



**HAL**  
open science

## Élaboration d'un protocole de suivi de la fréquentation au sein de la Réserve naturelle marine de la Réunion, France, Océan Indien

Anne Lemahieu, Gwenaëlle Pennober, Gilbert David, Franck Lavigne, Karine Pothin, Léa Gérard

► **To cite this version:**

Anne Lemahieu, Gwenaëlle Pennober, Gilbert David, Franck Lavigne, Karine Pothin, et al.. Élaboration d'un protocole de suivi de la fréquentation au sein de la Réserve naturelle marine de la Réunion, France, Océan Indien. *VertigO: La Revue Électronique en Sciences de l'Environnement*, 2013, 13 (1), 10.4000/vertigo.13379 . hal-01239632

**HAL Id: hal-01239632**

**<https://hal.univ-reunion.fr/hal-01239632>**

Submitted on 21 Jun 2018

**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 - NoDerivatives 4.0 International License

---

## Élaboration d'un protocole de suivi de la fréquentation au sein de la Réserve naturelle marine de la Réunion, France, Océan Indien

Anne Lemahieu, Gwenaëlle Pennober, Gilbert David, Franck Lavigne,  
Karine Pothin et Léa Gérard

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/13379>

DOI : 10.4000/vertigo.13379

ISBN : 978-2-924372-02-9

ISSN : 1492-8442

### Éditeur

Les Éditions en environnement VertigO

Ce document vous est offert par Les Bibliothèques de l'Université de La Réunion



### Référence électronique

Anne Lemahieu, Gwenaëlle Pennober, Gilbert David, Franck Lavigne, Karine Pothin et Léa Gérard, «  
Élaboration d'un protocole de suivi de la fréquentation au sein de la Réserve naturelle marine de la  
Réunion, France, Océan Indien », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne],  
Volume 13 Numéro 1 | avril 2013, mis en ligne le 16 avril 2013, consulté le 21 juin 2018. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/13379> ; DOI : 10.4000/vertigo.13379

---

Ce document a été généré automatiquement le 21 juin 2018.



Les contenus de *VertigO* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons  
Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

---

# Élaboration d'un protocole de suivi de la fréquentation au sein de la Réserve naturelle marine de la Réunion, France, Océan Indien

Anne Lemahieu, Gwenaëlle Pennober, Gilbert David, Franck Lavigne, Karine Pothin et Léa Gérard

---

## Introduction

- 1 Sous la pression des instances internationales et nationales (UICN, AAMP, etc.), on assiste à l'intégration des socio-systèmes dans l'analyse des performances des Aires Marines Protégées (AMP) (Chaboud et Galletti, 2007). L'implantation d'une aire marine protégée sur un territoire engendre parfois des crises en posant la question de l'acceptabilité sociale ou en provoquant des conflits d'usages (David, 2000 ; David *et al.*, 2006 ; David, 2010) et leur résolution ne peut passer que par une bonne compréhension des dynamiques en jeu. De même, les impératifs de durabilité, de préservation et de valorisation de ces espaces attractifs se confrontent à la question de la fréquentation et des impacts qu'elle peut engendrer (Kay et Liddle, 1989 ; Hawkins et Roberts, 1993 ; Hawkins et Roberts, 1994 ; Chabanet *et al.*, 1995 ; Allison, 1996 ; Roupheal et Inglis, 1997 ; Jollit, 2010). En outre, la mesure de cette dernière constitue l'un des paramètres fondamentaux dès lors que l'on souhaite définir la capacité de charge d'un site (Cole, 1995 ; Peirera Da Silva, 2002), seuil au-delà duquel la fréquentation peut devenir une surcharge dont les effets néfastes sur le milieu sont difficilement réversibles. Afin de pouvoir mieux cerner ces menaces, les mesurer et les suivre, les AMP sont aujourd'hui encouragées à diversifier les indicateurs de suivi du milieu en y intégrant une composante anthropique. Ces résolutions tendent à redéfinir le concept d'AMP en l'inscrivant dans une démarche pluridisciplinaire par le biais de la définition de nouveaux indicateurs sociaux et économiques (Meur-Férec, 2007 ; Chaboud *et al.* 2008) et on assiste

depuis une dizaine d'années à l'essor de la thématique et de la mesure de la fréquentation dans les sciences sociales.

