2010. 155
Figure 56 - Répartition spatiale des sports de glisse en 2010. 156
Figure 57 - Variations temporelles de la fréquentation par les bateaux de découverte du milieu marin et de l'activité de jet-ski en 2010 157
Figure 58 - Répartition spatiale des jet-skis et des activités de découverte du milieu marin en 2010. 158
Figure 59 - Variations temporelles de la fréquentation par les pêcheurs (pêche embarquée, pêche à pied et chasse sous-marine)..... 159
Figure 60 - Répartition spatiale des activités de pêche embarquée, de chasse sous-marine, de pêche à pied sur récif et de pêche à pied à la côte en 2010. 161
Figure 61- La plage de Saline Trou d'eau les 31 mars 2012 à 10h40 et 16 avril 2012 à 16h10..... 162

Figure 62 - Coefficients de variation sur l'ensemble de l'échantillon 2010. 162
Figure 63 - Projections sur les axes 1 et 2 des individus (sites) et des variables (paramètres d'attractivité). 165
Figure 64 - Dendogramme et graphe des niveaux de fusion avec le coude retenu à 3 classes 166
Figure 65 - Typologie de l'attractivité des sites réalisée à partir des 3 groupes du dendrogramme .. 166
Figure 66 - Résidus de la régression linéaire multiple et valeurs prévues par le modèle. 167
Figure 67 - Évolution interannuelle 2010-2012 de la fréquentation globale 172
Figure 68 - Distribution 2010-2012 du nombre moyen d'observation par secteur ramené au kilomètre linéaire. 174
Figure 69 - Évolution absolue de la répartition de la fréquentation globale entre 2010 et 2012, exprimée en % d'évolution et évolution relative intersites et interannuelle. 175
Figure 70 - Distribution des observations de plageurs entre 2010 et 2012 179
Figure 71 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de plageurs, pendant les week-ends scolaires. 179
Figure 72 - Distribution des observations de baigneurs entre 2010 et 2012 180
Figure 73 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de baigneurs au kilomètre linéaire 180
Figure 74 - Distribution des observations de d'engins d'activités nautiques entre 2010 et 2012..... 181
Figure 75 - Évolution 2010-2012 du nombre de pratiquants d'activités nautiques au kilomètre linéaire 181
Figure 76 - Distribution des observations de bateaux de plongée entre 2010 et 2012..... 182
Figure 77 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de bateaux de plongée par corps-morts..... 182
Figure 78 - Distribution des observations de d'engins d'activités nautiques entre 2010 et 2012..... 183
Figure 79 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de surfeurs au kilomètre linéaire..... 183
Figure 80 - Distribution des observations entre 2010 et 2012, pour le créneau de l'après-midi, pêche à pied. 184
Figure 81 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de pêcheurs à pied à la côte au kilomètre linéaire. 184
Figure 82 - Évolution 2010-2012 du nombre moyen de pêcheurs à pied de récif, au kilomètre linéaire 185
Figure 83 - Projections sur les axes 1 et 2 des observations (sites) et des variables (activités) pour l'année 2010 186
Figure 84 - Typologie 2010 de la spécialisation des secteurs à partir des 4 groupes du dendrogramme 187
Figure 85 - Projections sur les axes 1 et 2 des observations (sites) et des variables (activités) pour l'année 2011 188
Figure 86 - Typologie 2011 de la spécialisation des secteurs à partir des 5 classes du dendrogramme 189
Figure 87 - Projections sur les axes 1 et 2 des observations (sites) et des variables (activités) pour l'année 2012 190
Figure 88 - Typologie 2012 de la spécialisation des sites à partir des 5 classes du dendrogramme .. 191
Figure 89 - Manifestation sportive autour des sports de glisse à l'Etang-Salé 193
Figure 90 - Fréquentation, attaques de requin et arrêtés de baignade sur la période échantillonnée pour les sites de Boucan-Canot, l'Ermitage et l'Etang-Salé 195
Figure 91 - Evolution temporelle des activités de surf, de plongée sous-marine et de découverte du milieu marin, sur fond de fréquentation globale moyenne 196
Figure 92 - Ratio plageurs/baigneurs à partir du cumul des observations par année et par secteur 198

Figure 93 - Contribution moyenne relative des sites de Boucan-Canot, Ermitage sanctuaire et Etang-Salé dans l'activité de baignade entre chaque attaque recensée sur la période échantillonnée 2010-2013. 198
Figure 94 - Cartographie des attaques sur fond d'évolution de l'activité de surf entre 2010 et 2013. 200
Figure 95 - Évolution spatiale interannuelle de la fréquentation globale 201
Figure 96 - Une fréquentation naissante sur la plage de Cap Champagne 202
Figure 97 - Une fréquentation plagique naissante sur la plage de Ravine du Trou 202
Figure 98 - Évolution de la fréquentation mensuelle observée entre mars 2010 et Août 2013 sur fond de fréquentation touristique 203
Figure 99 - Fréquentation moyenne et fréquentation touristique aux premiers semestres 2010, 2011, 2012 et 2013 pour : la fréquentation globale, les plageurs et les bateaux de découverte 204
Figure 100 - Cartographie du zonage réglementaire s'appliquant aux activités de pêche au sein de la réserve marine. 215
Figure 101 - Cartographie de la sensibilité du récif d'après CAREX/ARVAM, 2005. 223
Figure 102 - Rééchantillonnage des données de sensibilité récifale 223
Figure 103 - Discrétisation des données de densités de tortues 2010-2012 225
Figure 104 - Coupe schématique de la méthode dite du "belt transect". 227
Figure 105 - Grille de lecture des relations entre pressions et variables écologiques et identification des indicateurs directs et indirects de pression 233
Figure 106 - Répartition spatiale des infractions (tous types) par les pêcheurs à pied et effort de surveillance par le GIPRNMR par commune entre 2010 et 2013 239
Figure 107 - Répartition spatiale des infractions (tous types) par les chasseurs sous-marins et effort de surveillance par le GIPRNMR par commune entre 2010 et 2013 241
Figure 108 - Répartition spatiale des infractions 2010-2013 en zones de protection intégrale et usages impliqués (a.), répartition spatio-temporelle des observations (b.) et comparaison des rapports entre observations d'infractions et effort d'échantillonnage pour les missions GIPRMNR et nos missions (c.) 242
Figure 109 - Cartographie des pressions par type, pondéré au score d'impact 245
Figure 110 - Arbre de décision dans l'élaboration d'un protocole de fréquentation. Du rapport Moyens/Outils/Terrain dépendra sa capacité à être reproductible sur le long terme. 252
Figure 111 - Rapport entre terrain (en linéaire côtier cumulé), moyens et outils pour le cas réunionnais et le cas mahorais pour le déploiement d'une seule mission. 256
Figure 112 - Cartographie de la sensibilité obtenue après rééchantillonnage (d'après CAREX/ARVAM, 2005) 264
Figure 113 - Cartographies de la pression liée aux risques d'impacts mécaniques , de la sensibilité récifale, et de la cartographie du risque d'impact résultant. 265
Figure 114 - Croisement cartographique des données de densités de tortues vertes et de la pression exercée par les engins motorisés et les planches pour un diagnostic du risque d'interaction. 266
Figure 115 - Cartographie des réseaux de suivis en lien avec l'écosystème récifal au sein de la réserve marine et délimitation de sites pilotes optimaux. 268
Figure 116 - Confrontation des données de pression, des peuplements ichtyologiques et benthiques à l'échelle des 4 zones pilotes 270
Figure 117 - Confrontation des données de pression, des peuplements ichtyologiques et benthiques à l'échelle du zonage de réglementation 273

Figure 118 - Extrait du plan de gestion mentionnant les objectifs de "croisement des données de fréquentation et de l'état de santé des milieux" 276

Table des tableaux

Tableau 1- Les catégories de l'UICN 28
Tableau 2- Evolution des AMP en part des eaux territoriales entre 1990 et 2012. 30
Tableau 3- Synthèse bibliographique des impacts directs des activités marines et plagiques sur les récifs coralliens. 36
Tableau 4 - Phénomènes majeurs de dégradation des écosystèmes coralliens, liés au réchauffement climatique. 38
Tableau 5 - Répartition de la superficie récifale mondiale et pressions. 40
Tableau 6 - Réseaux internationaux d'évaluation de l'état de santé récifale présents en France 42
Tableau 7 - Synthèse des suivis de fréquentation cités dans cette étude, selon leur vocation, le type d'usages suivi et l'approche privilégiée. 53
Tableau 8 - Set d'indicateurs issus du manuel de S. Pomeroy "How is your MPA doing ?", et identification des jeux de données à mobiliser. 61
Tableau 9 - Typologie de la terminologie de la collaboration disciplinaire selon le degré d'interaction et le potentiel d'intégration de la démarche. 64
Tableau 10 - Paramètres nécessaires à l'élaboration d'un récif. 74
Tableau 11 - Classification des usages liés à l'écosystème récifal 88
Tableau 12 - Part du territoire autorisé à la pratique des activités de pêche à pied, de kitesurf et windsurf, de chasse sous-marine et de pêche embarquée professionnelle au regard du territoire praticable 98
Tableau 13 - Suivi scientifiques pérennisés, réalisés au sien du périmètre de la Réserve Marine 100
Tableau 14 - Classement des activités en catégories d'après les contraintes méthodologiques. 116
Tableau 15 - Répartition temporelle des 24 vols pour l'année 2010. 119
Tableau 16 - Échantillonnage 2010-2012 120
Tableau 17 - Echantillonnage d'Août 2012 à Août 2013 121
Tableau 18 - Dictionnaire des données mobilisées pour la constitution de la BD fréquentation 123
Tableau 19 - Calcul des marges d'erreur inhérentes à l'observateur. 127
Tableau 20 - Échantillon utilisé pour l'analyse de l'évolution temporelle interannuelle 128
Tableau 21 - Type de représentation cartographique privilégié selon les usages 129
Tableau 22 - Paramètres d'aménités, d'accessibilité et de commodités retenus 134
Tableau 23 - Estimation des capacités de stationnement en fonction du type de parking 135
Tableau 24 - Dictionnaire des données 136
Tableau 25 - Tableau de synthèse des variables étudiées et des indices de présence produits 138
Tableau 26 - Ratios matin/après-midi du nombre d'usagers observés 145
Tableau 27 - Représentation des différents groupes d'activité au sein des strates temporelles constituant notre échantillon 163
Tableau 28 - Matrice des corrélations de bravais-pearson et identification des variables trop corrélées entre elles 164
Tableau 29 - Contribution des variables à l'inertie des 3 axes, exprimé en % de l'inertie de l'axe pour la contribution absolue (abs.) et relatives (Rel.) 165
Tableau 30 - Fréquence d'observation par vol les après-midi, arrondie au nombre entier, par strate et par année. 173
Tableau 31 - Fréquence d'observation par usage et par année 173

Tableau 32 - Contribution absolue (abs.) et relative (rel.) des variables aux 3 axes de l'ACP pour 2010 exprimé en % de l'inertie de l'axe. 186
Tableau 33 - Contribution absolue (abs.) et relative (rel.) des variables à l'inertie des 3 axes pour 2011 exprimées en % de l'inertie de l'axe. 188
Tableau 34 - Contributions absolue et relative des variables à l'inertie des 3 axes pour 2012, exprimées en % de l'inertie de l'axe. 190
Tableau 35 - Dates, localisation et activités impliquées dans les attaques de requin entre 2011 et 2013 sur la période de notre étude et au sein ou à proximité de notre périmètre d'étude. 194
Tableau 36 - Evolution historique des scores de fréquentation par les plageurs et les baigneurs pour 6 sites, entre 1891 et 2010 207
Tableau 37 - Effort de surveillance par le GIPRNMR, en nombre de "mission", entre 2010 et 2013 sur la période de janvier à juillet échantillonnée dans le cadre de cette thèse 217
Tableau 38 - Classification des usages étudiés par types d'impacts associés 219
Tableau 39 - Score des usages non extractifs détenant un potentiel d'impact, adapté de la classification de Thurstan *et al.* (2012) 220
Tableau 40 - Score des usages non extractifs détenant un potentiel d'impact, réalisé à partir de la bibliographie et inspirée de la classification de Thurstan *et al.* (2012) 221
Tableau 41 - Disponibilité temporelle des données 231
Tableau 42 - Dictionnaire des données de la base d'information géographique pressions/milieu ... 234
Tableau 43 - Fréquence des observations de pêcheurs à pieds en infraction entre 2010 et 2013 ... 238
Tableau 44 - Fréquence des observations de pêcheurs à pieds en infraction entre 2010 et 2013 ... 238
Tableau 45 - Fréquence des observations de chasseurs sous-marins en infraction entre 2010 et 2013 240
Tableau 46 - Tableau de métriques types pouvant être extraites de la base de données et contribuer à bâtir des indicateurs. 247
Tableau 47 - Descriptif des observatoires de la fréquentation existants en France classés par superficie. 254
Tableau 48 - Comparaison des coûts de mission pour les protocoles au sol et ULM, pour La Réunion et Mayotte calculé sur la base du tarif Félix ULM à La Réunion et par les Passagers du vent pour Mayotte 257
Tableau 49 - Sites pilotes retenus, et usages représentés 259
Tableau 50 - Scénarios budgétaires définissant l'échantillonnage pour les deux méthodes ULM et au sol, à l'échelle de la réserve ou des sites pilotes 260
Tableau 51 - Calendrier annuel de répartition des missions en fonction des paramètres à suivre, sur la base d'un effort d'échantillonnage de 8 vols annuels 261
Tableau 52 - Coordonnées des zones pilotes retenues pour la comparaison des jeux de données écologiques et sociales en mètres 269
Tableau 53 - Echelles d'analyse pertinentes des relations pressions-écosystème marin selon l'effet à mesurer 276

Table des matières

Avant-Propos vii

Note au lecteur viiii

Sommaire iix

Introduction générale 1

PARTIE 1. De l'évaluation de la fréquentation littorale en contexte d'AMP aux enjeux pour l'Aire Marine Protégée de La Réunion 9

Chapitre 1. Littoraux : des espaces convoités sous pressions à forts enjeux de conservation 11

1.A. Enjeux et vulnérabilité des littoraux : généralités et cas spécifique des littoraux récifaux 13

1.A.1. Les littoraux : des espaces attractifs aux forts enjeux environnementaux 13

1.A.1.1. La littoralisation : un processus entamé dès le 16ème siècle 13

1.A.1.2. Les étapes de la littoralisation en France 15

1.A.1.3. Le modèle balnéaire tropical : la perspective d'un Éden 17

1.A.2. Un littoral à forts enjeux 18

1.A.2.1. Les écosystèmes marins côtiers, pourvoyeurs de ressources 19

1.A.2.2. Écosystèmes côtiers et services écosystémiques 19

1.A.2.3. Enjeux autour des écosystèmes côtiers à « haute valeur » : attractivité vs. vulnérabilité 21

1.B. Entre devoirs de protection et de valorisation 22

1.B.1. De l'exclusion à l'intégration, les mouvements de la conservation 22

1.B.1.1. De la motivation esthétique au conservationnisme 22

1.B.1.2. Le tournant de l'intégration : les nouvelles valeurs de la conservation 23

1.B.2. L'Homme et les espaces protégés : quelle intégration ? 23

1.B.2.1. Conservation et développement : deux dynamiques antagonistes? 24

1.B.2.2. Usagers et espaces protégés : des territorialités contraintes 25

1.B.2.3. Vers un business de la conservation ? 26

1.B.3. L'essor des Aires Marines Protégées : un réseau en expansion ? 27

1.B.3.1. Aires Marines Protégées : contours et enjeux 27

1.B.3.1.1. Les Aires Marines Protégées : un outil de conservation multiple 27

1.B.3.1.2. Missions d'une AMP 28

1.B.3.2. Accroissement du nombre d'AMP et structuration des réseaux 29

1.B.3.2.1. Un accroissement partout notable 29
1.B.3.2.2. Des superficies en expansion 31
1.B.3.3. Une volonté de mise en réseau 31
1.C. Le cas des littoraux coralliens : des écosystèmes sensibles sous pressions 32
1.C.1. Caractéristiques écologiques d'un récif corallien 33
1.C.2. Les écosystèmes récifaux, entre pressions naturelles et humaines 34
1.C.2.1. Pressions naturelles "ponctuelles" 34
1.C.2.2. Pressions humaines 34
1.C.2.3. Les pressions liées aux changements globaux : les effets combinés Homme-nature . 38
1.C.3. Un éco-socio-système fragilisé : les enjeux du 21ème siècle 39
1.C.3.1. Les récifs coralliens, résilients ou altérés ? 41
1.C.4. Les mesures de conservation des récifs coralliens à l'international et en France 41
Conclusion du chapitre 1 43

Chapitre 2. Un besoin de connaissance des pressions dans un contexte de gestion 45
2.A. Les suivis de fréquentation en milieu littoral 46
2.A.1. L'essor des études de fréquentation sur les espaces naturels 46
2.A.1.1. De quoi est-il question ? 46
2.A.1.2. L'avènement des suivis fréquentation : des campings aux grands espaces de nature 46
2.A.1.3. Des finalités, des méthodes 47
2.A.2. Quels enjeux en milieu littoral ? 50
2.A.2.1. Un intérêt récent 50
2.A.2.2. Les suivis de fréquentation en milieu littoral 51
2.A.3. Une thématique résolument géographique 54
2.A.4. Des études souvent adossées à des plans de gestion 55
2.B. L'intégration des suivis de fréquentation dans la gestion des AMP 56
2.B.1. De l'évaluation des AMP : efficacité et performance 57
2.B.1.1. Des indicateurs pour évaluer la performance 57
2.B.1.2. De l'efficacité d'une AMP 58
2.B.2. L'intégration tardive des sciences sociales 59
2.B.2.1. Une nécessaire intégration des sciences sociales 59
2.B.2.2. La production d'indicateurs socio-économiques 60
2.B.2.3. Données quantitatives de fréquentation et indicateurs 62
2.B.3. Vers une approche intégrée Homme-milieu au sein des plans de gestion et dans les programmes scientifiques 63

2.B.3.1. Des programmes scientifiques dédiés 64
Conclusion du chapitre 2 66
Chapitre 3. Le récif réunionnais entre conservation et pressions 67
3.A. Un milieu récifal jeune et fragile 69
3.A.1. Contexte géomorphologique et climatique 69
3.A.1.1. Genèse et caractéristique des récifs frangeants 69
3.A.1.2 Les formations récifales réunionnaises 70
3.A.1.2.1. Une zonation transversale 72
3.A.1.3. Morphologie côtière 73
3.A.2. Un écosystème récifal en équilibre fragile 74
3.A.2.1. Un écosystème riche… mais fragile 74
3.A.2.2. Contexte hydroclimatique et risques associés 75
3.A.2.2.1. Régimes de houle 76
3.A.2.2.2. Marées exceptionnelles et risques d'exondation 77
3.A.2.3. Un milieu sous contrainte en contexte de changements climatiques 77
3.A.3. Un écosystème déjà dégradé 78
3.B. Un littoral récifal fortement anthropisé 79
3.B.1. Un développement dissymétrique hauts/bas et est/ouest 79
3.B.1.1. Contexte socio-économique général : une dissymétrie est-ouest 79
3.B.1.2. Une ouverture culturelle tardive sur la mer 80
3.B.1.3. Le 20ème siècle marqué par le début de l'urbanisation littorale 81
3.B.2. Problématiques de bassin-versant : approche intégrée 82
3.B.2.1. Une urbanisation progressive du bassin-versant 82
3.B.2.2. Pressions liées aux activités agricoles 83
3.B.2.3. Les rejets urbains 84
3.B.2.3.1. Rejets et pollution marine 84
3.B.2.3.2. Les pollutions touchant la côte Ouest 85
3.B.3. Un récif, des usages 86
3.B.3.1. Un paysage d'activités varié 87
3.B.3.2. Les usages "directs" et leurs potentiels d'impacts sur le milieu 88
3.B.3.2.1. Activités de pêche et de chasse 88
3.B.3.2.1.1. La pêche embarquée 89
3.B.3.2.1.2. La pêche à pied 90
3.B.3.2.1.3. La chasse sous-marine 90

3.B.3.2.2. Plongée sous-marine 91
3.B.3.2.3. Activités de découverte du milieu marin 92
3.B.3.3 Les usages semi-directs 92
3.B.3.3.1. Sports de glisse 92
3.B.3.3.2. Activités nautiques 94
3.B.3.3.3. Activités "plagiques" et de baignade 95
3.C. De la mise en réserve à l'intégration des sciences sociales dans le réseau de suivi scientifique 96
3.C.1. Historique de création de la Réserve marine et objectifs de gestion 96
3.C.2. Traduction des missions en termes de règle 97
3.C.2.1. Eléments de réglementation générale 97
3.C.2.2. Des usagers inégaux devant la règle 98
3.C.3. Traduction des missions en termes de suivi écologique 99
3.C.4. Traduction des missions en termes de suivis socio-économiques 100
3.C.5. Vers un tableau de bord intégré des indicateurs : la reconnaissance de l'éco-socio-système 102
Conclusion du chapitre 3 104
Conclusion partielle 105

PARTIE 2. La fréquentation au sein de la réserve naturelle marine : diagnostic de l'état initial et analyse des dynamiques spatio-temporelles 107
Chapitre 4. Méthodologie pour l'acquisition et l'analyse des données de fréquentation 109
4.A. Protocole d'acquisition et de gestion des données 110
4.A.1 Justification des choix méthodologiques pour l'acquisition des données de fréquentation 110
4.A.1.1 Le terrain comme contrainte de la méthode 110
4.A.1.2. Un recours croissant au couplage aeronef-appareil photographique 110
4.A.1.3. Fréquentation et séries temporelles 111
4.A.1.4. Choix méthodologiques résultants 111
4.A.2 Définition des contraintes locales 113
4.A.2.1. Terrain d'étude 113
4.A.2.2. Typologie des usages 113
4.A.2.3. Référentiel spatial 114
4.A.3. Outils et protocole déployés 117
4.A.3.1 Outils 117

4.A.3.2. Protocole d'acquisition 118
4.A.3.3. Echantillonnage temporel 119
4.A.3.1.1. Échantillonnage 2010-2012 120
4.A.3.1.2. Echantillonnage 2013 121
4.A.4. Méthode d'extraction et de stockage des données 121
4.A.4.1. Photo-interprétation et bancarisation des données 121
4.A.4.2. Construction de la base de données 122
4.A.5. Limites du protocole 124
4.A.5.1. Limites des suivis aéroportés 124
4.A.5.2. Limites liées au zonage 125
4.A.5.3. Limites liées au protocole de traitement des données 126
4.B. Méthodologie d'analyse pour le diagnostic spatio-temporel intra-annuel et interannuel 127
4.B.1. Analyses spatio-temporelles de la fréquentation 127
4.B.1.1. Calibrage de l'échantillonnage et standardisation spatiale 127
4.B.1.1.1. Échantillonnage retenu 128
4.B.1.1.2. Standardisation de la représentation spatiale 128
4.B.1.2. Statistiques descriptives 130
4.B.1.2.1. Analyse des variations temporelles intra-annuelles et interannuelles 130
4.B.1.2.2. Analyse des variations relatives spatio-temporelles 130
4.B.1.3. Représentation spatiale des résultats 130
4.B.2. Le paysage des activités et son évolution : une typologie évolutive des secteurs 131
4.B.3.1. Objectifs 131
4.B.3.2. Analyse en composantes principales 131
4.B.3.3. Classification hiérarchique ascendante 131
4.C. Méthodologie pour une mesure de l'attractivité des sites 132
4.C.1. Objectifs 132
4.C.2. La mesure de l'attractivité : état de l'art méthodologique en milieu littoral 132
4.C.3. Méthodologie pour l'acquisition et le stockage des données d'aménités, d'accessibilité et de commodités 133
4.C.3.1. Paramètres étudiés 133
4.C.3.2. Terrain d'étude 134
4.C.3.3. Collecte et stockage de données 134
4.C.3.4. L'accessibilité 135
4.C.4.1.1 Le stationnement (parkings) 135