- 2 En contexte récifal, la problématique de la fréquentation et des usages est d'autant plus prégnante qu'elle se confronte à la complexité et la fragilité de cet écosystème (piétinement, casse de coraux, prélèvements...) (Kay et Liddle, 1989 ; Rodney, 2000). Cependant peu d'études portent sur cette question (Jollit, 2010 ; Smallwood *et al.*, 2011). Sur les récifs français d'outre-mer, le ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie (MEEDDAT), via L'IFRECOR (Initiative française pour les REcifs CORalliens) soutient la définition de protocoles de suivi de la fréquentation afin de les intégrer à leurs plans de gestion. Les récifs des DOM-TOM représentent 10 % des récifs coralliens mondiaux et abritent près d'une quarantaine d'AMP, dont celle de La Réserve Naturelle Marine de La Réunion (RNMR) qui fait office de site pilote dans le cadre de cette étude.
- 3 Créée en 2007, la RNMR vise à préserver et valoriser une structure récifale de type frangeant soumise à une forte pression anthropique (David *et al.*, 2009 ; Mirault et David, 2009). Après avoir été la première AMP de l'outre-mer français à avoir mené un état zéro socio-économique en complément de l'état zéro écologique (Thomassin et David, 2008), il ne manquait aux gestionnaires que de développer un tableau de bord d'indicateurs qui seraient co-construits avec les scientifiques et comportant un volet « socio-économique » portant sur les thématiques de la fréquentation et de la perception des usagers de ces espaces. Cette étude aspire à contribuer à l'élaboration d'un cadre national commun d'évaluation de l'efficacité de la gestion des AMP en milieu corallien. Les aspects méthodologiques exposés dans cet article résultent des études engagées entre janvier et juin 2010 au sein de la RNMR par voie aéroportée afin de mesurer la fréquentation et tous les usages dont elle est l'objet. Les fondements d'une méthode de suivi de la fréquentation au sein de l'AMP sont ici explicités à travers un état de l'art, les potentialités en termes d'exploitation des données sont explorées puis discutés.