4.C.4.1.2. L'accessibilité de la côte 135
4.C.3.5. Ombre 136
4.C.3.6. Base de données spatialisée "attractivité" : dictionnaire des données 136
4.C.4. Démarche pour l'analyse spatiale des données 136
4.C.4.1. Traitement spatial 137
4.C.4.1.2. Calcul de l'indice de présence 137
4.C.4.2. Analyse multivariée et typologie 138
4.C.4.3. Analyse des corrélations spatiales entre commodités/aménités/accessibilité et la fréquentation 139
Conclusion du chapitre 4 140

Chapitre 5. Diagnostic de la répartition initiale en 2010 141
5.A. Caractéristiques spatiales et temporelles de la répartition globale 142
5.A.1. Schéma initial de répartition temporelle 142
5.A.1.1. Calendrier des vols et scores de fréquentation en 2010 142
5.A.1.2. Un effet saisonnier 144
5.A.1.3. Un effet "calendrier scolaire" 145
5.A.1.4. Un effet horaire 145
5.A.2. Schéma initial de répartition spatiale 146
5.B. Caractéristiques spatiales et temporelles de la répartition des usages 147
5.B.1. Schéma de répartition "côte-large" des usages 147
5.B.2. Répartition spatio-temporelle des usages non-extractifs 148
5.B.2.1. Les usages "plagiques" : usagers des plages et baigneurs 148
5.B.2.2. Les activités nautiques 150
5.B.2.3. La plongée sous-marine 153
5.B.2.4. Les sports de glisse 154
5.B.2.5. Les activités de découverte du milieu marin et le jet ski 157
5.B.3. Répartition spatio-temporelle des usages extractifs 158
5.B.3.1. Les activités de pêche 158
5.B.4. Synthèse des dynamiques spatio-temporelles 162
5.C. Relation entre commodités/accessibilité/aménités et la répartition de la fréquentation 164
5.C.1. Analyse des relations entre variables et sites 164
5.C.2. Typologie de l'attractivité des sites à partir des composantes principales 166
5.C.3. Une relation forte entre fréquentation et niveau en commodités 167
Conclusion du chapitre 5 169

Chapitre 6. Évolution spatio-temporelle de la fréquentation : une mutation du paysage des usages 171

6.A. Évolution de la répartition globale 172

6.A.1. Variations temporelles interannuelles 2010-2012 172

6.A.2. Variations spatiales interannuelles 2010-2012 174

6.B. Évolution de la répartition des usages-indicateurs 177

6.B.1. Sélection "d'usages-indicateurs" de changements 177

6.B.2. Évolution de la répartition spatiale et temporelle 2010-2012 des usages-indicateurs 178

6.B.2.1. Les usages "plagiques" 179

6.B.2.2. Les activités nautiques 181

6.B.2.3. La plongée sous-marine 182

6.B.2.4. Le surf 183

6.B.2.5. La pêche à pied traditionnelle 184

6.C. Synthèse 2010-2012 : une mutation du paysage des usages 186

6.C.1. Année 2010 : une fréquentation à trois profils, entre surf, usages plagiques et usages à vocation professionnelle 186

6.C.2. Année 2011 : une surreprésentation des sports aérotractés et des usages directs 188

6.C.3. Année 2012 : Une réappropriation des sites par les usages plagiques et les activités extractives et le déclin du surf 190

6.D. Des variations interannuelles explicables par de nombreux facteurs 192

6.D.1. Crise requin : la fréquentation comme marqueur de crise ? 193

6.D.1.1. Les répercussions sur la répartition temporelle 195

6.D.1.2. Répercussions spatiales de la crise requin 197

6.D.1.3. L'année 2013 : l'année de résilience ? 201

6.D.2. La fréquentation fait-elle écho à la conjoncture touristique ? 203

6.E. Comparaison historique des scores de fréquentation 205

Conclusion du chapitre 6 208

Conclusion partielle 209

PARTIE 3. Les données de fréquentation à l'épreuve de l'opérationnel 211

Chapitre 7. Démarche pour l'intégration interdisciplinaire et contribution aux enjeux de gestion en contexte réunionnais 213

7.A. Cartographie des infractions observées entre 2010 et 2013 : vers la production d'indicateurs sur l'efficacité de gestion 214

7.A.2. Objectifs 214

7.A.3. Données mobilisées 214
7.A.3.1. Les pêches 214
7.A.3.1.1. La pêche à pied traditionnelle 214
7.A.3.1.2. La chasse sous-marine 216
7.A.3.2. Tous usages : une mesure du respect des zones sanctuaires 216
7.A.3.3. L'effort de surveillance par le GIPRNMR 216
7.A.4. Échantillonnage spatial et temporel 217
7.A.5. Comparaison des données 217
7.B. Cartographie thématique des pressions anthropiques directes et cartographies croisées pressions/vulnérabilité 217
7.B.1. Cartographie des pressions anthropiques directes 217
7.B.3.1. Objectifs 218
7.B.3.2. Classification des types de pressions diagnostiquées et attribution d'un poids 218
7.B.3.3. Pondération par un score d 'impact associé aux usages non extractifs 220
7.B.3.4. Pondération par un score d'impact associé aux usages extractifs 220
7.B.3.5. Standardisation et discrétisation des variables 221
7.B.3.6. Cartographie des pressions 222
7.B.2. Confrontation cartographique des cartes de pression et de vulnérabilité 222
7.B.2.1. Objectifs 222
7.B.2.2. Fréquentation et sensibilité récifale : diagnostic sur le risque d'impact sur récif 222
7.B.2.2.1. Rééchantillonnage des données de sensibilité du récif 222
7.B.2.2.2. Données de pression mobilisées 224
7.B.2.2.3. Croisement cartographique fréquentation/sensibilité récifale 224
7.B.2.3. Fréquentation et faune : diagnostic sur le risque d'interaction engins/tortues vertes 224
7.B.3.3.1. Reclassement et discrétisation des données de pression 224
7.B.2.3.2. Discrétisation des données spatialisées de densités de tortues (TOORSOI) 225
7.B.2.3.3. Croisement cartographique fréquentation /tortues vertes 225
7.C. Méthodologie pour l'évaluation des conditions d'intégration des données de fréquentation et d'écologie pour le suivi scientifique de l'état de santé récifale 225
7.C.2. Jeux de données mobilisés 226
7.C.2.1. Données Ichtyologiques (poissons) 226
7.C.2.1.1. Abondance des poissons carnivores 226
7.C.2.1.2. Abondance des poissons corallivores 227
7.C.2.1.3. Abondance des poissons herbivores 227

7.C.2.2. Données du benthos (algues et coraux) 228
7.C.2.2.1. Recrutement corallien (scléractiniaires) 228
7.C.2.2.2. Maladies coralliennes 228
7.C.2.2.3. Couverture corallienne 229
7.C.2.2.4. Algues rouges 229
7.C.2.3. Données physico-chimiques 230
7.C.2.3.1. Nitrates 230
7.C.2.4. Données de pressions anthropiques 230
7.C.2.4.1. Données de fréquentation 230
7.C.2.4.2. Données sur les rejets d'eaux usées et exutoires de ravines 230
7.C.3. Disponibilité des données 230
7.C.3.1. Disponibilité temporelle 231
7.C.3.2. Disponibilité spatiale 231
7.C.4. Construction d'une base d'information géographique et analyse des relations spatiales entre jeux de données 231
7.C.4.1. Construction d'une base d'information géographique 231
7.C.4.1. Echantillonnage temporel et spatial retenus 231
7.C.4.2. Analyses croisées 232
7.D. Une base de données spatialisée pressions/milieu 233
Conclusion du chapitre 7 235

Chapitre 8. Suivi de fréquentation et AMP : contribution à la gestion et conditions de son intégration au plan de gestion 237
8.A. Contribution à la gestion : vers l'élaboration d'indicateurs relatifs aux usages 238
8.A.1. Diagnostic spatio-temporel des infractions à la réglementation : vers des indicateurs d'efficacité de gestion 238
8.A.1.1. Diagnostic spatio-temporel des infractions par les pêcheurs à pied 238
8.A.1.2. Diagnostic spatio-temporel des infractions par les chasseurs sous-marins 240
8.A.1.3. Diagnostic spatio-temporel des infractions en zones sanctuaires 241
8.A.1.4. Élaboration d'un indicateur de gouvernance relatif à l'efficacité de surveillance 243
8.A.2. Cartographie de la pression anthropique directe : vers des indicateurs de pression 243
8.A.2.1.Cartographies thématiques des pressions par risque d'impact associé 245
8.A.3. Proposition de métriques retenues au regard des enjeux de gestion 246
8.B. Le suivi de fréquentation comme un outil de la gestion : condition de son intégration au plan de gestion 249
8.B.1. Contribution du suivi à la gestion : apports et limites 249

8.B.1.1. Une intégration tardive de la connaissance sur les usages 249
8.B.2. Conditions d'intégration du suivi de fréquentation à un plan de gestion en contexte d'AMP : le cas réunionnais 251
8.B.1.1. La pérennisation par la mise en observatoire 251
8.B.1.2. Une reproductibilité dépendante du rapport "Moyen-Outils-Terrain" (MOT) 252
8.B.2.1. Comparaison des coût-avantages des méthodes au sol et ULM 256
8.B.3. Calibrage du suivi de fréquentation réunionnais pour son intégration au plan de gestion : vers un calendrier optimisé 258
8.B.3.1. Sélection de sites pilotes 258
8.B.3.2. Scénarios budgétaires 259
8.B.3.3. Échantillonnage temporel optimal 260
Conclusion du chapitre 8 262

Chapitre 9. Le suivi de fréquentation : un outil de gestion et un outil scientifique pour un réseau d'observation multidisciplinaire 263
9.A. Cartographies intégrées de la vulnérabilité récifale et du risque d'interaction engins/tortues 264
9.A.1. Vulnérabilité récifale et pression humaine 264
9.A.1.1. Cartographie de la sensibilité récifale 264
9.A.1.2. Cartographie croisée sensibilité récifale/pression anthropique directe 265
9.A.2. Densités d'observations de tortues vertes et pressions par les engins motorisés et les planches 266
9.B. Diagnostic intégré de l'écosystème récifal : contribution des données de fréquentation 268
9.B.1. Une base de données spatialisée des réseaux de suivi et sites pilotes retenus 268
9.B.2. Un diagnostic préalable sur la santé récifale 269
9.B.2.1. Analyse par secteur géographique 270
9.B.2.1.1. L'Ermitage ou la zone préservée 270
9.B.2.1.2. La Saline ou la zone dégradée 271
9.B.2.1.3. Saint-Leu ou le jardin de corail 271
9.B.2.1.4. Etang-Salé ou le modeste aquarium 271
9.B.2.1.5. Synthèse 272
9.B.2.2. Analyse par niveau de réglementation de pêche 273
9.B. Perspectives pour la mise en place d'un réseau "pressions-milieu" : une approche multidisciplinaire pour l'évaluation scientifique de l'écosystème 275
Conclusion du chapitre 9 278

Conclusion partielle 279

Conclusion générale 281

Bibliographie 291

Table des figures 317

Table des tableaux 323

Table des matières 325

Annexes 3387

ANNEXES

Annexe 1

Archive du journal en ligne Zinfos974, dénonçant la pollution du "lagon" induite par les fortes pluies du 5 février 2012

Zinfos974.com
le journal qui oZe

Accueil | Local | Océan Indien | National | International | Co

l'actualité locale en continu

Le lagon de Saint-Leu est pollué

Depuis l'épisode pluvieux qu'à connu Saint-Leu le 5 février, le lagon est marron, pollué. La baignade et toutes les activités nautiques sont donc interdites sur l'ensemble du littoral de la commune. Le dernier rapport d'analyses effectué le 21 février dernier, dont on peut prendre connaissance sur le panneau d'informations du poste de secours de Saint-Leu, révèle la présence d'escherichia coli (e.coli) et d'entérocoques, des bactéries qui traduisent la présence d'une pollution d'origine fécale. La concentration de ces bactéries, qui peuvent être dangereuses pour la santé, est relativement importante pour les entérocoques mais plus faible pur e.coli.

7 | 60 | 1
Tweet | J'aime | g+1

Autres articles

Le lagon de Saint-Leu une nouvelle fois sali par le ravinement

Pollution du lagon de St-Leu: Thierry Robert écrit au sous-préfet

Une pollution étrangère au réseau d'eau usée collectif selon la mairie

Pour les services techniques de la mairie de Saint-Leu, cette pollution s'explique en raison du ravinement causé par les fortes pluies au début du mois mais est en aucun cas lié au réseau d'eau usée collectif ou d'un éventuel débordement de la station d'épuration. Les services de la mairie sont formels, *"cette pollution est due aux matières charriées par la pluie"*, explique Henriette Marimoutou Tacoun, la directrice des services de la ville de Saint-Leu.

En attente que la houle déferle pour nettoyer le lagon

En outre, la faible houle de ces dernières semaines n'a pas permis de nettoyer le lagon comme c'est le cas par exemple lors d'un épisode cyclonique. *"Saint-Leu a certes déjà connu des précipitations du même acabit mais toujours accompagnées d'une forte houle cyclonique qui évacuait rapidement la turbidité de l'eau. Aujourd'hui, ce n'est malheureusement pas le cas, la houle n'a pas été assez forte pour que les eaux de baignade retrouvent rapidement leur qualité d'origine"*, explique la mairie de Saint-Leu, Thierry Robert, dans un communiqué. Il faut donc espérer qu'une bonne houle viendra prochainement nettoyer le lagon de Saint-Leu.

"De nouvelles analyses de l'eau de mer seront réalisées le mardi 28 février, les résultats seront connus le jeudi 1er mars. En fonction de ces résultats, l'arrêté d'interdiction sera maintenu ou pas", souligne la mairie.

Lundi 27 Février 2012 - 14:27
Lilian Cornu

Annexe 2

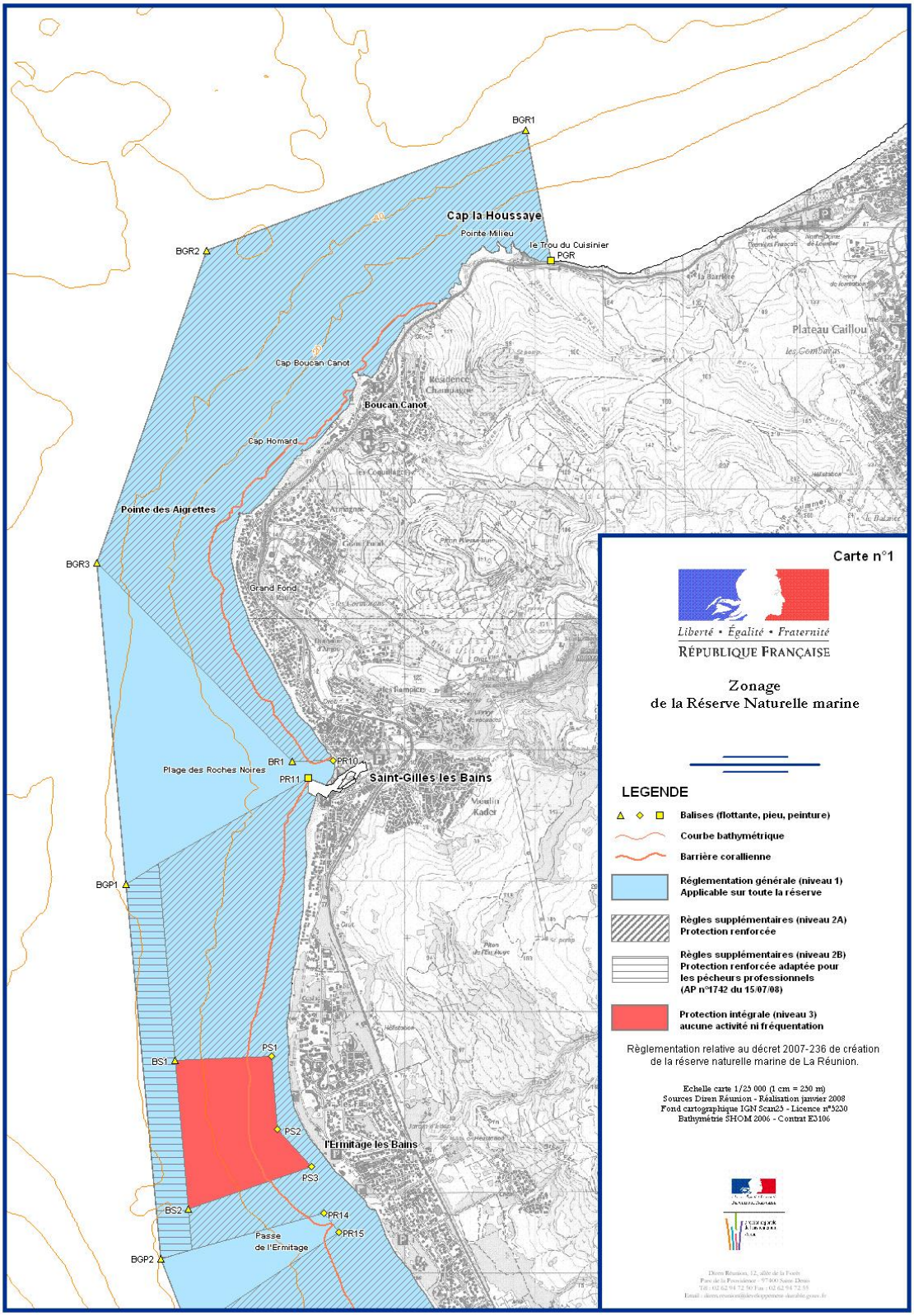
Caractéristiques des pêches à pied existantes à La Réunion

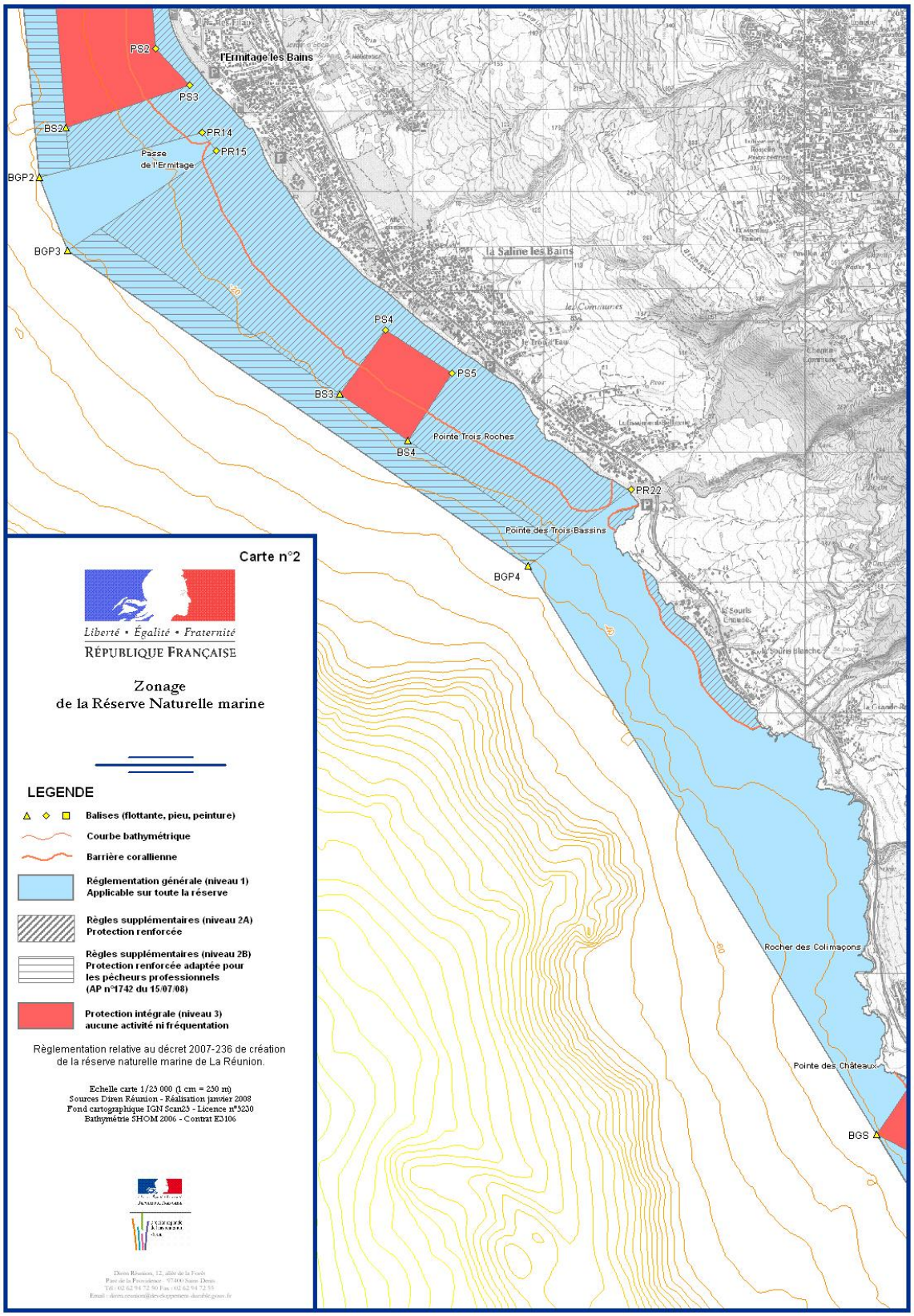
Type de pêche	Engins utilisés	Type de capture	Espèces	Zone de pêche
à pied	Filet (senne de plage) de 10 m avec maille de 8 mm de côté	poissons jeunes pélagiques	Capucins nains ou carêmes *Mulloïdes flavolineatus*	Zone sableuse
	Filets de 25 m avec maille de 16 à 100 mm de coté	poissons	Capucins jaune (*M. vanicolensis*) licorne, perroquet, marguerites, *Mulet capiton, Acanthuridés,Siganidés, Mulet capiton, Acanthuridés,Siganidés*	zone sableuse, platier
	Filet fixe (trempe)	poissons		platier, fausses passes
	Filet de 7 m (80-100 mm) / casiers métalliques avec appât	langoustes	*Panulirus longipes*	brisant et pente externe / passes
		crabes	*Carpilius maculatus*	
	Gaulette avec ligne et hameçon	tous les poissons du lagon	surtout macabit (mérou) *Epinephelus merra* (blanc) *Epinephelus hexogonatus* (gris)	Tout le lagon
	Canne à pêche (moulinet)			
	Baguette avec ligne et hameçon	congres et murènes		Platier et arrière du front récifal
	Foëne, baguette de bois, et barre à mine	zourites (poulpes)	*Octopus cyaneus*	Platier
		crabes	*Carpilius maculatus*	
	Barre de fer	coquillages	*Cypraea*	Platier
	Barre à mine	burgaux	*Turbo argyrostomus*	Brisant
	Binette et pioche	moules	*Mytilus edulis*	Platier
sous-marine (en apnée)	Fusil sous-marin	poissons	Serranidés, Holocentridés	arrière récif et pente externe
	Fusil sous-marin ou main	langoustes / burgaux	*Panulirus longipes*	zone sableuse, pente externe
	Foëne et barre à mine	zourites (poulpes)	*Octopus cyaneus*	arrière récif et pente externe
Combinée	Pêche "bat do lo" de bassin filet de 20m, maille>16mm	tous les poissons du lagon		zone sableuse (bassin)
	Pêche "bat do lo" de platier de 30m, maille>35mm			Platier
	Pêche "Bar kouran", filet de 30 à 40m de long	poissons		Pleine mer
	Pêche "béké" ou "creuz macabi" = gaulette avec palmes, masque et tuba	poissons	surtout macabit (mérou)	Pente externe
Embarquée	Petite pêche	Poissons	Serranidés, Holocentridés	Pente externe, pleine mer

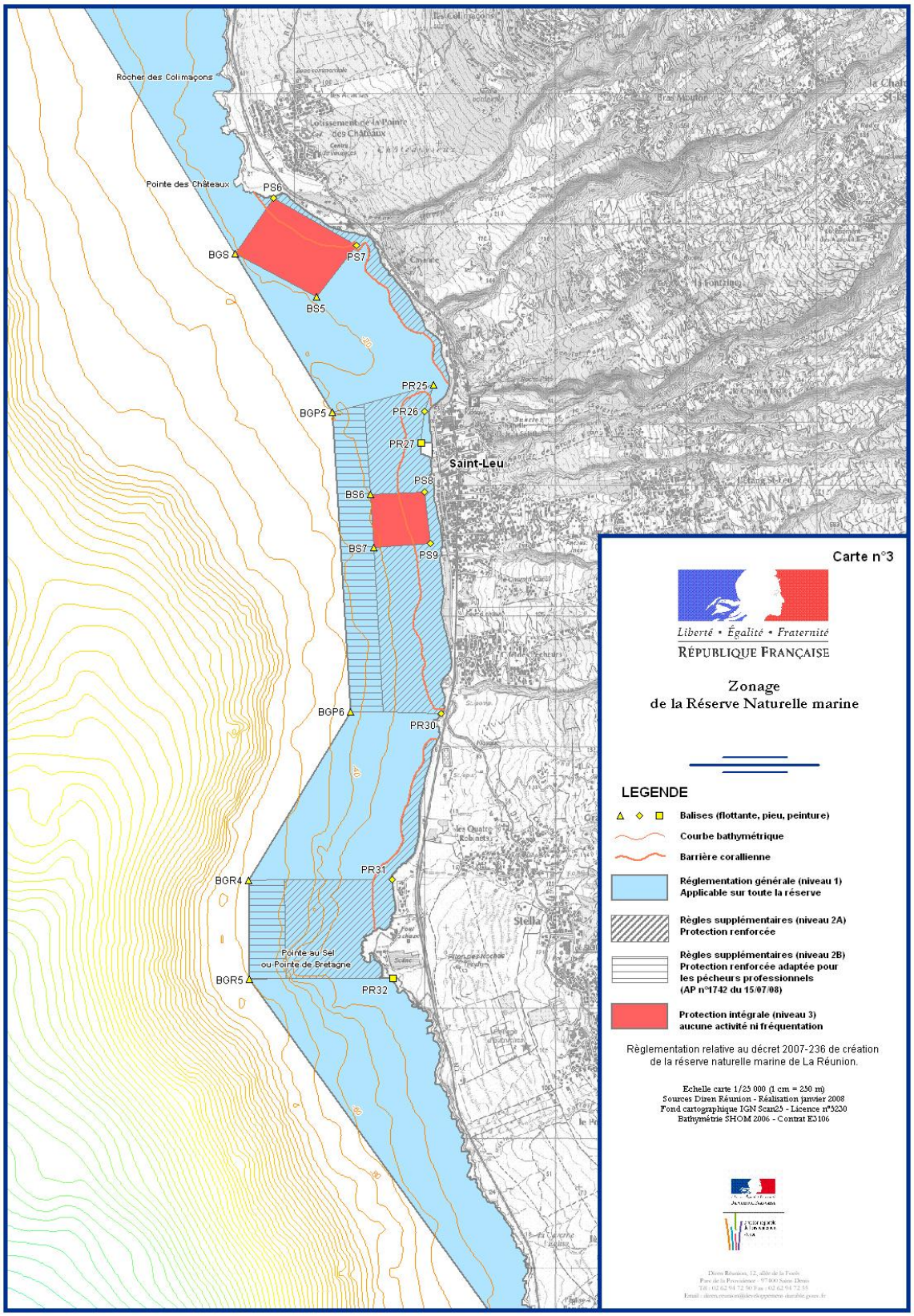
Inventaire des techniques de pêche pratiquées sur et aux abords du récif corallien à La Réunion. Adapté de Thomassin, 2011, d'après Mirault, 2006.

Annexe 3

Zonage réglementaire de la RNMR




Carte n°2
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Zonage
de la Réserve Naturelle marine
LEGENDE
Balises (flottante, pieu, peinture)
Courbe bathymétrique
Barrière corallienne
Réglementation générale (niveau 1)
Applicable sur toute la réserve
Règles supplémentaires (niveau 2A)
Protection renforcée
Règles supplémentaires (niveau 2B)
Protection renforcée adaptée pour
les pêcheurs professionnels
(AP n°1742 du 15/07/08)
Protection intégrale (niveau 3)
aucune activité ni fréquentation
Règlementation relative au décret 2007-236 de création
de la réserve naturelle marine de La Réunion.
Echelle carte 1/25 000 (1 cm = 250 m)
Sources Diren Réunion - Réalisation janvier 2008
Fond cartographique IGN Scan25 - Licence n°5230
Bathymétrie SHOM 2006 - Contrat E3106
PS2
PS3
BS2
PR14
PR15
Passe
de l'Ermitage
BGP2
BGP3
l'Ermitage les Bains
La Saline les Bains
PS4
PS5
BS3
BS4
Pointe Trois Roches
PR22
Pointe des Trois Bassins
BGP4
Rocher des Colimaçons
Pointe des Châteaux
BGS


Carte n°3
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Zonage
de la Réserve Naturelle marine
LEGENDE
Balises (flottante, pieu, peinture)
Courbe bathymétrique
Barrière corallienne
Réglementation générale (niveau 1)
Applicable sur toute la réserve
Règles supplémentaires (niveau 2A)
Protection renforcée
Règles supplémentaires (niveau 2B)
Protection renforcée adaptée pour
les pêcheurs professionnels
(AP n°1742 du 15/07/08)
Protection intégrale (niveau 3)
aucune activité ni fréquentation
Règlementation relative au décret 2007-236 de création
de la réserve naturelle marine de La Réunion.
Echelle carte 1/25 000 (1 cm = 250 m)
Sources Diren Réunion - Réalisation janvier 2008
Fond cartographique IGN Scan25 - Licence n°5230
Bathymétrie SHOM 2006 - Contrat E2106
Rocher des Colimaçons
Pointe des Châteaux
PS6
PS7
BGS
BS5
PR25
PR26
BGP5
PR27
Saint-Leu
PS8
BS6
BS7
PS9
BGP6
PR30
PR31
BGR4
Pointe au Sel
ou Pointe de Bretagne
BGR5
PR32

Annexe 4

Extraits d'archives du journal le Quotidien datés des 28/12/2011 et 27/02/2015

23 L'ACTUALITE A LA REUNION

ÉCONOMIE BALNÉAIRE

Le coût de la crise

Sur le bureau du préfet depuis octobre, les études économique et sociologique réalisées sur la crise requin ont été présentées hier au Centhor à Saint-Paul devant un auditoire tri sur le volet. Toutes deux mettent en évidence l'impact non négligeable de la crise sur l'économie balnéaire locale et l'image écornée de l'île.

Près de 55 millions d'euros. Tel est approximativement le coût estimé pour l'année 2014 de la crise requin qui sévit depuis 2011. Hier, au Centhor, à Saint-Paul, Philippe Fabing, patron d'Ipsos OI et Arnold Jacquod, psychosociologue ont respectivement restitué les études économique et sociologique qui leur ont été commandées par la préfecture en 2015.

La première, réalisée de janvier à août 2014 auprès d'une cinquantaine d'acteurs économiques confirme effectivement ce que l'on savait déjà en partie. La crise requin ne se limite plus à la disparition de toutes les écoles de surf réunionnaises. L'ile, notamment les secteurs touristiques et économiques balnéaires (sans souffre, station géographique), sont directement à cause de la crise requin, de la désaffection de plusieurs milliers de touristes par an. Environ 27 000

L'impact économique de la crise requin aurait été longtemps minimisé. (Photo R.O)

Le Quotidien de la Réunion - mercredi 28/12/11

SIX ATTAQUES EN DIX MOIS

La crise requin bouleverse La Réunion

L'année 2011 restera à jamais gravée dans les esprits comme celle du requin à La Réunion. Six attaques, dont deux mortelles, ont ponctué une crise qui a profondément bouleversé les esprits et mis au pied du mur des pouvoirs publics peu préparés à l'affronter.

L'économie balnéaire touchée

Les écoles ont été impactées de plein fouet. (Photo M.B)

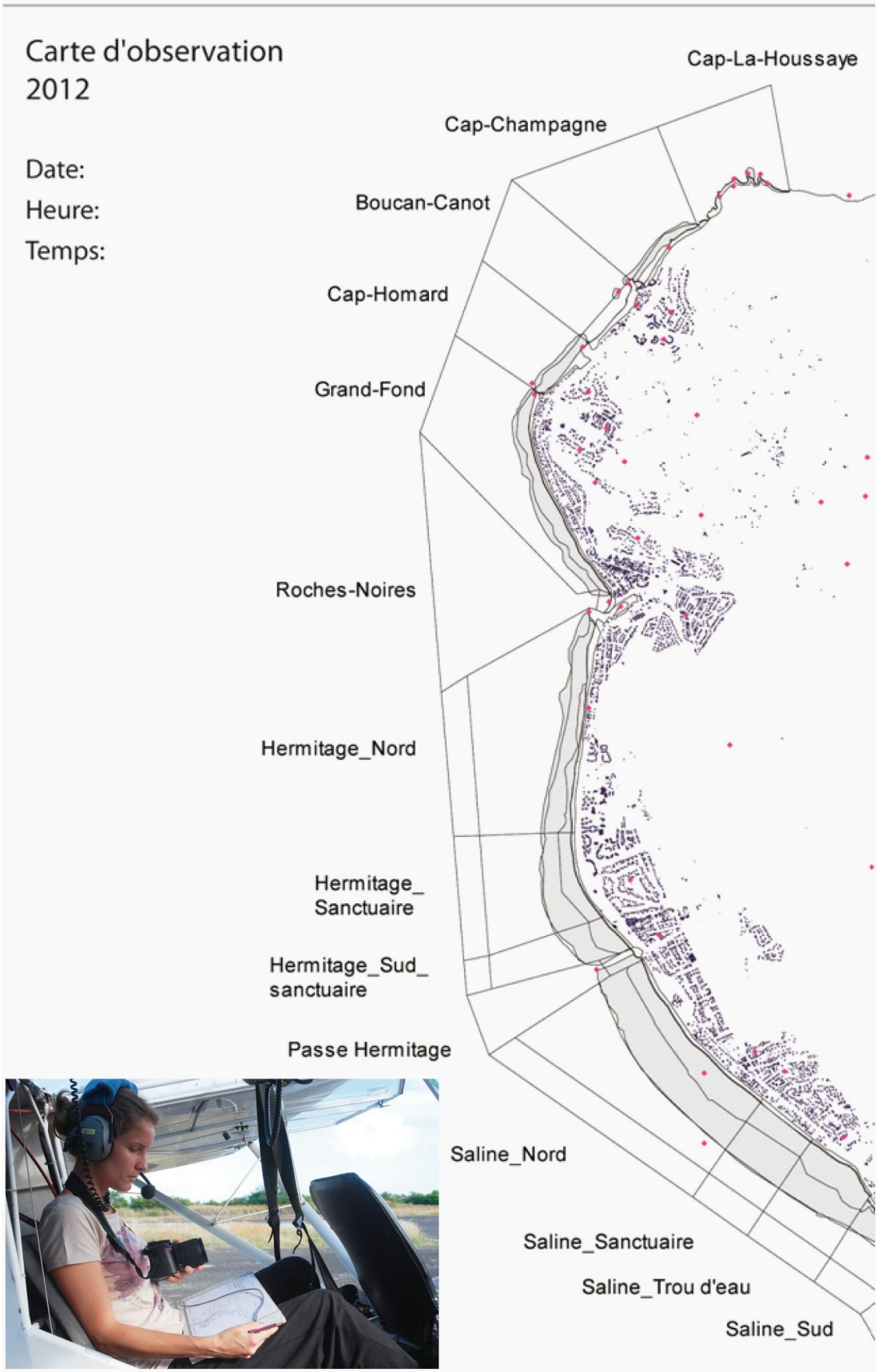
Un requin a attaqué la pirogue de Jean-Pierre Costelli. (Photo R.O)

Des mois de polémique

Huguette Bello sur le site de Boucan au lendemain de la mort de Mathieu Schiller. (Photo David Chane)

Annexe 5

Extrait d'une carte d'observation et illustration du protocole



Annexe 6

Extrait de la base de données

ID	Secteur	Date	Mois	Vol	Zone	Année	Heure	Moment	Jour	Saison	Semaine/week-end	Vacances/HorsVacances	Nature morpho	MORPHO	Règle	Conditions meteo	Dispositifs Amarrage	**PE**	**B**	**Plage**	**PL**	**CSM**	**...**	**Totaux**
76	1	06/03/2010	Mars	4	Cote_Cap-Houssaye	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	Roches	Cote	G&M	4	0	0	0	0	0	0	...	2
1	1	06/03/2010	Mars	4	PE_Cap-Houssaye	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZIP	4	1	0	0	0	7	0	...	7
77	2	06/03/2010	Mars	4	Cote_Cap-Champagne	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	Sable	Cote	G&M	4	0	0	0	0	0	0	...	0
2	2	06/03/2010	Mars	4	PL_Cap-Champagne	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PL	PL	ZIP	4	0	0	0	0	0	0	...	2
3	2	06/03/2010	Mars	4	PE_Cap-Champagne	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZIP	4	9	0	0	0	0	0	...	4
78	3	06/03/2010	Mars	4	Cote_Boucan-Canot	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	Sable	Cote	G&M	4	0	0	0	237	0	0	...	237
109	3	06/03/2010	Mars	4	PE_Boucan-Canot_Baignade	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZIP	4	0	0	110	0	0	0	...	122
4	3	06/03/2010	Mars	4	PE_Boucan-Canot	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZIP	4	2	0	0	0	0	0	...	10
79	4	06/03/2010	Mars	4	Cote_Cap-Homard	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	Sable	Cote	ZIP	4	0	0	0	11	0	0	...	12
5	4	06/03/2010	Mars	4	PL_Cap-Homard	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PL	PL	ZIP	4	0	0	0	0	0	0	...	0
6	4	06/03/2010	Mars	4	PE_Cap-Homard	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZIP	4	4	0	0	0	0	0	...	26
75	5	06/03/2010	Mars	4	PL_Grand-Fond	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PL	PL	ZIP	4	0	0	0	0	0	0	...	0
8	5	06/03/2010	Mars	4	PE_Grand-Fond	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZIP	4	1	0	0	0	0	0	...	26
81	5	06/03/2010	Mars	4	Cote_Grand-Fond_Sud	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	Sable	Cote	G&M	4	0	0	0	50	0	0	...	50
108	6	06/03/2010	Mars	4	Cote_Roche-Noire	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	Sable	Cote	G&M	4	0	0	0	63	0	0	...	63
107	6	06/03/2010	Mars	4	PE_Roche-Noire_Baignade	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZAP	4	0	0	0	0	0	0	...	0
9	6	06/03/2010	Mars	4	PE_Roche-Noire	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZAP	4	2	2	0	0	0	0	...	2
82	7	06/03/2010	Mars	4	Cote_Hermitage_Nord	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	Sable	Cote	ZIP	4	0	0	0	270	0	0	...	270
11	7	06/03/2010	Mars	4	PL_Hermitage-Nord	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PL	PL	ZIP	4	0	0	12	0	0	0	...	12
10	7	06/03/2010	Mars	4	DAR_Hermitage_Nord	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	DAR	DAR	ZIP	4	0	0	48	0	0	0	...	50
12	7	06/03/2010	Mars	4	PE_Hermitage_Nord_(2A)	2010	15h30	Aprem	Samedi	Eté	Week-end	HorsVacances	PE	PE	ZIP	4	6	0	0	0	1	0	...	1

Annexe 7

Identifiants des plages et noms associés

ID	nom_zone	Commune
77	Cap Champagne	Saint-Paul
78	Boucan Canot	Saint-Paul
79	Cap Homard	Saint-Paul
81	Grand Fond	Saint-Paul
82	Hermitage Nord	Saint-Paul
83	Hermitage face Sanctuaire	Saint-Paul
84	Hermitage Sud Sanctuaire	Saint-Paul
85	Hermitage face Passe	Saint-Paul
86	Saline Nord	Saint-Paul
87	Saline face Sanctuaire	Saint-Paul
88	Saline Trou d'eau	Saint-Paul
89	Saline Sud	Saint-Paul
90	Trois Bassins Nord	Trois-Bassins
93	St Leu Pointe Châteaux	Saint-Leu
94	St Leu Colimacons	Saint-Leu
96	St Leu Grand Etang	Saint-Leu
97	St Leu Varangue	Saint-Leu
98	St Leu Sud	Saint-Leu
99	St Leu Nord Pointe au Sel	Saint-Leu
101	Les Avirons	Les Avirons
102	Etang Sale Nord	Etang-Salé
103	Etang Sale Bassin Pirogues	Etang-Salé
108	Roches Noires	Saint-Paul

Annexe 8

Caractéristiques de l'échantillon retenu pour l'analyse de l'évolution interannuelle

	2010, n° de vol:								Moyenne 2010	Ecart-type 2010	2011, n° de vol						Moyenne 2011	Ecart-type 2011
Secteur	**4**	**20**	**23**	**25**	**31**	**33**	**36**	**40**			**57**	**66**	**75**	**76**	**79**	**85**		
1	7,7586	56,034	54,31	43,103	52,586	27,586	31,897	8,6207	**35,2**	**19,6**	23,276	14,655	30,172	0	18,103	18,9	**17,5**	**10,1**
2	6,5502	13,1	14,192	15,284	8,7336	13,1	31,659	6,5502	**13,6**	**8,0**	5,4585	32,751	7,6419	10,917	1,0917	4,3	**10,4**	**11,4**
3	498,65	1297,3	855,41	950	835,14	693,24	770,27	668,92	**821,1**	**236,3**	929,73	1318,9	404,05	750	724,32	154,05	**713,5**	**405,8**
4	60,222	93,502	60,222	104,6	95,087	114,1	45,959	66,561	**80,0**	**24,8**	117,27	69,731	33,281	47,544	55,468	193,34	**86,1**	**59,9**
5	36,768	72,085	59,99	57,571	56,12	59,023	49,831	41,606	**54,1**	**11,2**	61,442	50,314	49,347	24,19	49,831	58,53	**48,9**	**13,1**
6	263,16	1502	1004	1307,7	866,4	736,84	874,49	829,96	**923,1**	**373,0**	704,45	1024,3	732,79	910,93	979,76	311,74	**777,3**	**262,3**
7	163,56	290,28	239,69	435,17	210,22	321,71	178,29	259,82	**262,3**	**88,0**	243,12	395,38	202,36	248,04	222,99	106,58	**236,4**	**93,4**
8	461,18	1489,4	838,82	1322,4	664,71	984,71	422,35	924,71	**888,5**	**380,3**	1111,8	1337,6	583,53	929,41	604,71	271,76	**806,5**	**391,6**
9	697,3	2537,8	1408,1	2462,2	1532,4	1594,6	835,14	1656,8	**1590,5**	**661,9**	1486,5	2340,5	1137,8	1670,3	937,84	432,43	**1334,2**	**656,9**
10	15,789	384,21	184,21	247,37	163,16	252,63	78,947	157,89	**185,5**	**112,9**	84,211	178,95	163,16	126,32	152,63	21,05	**121,1**	**59,2**
11	217,51	957,63	464,97	905,08	385,88	390,4	204,52	446,33	**496,5**	**285,3**	472,88	765,54	461,58	629,38	390,4	127,12	**474,5**	**217,5**
12	164,91	512,28	310,53	533,33	249,12	270,18	159,65	340,35	**317,5**	**141,5**	319,3	482,46	243,86	403,51	308,77	43,86	**300,3**	**150,5**
13	57,647	465,88	301,18	663,53	134,12	276,47	137,65	329,41	**295,7**	**197,7**	236,47	643,53	227,06	323,53	222,35	84,7	**289,6**	**189,6**
14	64,436	158,61	102,85	174,72	80,545	81,784	52,045	104,09	**102,4**	**43,5**	122,68	133,83	141,26	83,024	109,05	34,7	**104,1**	**39,7**
15	34,394	71,367	83,835	58,469	67,068	65,348	58,469	47,721	**60,8**	**15,0**	107,05	74,807	70,077	29,235	58,04	19,3	**59,8**	**32,1**
16	0	1,2933	0,5173	0	3,3626	1,2933	2,328	1,552	**1,3**	**1,2**	2,8453	0,2587	1,8107	0	0,2587	0	**0,9**	**1,2**
17	11,198	51,512	13,438	40,314	10,078	4,4793	3,3595	34,714	**21,1**	**18,3**	17,917	20,157	5,5991	0	14,558	3,3	**10,3**	**8,4**
18	31,293	14,966	18,367	19,728	14,286	14,286	6,8027	10,884	**16,3**	**7,3**	19,728	16,327	26,531	0	32,653	6,8	**17,0**	**12,1**
19	126,72	414,66	201,72	381,03	227,59	186,21	121,55	247,41	**238,4**	**108,1**	252,59	381,03	255,17	216,38	175,86	74,1	**225,9**	**101,3**
21	69,6	276,8	131,2	204	96	227,2	99,2	218,4	**165,3**	**75,7**	156,8	234,4	106,4	157,6	122,4	162,4	**156,7**	**44,2**
22	8,5193	36,105	14,199	32,049	12,982	14,604	3,6511	14,604	**17,1**	**11,2**	8,9249	8,5193	9,7363	4,4625	3,6511	3,2	**6,4**	**2,9**
23	1,2527	4,6978	0,9396	0	3,7582	0,3132	4,0714	0	**1,9**	**2,0**	3,445	5,011	5,011	3,7582	0	0,9	**3,0**	**2,1**
24	1,3333	7	4,3333	4,6667	4,3333	5,3333	2	3,3333	**4,0**	**1,8**	1,6667	0	2,3333	2	0	3,3333	**1,6**	**1,3**
25	2,8986	10,145	10,145	20,29	17,391	7,2464	7,2464	14,493	**11,2**	**5,8**	24,638	15,942	14,493	43,478	8,6957	14,493	**20,3**	**12,5**
26	71,196	527,17	287,5	484,24	248,37	445,11	141,85	378,8	**323,0**	**164,2**	343,48	530,98	295,65	442,93	307,07	187,5	**351,3**	**120,5**
27	96,296	270,37	136,11	362,04	98,148	200,93	56,481	154,63	**171,9**	**101,9**	162,96	444,44	219,44	299,07	203,7	86,111	**236,0**	**123,7**
28	0	0	5	0	1,25	1,875	0,625	0	**1,1**	**1,7**	5	3,125	0	0	3,75	0	**2,0**	**2,3**

Secteur	2012, n° de vol:								Moyenne 2012	Ecart-type 2012	2013, n° de vol:			Moyenne 2013	Ecart-type 2013
	105	107	111	114	121	123	126	131			152	157	160		
1	36,207	47,414	18,966	37,069	30,172	10,345	21,552	43,103	**30,6**	**12,8**	48,276	50	22,414	**40,2**	**15,5**
2	8,7336	12,009	15,284	9,8253	12,009	22,926	13,1	8,7336	**12,8**	**4,7**	31,659	34,934	21,834	**29,5**	**6,8**
3	567,57	1094,6	677,03	644,59	486,49	408,11	581,08	1041,9	**687,7**	**250,0**	581,08	1075,7	445,95	**700,9**	**331,5**
4	23,772	104,6	68,146	20,602	47,544	64,976	123,61	141,05	**74,3**	**44,9**	90,333	72,9	41,204	**68,1**	**24,9**
5	27,092	83,696	40,639	20,803	11,611	16,933	58,539	58,055	**39,7**	**25,2**	45,96	35,317	25,641	**35,6**	**10,2**
6	813,77	724,7	821,86	696,36	748,99	692,31	627,53	558,7	**710,5**	**88,8**	562,75	728,74	255,06	**515,5**	**240,3**
7	265,72	472,99	377,7	302,06	158,64	169,45	330,06	415,03	**311,5**	**111,6**	285,85	276,03	165,52	**242,5**	**66,8**
8	1161,2	1482,4	1430,6	964,71	475,29	500	716,47	827,06	**944,7**	**388,5**	910,59	783,53	521,18	**738,4**	**198,6**
9	1767,6	2621,6	2513,5	1540,5	635,14	813,51	1410,8	1189,2	**1561,5**	**722,3**	1540,5	935,14	748,65	**1074,8**	**414,0**
10	194,74	273,68	178,95	84,211	10,526	52,632	284,21	263,16	**167,8**	**106,7**	31,579	78,947	94,737	**68,4**	**32,9**
11	722,6	1017,5	798,31	570,06	327,68	358,19	441,24	305,08	**567,6**	**258,0**	629,38	342,94	305,65	**426,0**	**177,1**
12	370,18	670,18	438,6	317,54	175,44	189,47	254,39	150,88	**320,8**	**173,2**	310,53	182,46	121,05	**204,7**	**96,7**
13	441,18	908,24	643,53	305,88	190,59	242,35	240	397,65	**421,2**	**244,6**	455,29	323,53	183,53	**320,8**	**135,9**
14	138,79	307,31	120,2	147,46	63,197	61,958	81,784	126,39	**130,9**	**78,7**	110,29	48,327	63,197	**73,9**	**32,3**
15	62,769	81,685	54,6	44,282	43,852	34,824	46,432	52,451	**52,6**	**14,4**	42,562	28,805	28,805	**33,4**	**7,9**
16	2,8453	0	0	0	0	0	0	0	**0,4**	**1,0**	3,6213	0,5173	0	**1,4**	**2,0**
17	32,475	35,834	20,157	10,078	19,037	8,9586	3,3595	17,917	**18,5**	**11,3**	40,314	6,7189	7,8387	**18,3**	**19,1**
18	21,769	34,014	13,605	14,966	19,728	22,449	6,8027	17,687	**18,9**	**7,9**	18,367	12,925	6,8027	**12,7**	**5,8**
19	202,59	276,72	153,45	143,1	138,79	135,34	200	243,97	**186,7**	**53,1**	253,45	136,21	142,24	**177,3**	**66,0**
21	176,8	127,2	186,4	86,4	96	76	148,8	162,4	**132,5**	**42,6**	230,4	125,6	99,2	**151,7**	**69,4**
22	11,359	21,501	21,095	2,8398	10,953	9,7363	8,1136	13,387	**12,4**	**6,3**	17,85	23,124	6,8966	**16,0**	**8,3**
23	6,5769	1,8791	12,527	1,2527	0	1,5659	3,7582	3,1319	**3,8**	**4,0**	8,7692	0	1,5659	**3,4**	**4,7**
24	0	7,6667	6,6667	1,3333	0,6667	0	3,6667	0	**2,5**	**3,1**	12	2	4,3333	**6,1**	**5,2**
25	4,3478	24,638	28,986	0	2,8986	8,6957	10,145	13,043	**11,6**	**10,3**	17,391	1,4493	33,333	**17,4**	**15,9**
26	328,8	513,59	395,11	267,93	373,91	258,15	293,48	608,15	**379,9**	**124,0**	308,15	248,91	199,46	**252,2**	**54,4**
27	284,26	305,56	349,07	209,26	222,22	94,444	88,889	185,19	**217,4**	**94,4**	234,26	141,67	88,889	**154,9**	**73,6**
28	15,625	17,5	20,625	1,25	3,75	0,625	3,75	11,875	**9,4**	**8,0**	11,25	5	2,5	**6,3**	**4,5**

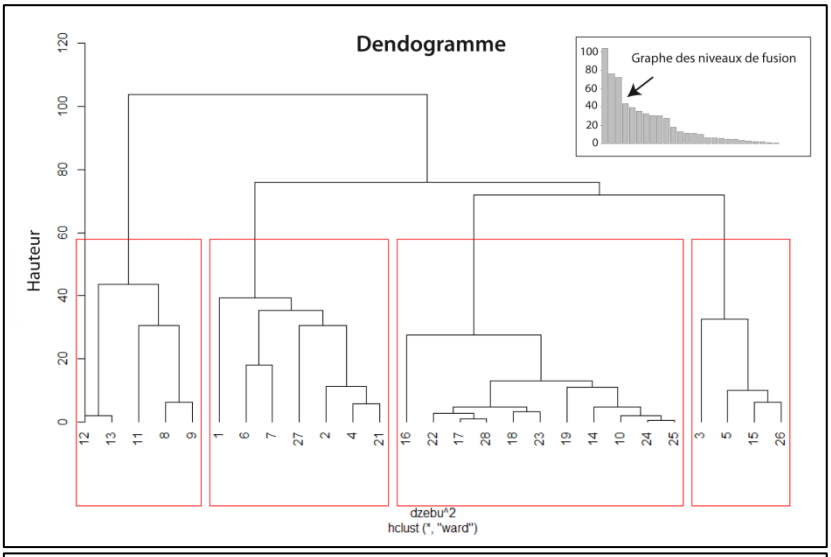
Annexe 9

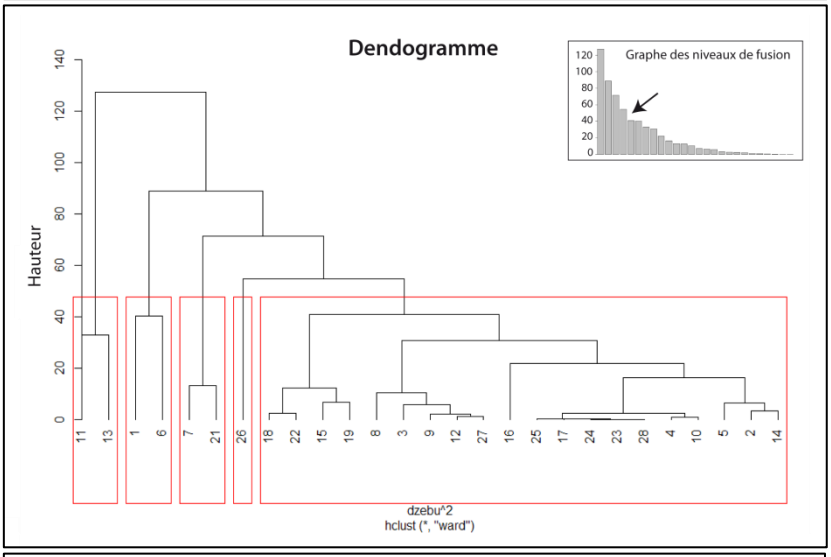
Liste des arrêtés préfectoraux et municipaux émis sur la période de suivi

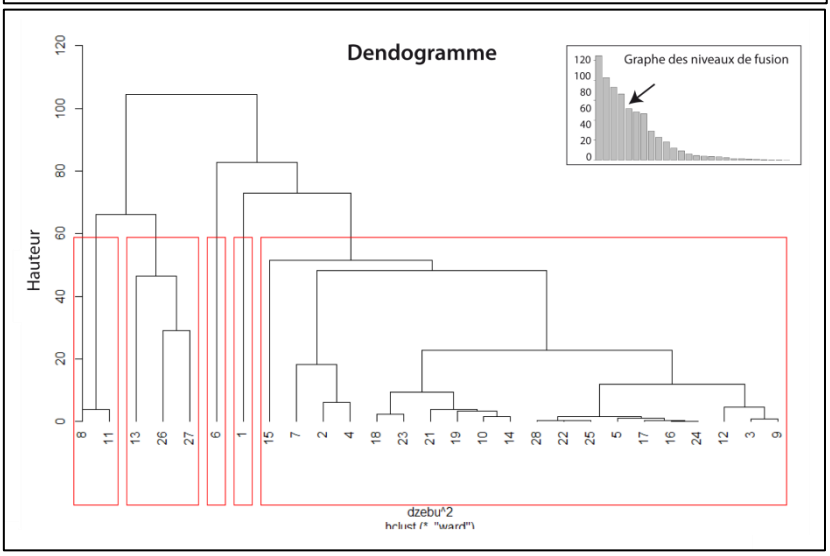
Type d'arrêté	Territoire concerné	Référence de l'arrêté	Date de début	Date de fin	Descriptif succint
Préfectoral	Ouest	1400	20/09/2011	24/08/2013	Interdiction de pratique des activités nautiques et aux engins plage non immatriculés lorsque drapeau rouge.
Préfectoral	Ouest	1390	26/07/2013	01/10/2013	Bain, Sports de glisse interdits dans bande 300 m sauf "lagons" et espaces aménagés/surveillés.
Préfectoral	Ouest	1821	02/10/2013	15/02/2014	Bain, Activités nautiques et sports glisse interdits dans bande des 300 m sauf lagons et espaces aménagés/surveillés.
Préfectoral	Ouest	4299	15/09/2014	05/02/2015	Bain, Activités nautiques et sports glisse interdits dans bande des 300 m sauf lagons et espaces aménagés/surveillés.
Municipal	Saint-Paul	2011-641	05/10/2011	24/08/2013	Toute activité interdite dans la zone 300m de Boucan à St Paul.
Municipal	Saint-Paul	2011-708	28/10/2011	25/08/2013	Fixe périmètre restreint baignade délimité par bouées de 10h30 à 16h30 à Roches-Noires. Engins plage interdits.
Municipal	Saint-Paul	2011-825	19/12/2011	26/08/2013	Dispositif de surveillance à Boucan 9h à 15h30. Engins de plage interdits.
Municipal	Saint-Paul	2012-02	04/01/2012	27/08/2013	modifiant le 2011-708 : surveillance de 10h à 17h30. Hors ce créneau : aux risques et périls des usagers.
Municipal	Saint-Paul	2012-03	04/01/2012	28/08/2013	modifiant le 2012-825 : idem pour Boucan.
Municipal	Saint-Paul	2012-04	04/01/2012	29/08/2013	abroge 2011-641.
Municipal	Saint-Paul	12110092	26/12/2012	30/08/2013	Autorise sous conditions surveillance. Pendant durée mise en place dispositif de surveillance (vigies) arrêtés 2011-708 et 2011-825 suspendus.
Municipal	Trois-Bassins	187/AM/2012	17/08/2012	31/08/2013	En dehors de certains clubs, activités nautiques et baignade interdites sur tout territoire de Trois-Bassins.
Municipal	Les Avirons	213/2013	30/08/2013	01/09/2013	Activités nautiques et baignade interdites dans une bande de 300 m à la côte.
Municipal	L'Etang-Salé	PM/2013/100	11/07/2013	02/09/2013	Délimite zones autorisées de baignade et sports de glisse à gauche du poste MNS. Simulateur pour surf et body et tournant pour windsurf.

Annexe 10

Dendogrammes issus de la classification hiérarchique ascendante, méthode Ward pour 2010, 2011 et 2012







Annexe 11

Caractéristiques statistiques de l'échantillon 2010-2013 (week-ends après-midi de période scolaire) et répartition relative des usagers

	Obs/vol	Ecart-type
2010 (n=26)	4004,42308	2097,09209
2011 (n=22)	4640,09091	2397,64845
2012 (n=24)	5103,83333	2314,94877
2013 (n=14)	4842	2411,84545

Répartition relative de la fréquentation globale entre 2010 et 2013

Secteur	Zone	2010	2011	2012	2013
1	Cap la Houssaye	-0,68	-0,75	-0,67	-0,61
2	Cap Champagne	-0,79	-0,79	-0,75	-0,68
3	Boucan Canot	1,50	1,32	0,99	1,10
4	Cap Homard	-0,64	-0,61	-0,63	-0,61
5	Grand-Fond	-0,41	-0,42	-0,51	-0,55
6	Roches noires	0,04	-0,05	-0,18	-0,29
7	Ermitage nord	1,21	1,13	1,43	1,72
8	Ermitage Sanctuaire	2,06	1,96	2,02	2,15
9	Ermitage Sud Sanctuaire	1,42	1,18	1,23	1,24
10	Passe de l'Ermitage	-0,70	-0,74	-0,68	-0,69
11	Saline Nord	2,54	2,59	2,73	2,84
12	Saline Sanctuaire	-0,14	-0,13	-0,15	-0,30
13	Saline Trou d'Eau	0,13	0,17	0,46	0,45
14	Saline Sud	-0,52	-0,49	-0,42	-0,43
15	Trois Bassins	-0,29	-0,27	-0,37	-0,49
16	Trois Bassins Sud/Saint-Leu nord	-0,82	-0,82	-0,79	-0,74
17	Saint-Leu Pte Châteaux	-0,76	-0,80	-0,74	-0,70
18	Saint-Leu Colimaçons	-0,74	-0,73	-0,70	-0,73
19	Saint-Leu Varangue	0,23	0,24	-0,03	0,14
21	Saint-Leu sud	-0,04	-0,03	-0,21	0,03
22	Saint-Leu Pte au Sel	-0,67	-0,77	-0,69	-0,62
23	Saint-Leu Souffleur	-0,81	-0,79	-0,75	-0,73
24	Saint-Leu Ravine du Trou	-0,79	-0,81	-0,77	-0,70
25	Les Avirons	-0,81	-0,78	-0,77	-0,73
26	Etang-Salé nord	1,45	1,80	1,66	0,86
27	Etang-Salé Bassin Pirogue	-0,12	0,21	0,03	-0,20
28	Etang-Salé sud	-0,83	-0,82	-0,74	-0,72

Annexe 12

Evolution interannuelle du nombre moyen d'observations par usage (2010-2013) et écarts-types (échantillon week-end après-midi de période scolaire)

	2010 (n=8)	2011 (n=6)	2012 (n=8)	2013 (n=3)
Baignade	1588,0	1090,5	1191,1	938,7
	1166,0	*711,9*	*1043,3*	*692,5*
Plage	3961,8	4134,7	4647,5	3486,7
	1407,6	*1532,8*	*1160,3*	*519,6*
Plongée	14,6	7,7	11,0	9,3
	7,8	*6,4*	*5,1*	*8,1*
Chasse ss.-marine	0,8	1,2	1,5	1,3
	1,5	*1,6*	*1,9*	*1,5*
Activités de découverte	0,8	0,7	0,9	0,3
	1,4	*0,8*	*1,0*	*0,6*
Pêche à pied	37,3	33,2	45,3	71,0
	18,3	*19,0*	*14,6*	*40,9*
Surf	174,8	156,5	103,6	42,0
	46,9	*80,5*	*31,1*	*14,7*
Windsurf	1,9	1,2	1,6	5,3
	3,6	*2,9*	*3,2*	*7,6*
Kitesurf	0,0	0,0	1,8	6,0
	0,0	*0,0*	*3,3*	*10,4*
PMT	65,8	57,8	72,0	66,0
	39,2	*42,7*	*67,4*	*46,7*
Canoë-kayak	21,5	11,7	15,9	23,0
	12,2	*6,9*	*9,1*	*15,4*
Pédalo	1,5	1,7	1,9	0,3
	1,5	*1,4*	*1,4*	*0,6*
Paddle	2,4	9,2	13,9	13,0
	0,9	*5,0*	*10,4*	*9,8*
Jet Ski	1,6	0,3	1,8	1,3
	1,8	*0,5*	*1,8*	*2,3*

Annexe 13

Indicateurs retenus dans le cadre du projet PAMPA

Libellé de la métrique	Jeu de données	Retenue ou pas et pourquoi	Remarques
Nombre de bateaux par activité par zone (zonage RNMR)	**Données 2010 ULM**	Non retenue, nombre absolu jugé non pertinent	Donne une idée de l'importance de l'activité dans la RNMR
Nombre de bateaux par activité par zone PAMPA		Non retenue, zonage trop large	
Nombre de personnes par activité par zone (zonage RNMR)		Non retenue, nombre absolu jugé non pertinent	
Nombre de personnes par activité par zone PAMPA		Non retenue, zonage trop large	
Nombre de personnes par activités au niveau temporel		Non retenue	
Nombre de bateaux, etc., par activité sur l'AMP totale		Retenue	
Nombre de personnes par activité pour l'AMP totale		Retenue	
Densité d'unités par activité par zone		Retenue	Pour les 5 zones les plus denses. (pour la plongée : Densité par corps mort)
Densité de personnes par activité, par zone		Retenue	Pour les 5 zones les plus denses

Annexe 14

La baisse de la fréquentation touristique imputée à la crise requin et la crise économique par les médias

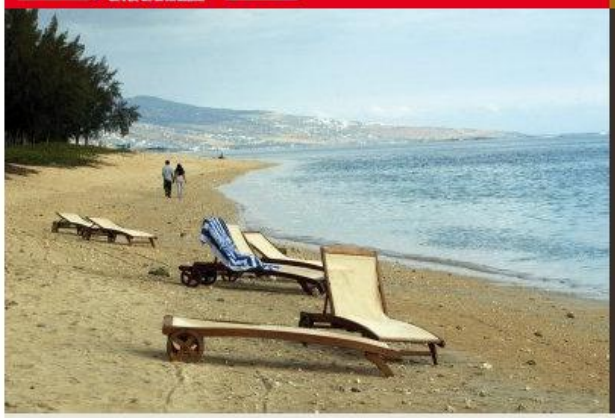
ECONOMIE

La fréquentation touristique en berne

57 | Clicanoo.re | publié le 25 septembre 2013 | 04h55

Le Journal de l'Ile de la Réunion

Intégrale Journal papier livré
Plus de détails
à partir de 1,09€ par jour



9

AA- AA+

En 2012, la fréquentation touristique de la Réunion avait connu une mauvaise année, enregistrant une baisse de 5,3%. Et les chiffres du 1er semestre, publiés par l'Insee à l'occasion de l'ouverture de Top Résa, le salon professionnel du tourisme et des voyages qui se tient à Paris cette semaine, viennent hélas amplifier cette tendance.

SUR LE **MÊME SUJET**

Tourisme : Les nouveaux ambassadeurs
BREVES/REPERES
Le poids de la crise requin
Etude Insee : moins de métros, trop de squales
Conquis par la carte postale
La Réunion joue la carte des émotions

Sur cette période, 190 000 touristes ont visité notre île, soit un niveau proche de 2009, et qui équivaut à un retrait de 10 % par rapport au 1er semestre 2012. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette baisse. En premier lieu, la crise économique. "Elle affecte La Réunion, dont la Métropole demeure le principal marché émetteur en matière touristique. Les deux tiers de la baisse de fréquentation au 1er semestre sont d'ailleurs imputables aux voyageurs en provenance de France métropolitaine sur - 21 000)", souligne l'Insee.

Mais aussi deux autres facteurs : "d'une part, les attaques de requins qui ont fait l'objet d'une large couverture médiatique nationale ; d'autre part, la fermeture de plusieurs dessertes aériennes directes en 2012 en provenance de province, mais aussi de l'Océanie", précise l'Insee.

Des séjours plus courts

A noter que la durée des séjours a légèrement baissé. Les touristes ont séjourné en moyenne 16,5 jours sur l'île, soit une demi- journée de moins qu'au 1er semestre 2012. De même, les séjours à l'hôtel ont été un peu plus courts : 6,2 jours contre 6,6 jours au premier semestre 2012.

"Conséquence de la baisse de fréquentation, le montant des dépenses totales des visiteurs diminue de 8 % et s'établit à 141 millions d'euros".

Résumé

Mots-clés : Fréquentation, Usages, AMP, Récifs coralliens, Pressions anthropiques, Interdisciplinarité

Les récifs coralliens figurent parmi les biomes côtiers les plus emblématiques de la planète. Ces points chauds de la biodiversité mondiale sont convoités par les sociétés humaines pour leurs qualités paysagères et leur plus-value économique. Exposés au même titre que de nombreux écosystèmes côtiers aux changements climatiques (élévation de la température, acidification des océans), ils sont de toutes parts soumis à une anthropisation littorale mal maitrisée (urbanisation, surexploitation des ressources). Dans ce contexte, de plus en plus d' Aires Marines Protégées (AMP) s'établissent sur des écosystèmes anthropisés, les amenant à intégrer l'Homme au cœur de la gestion. À La Réunion où l'urbanisation littorale est dense et où le paysage des usages littoraux ne cesse de s'étoffer, une Réserve Naturelle Marine (RNMR) a été établie en 2007 sur un récif frangeant. L'évaluation de l'efficacité de cette AMP par son gestionnaire doit se faire par le biais d'un ensemble d'indicateurs écologiques et socio-économiques. C'est en vue d'apporter des connaissances sur la fréquentation et les usages pratiqués au sein de la RNMR que cette thèse a été initiée. Elaboré sur la base d'un suivi en ULM, un protocole a été reproduit chaque année entre 2010 et 2013 et a permis la constitution d'une base de données spatialisée, dont l'exploitation a produit trois types de résultats: i) une connaissance initiale de la répartition spatio-temporelle des usages au sein de la RNMR; ii) une compréhension de l'évolution des dynamiques spatio-temporelles à la lumière des facteurs de variations identifiés (aménagements, aménités, crise requin, tourisme, etc.), et iii) une contribution à la gestion par le développement d'indicateurs sociaux (gouvernance, pressions), et à la recherche interdisciplinaire par une confrontation des données de fréquentation et des données écologiques du milieu. La réflexion menée dans le cadre de cette thèse apporte un éclairage nouveau sur les usages et la fréquentation des littoraux coralliens à La Réunion, et leur traduction en termes de pression anthropique directe. Pensé pour être reproductible et optimisé en termes de coût, cet outil permet la production d'un ensemble d'indicateurs dont l'intégration au plan de gestion dépend exclusivement des choix stratégiques du gestionnaire.

Abstract

Key words : Uses monitoring, MPA, Anthropogenic pressures, Interdisciplinarity

Coral reefs are amongst the richest and the more emblematic ecosystems of the world. These hotspots of biodiversity provide many services to Human societies, bringing leisure and economic added values. In many areas, especially developing countries, these ecosystems are submitted to both climate change (rise of sea temperature and level, acidification) and human coastal pressures (urbanisation, resources exploitation). In this context, an increasing number of Marine Protected Areas is settled on coral reefs environments in order to ensure their conservation and to mitigate local pressures. Hence, one of MPAs Managers' missions is to bring ecological and social data together to build integrated indicators of effectiveness. In Reunion Island, a MPA called the Marine reserve of La Réunion was settled in 2007 along a densely urbanised and populated fringing reef coast. In order to better evaluate its MPA effectiveness, the manager requires the integration of social stakes to the management plan. A uses monitoring protocol was developed in this purpose using an ultra light aircraft and a camera. Data on 15 different recreational and non-recreational uses were acquired between 2010 and 2013, flying 48 times a year, and entered into a Geographic Information System. A huge resulting database allowed the building of an initial knowledge of the spatio-temporal distribution of uses within the Reserve. It also enabled the analysis of the uses' evolution regarding various factors of variations (amenities, facilities, shark attacks, tourism, etc.). Finally, we assessed the contribution to management efficiency using social indicators (governance, pressure indicators), and to interdisciplinary research in bringing ecologic and uses data together. This thesis brings a brand new information about coastal human activity and spatio-temporal dynamics of direct pressures on reef. This tool, designed to be reproducible and cost-optimized, enables the production of a set of indicators. Its integration to the management plan exclusively depends on the strategic choices of the manager.