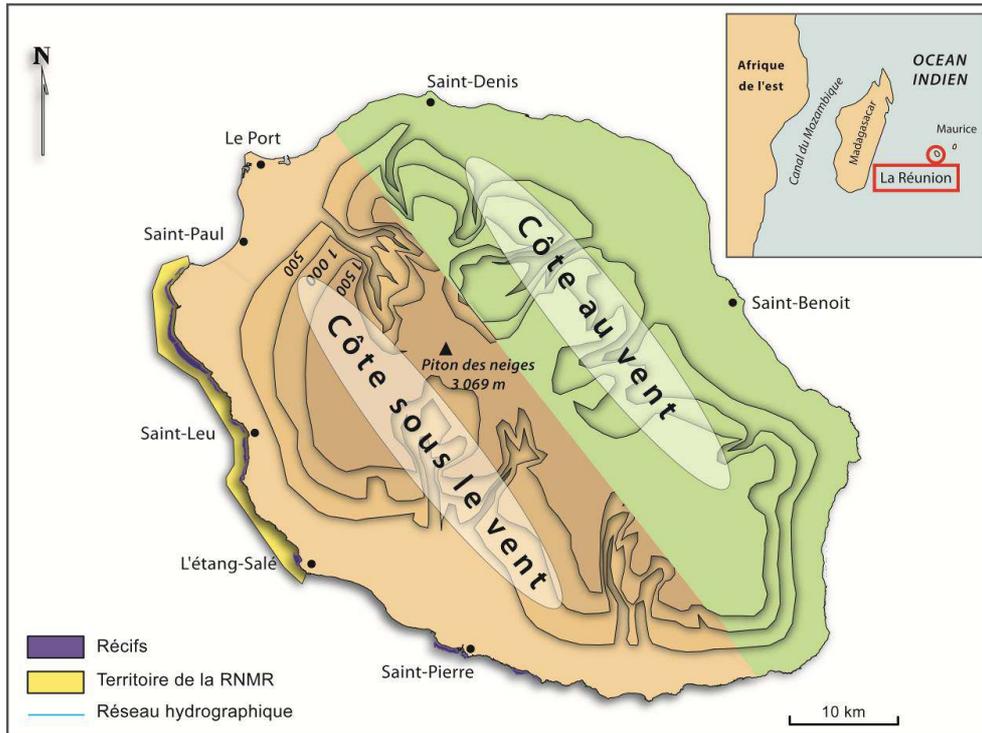
## Matériels et méthode

### Une AMP récifale sous forte pression anthropique

- 4 La Réunion est une île volcanique de 2512 km<sup>2</sup> située sur les marges insulaires du sud-ouest de l'océan Indien, qui a émergé il y a près de 3 millions d'années (Figure 1). Ce département français d'outre-mer possède une ceinture récifale faiblement développée de type récif frangeant sur la côte occidentale de l'île (Faure, 1982). Le relief très escarpé de l'île se prolonge sous la mer où les fonds sous-marins dépassent rapidement 4 000 m de profondeur. Le plateau continental étroit atteint 7 km de large pour les parties les plus étendues. L'abondance des alluvions issues des rivières pérennes a empêché l'édification des récifs au large de la côte est. Sur la côte Occidentale, le caractère très accru de la pente récifale limite l'extension surfacique des coraux dont la colonisation aurait débuté vers 8500 ans BP<sup>1</sup> (Faure, 1982). Ceux-ci n'occupent qu'environ 12 km<sup>2</sup> qui se répartissent en quatre ensembles le long d'une ligne de rivage de 25 km : le complexe récifal qui s'étend de la Saline à Trois Bassins ; les récifs de Saint-Leu ; les récifs de l'Etang-Salé et les récifs de Saint-Pierre (Figure 1).
- 5 La Réunion connaît depuis la départementalisation une croissance démographique et économique assez importante. Son taux de variation atteignait 1,5 % par an entre 1999 et 2009 contre 0,7 pour la France métropolitaine ou 0,4 pour la Guadeloupe ou la Martinique

(INSEE). La côte ouest qui abrite les récifs coralliens est l'un des symboles de cette croissance et la frange littorale de la commune de Saint-Paul est fortement urbanisée (344,5 hab/km<sup>2</sup> en 2006, IFEN<sup>2</sup>). Cette pression démographique localisée s'est accrue depuis 25 ans en raison des effets combinés de conditions climatiques favorables (faible pluviosité et fort ensoleillement) et de ses atouts balnéaires (Mirault, 2006 ; Mirault et David, 2008).

Figure 1. Localisation de La Réunion et de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion



. Source : A. Lemahieu, 2012

- 6 Les premiers signes de dégradation des récifs coralliens de La Réunion datent des années 1970 (Faure, 1982 ; Bouchon, 1978). L'urbanisation croissante du littoral et l'intensification agricole sur les planèzes<sup>3</sup> de l'ouest conjuguées à l'absence d'un système d'assainissement adapté ont augmenté les déversements de polluants et particules fines (Tessier *et al.*, 2008). À ces pressions anthropiques s'ajoute un stress lié à la variabilité climatique, notamment l'élévation de la température de la mer de 0,05 à 0,1 °C par an (Conand *et al.*, 2007) et l'acidification des océans. 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 blanchissent 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. Ainsi, le recouvrement corallien, exprimé en pourcentage de surface couverte par du corail vivant, a fortement régressé de 2000 à 2007 passant de 55 % à 32 %. En 2008, la moitié des récifs réunionnais était considérée comme dégradée (Ahamada *et al.*, 2002). Bien qu'il soit difficile d'évaluer la part de responsabilité des facteurs « naturels » et des facteurs anthropiques dans ces changements, on ne peut que constater la multiplication récente des usages et un accroissement généralisé de la fréquentation (Mirault, 2006).

- 7 En 2007 est créée la Réserve Naturelle Marine de La Réunion (RNMR) qui abrite la quasi-totalité des récifs de la Réunion. Son territoire qui s'étend sur un linéaire côtier de 44 km du Cap La Houssaye au nord sur la commune de Saint-Paul à la Roche aux Oiseaux au sud sur la commune de l'Etang-Salé, couvre une surface de 3657 ha. Sur ce territoire, le gestionnaire est chargé d'assurer la conservation d'un écosystème corallien menacé par les pressions humaines tout en garantissant le maintien des activités et la réduction des conflits d'usages. Aussi, les gestionnaires se sont intéressés assez tôt à mieux comprendre les usages et cerner leurs dynamiques spatio-temporelles. Une première étude en 2006 a permis d'identifier une quinzaine d'usages sur le territoire de la RNMR. Mirault (2006) distingue dans sa typologie d'origine les usages « directs » des usages « semi-directs. Les usages « directs » dépendent exclusivement de la présence de l'écosystème corallien, qu'ils soient extractifs (pêche) ou non (plongée sous-marine), lorsque les usages « semi-directs » dépendent des caractéristiques physiques inhérentes à l'écosystème, ou aménités (personnes utilisant la plage, surf, activités nautiques, etc.). Certains de ces usages ont tout récemment fait leur apparition dans le paysage des activités balnéaires réunionnaises (wind-surf, kite-surf), ou n'ont connu un essor qu'au cours de ces dernières décennies (plongée, Palmes-Masque-Tuba ou « PMT », surf). Mais aucune de ces activités ne fait encore l'objet d'une quantification, ni d'un diagnostic spatial et temporel. La mise en place d'un protocole de suivi de la fréquentation globale reproductible à La Réunion vise donc à contribuer à une meilleure connaissance spatio-temporelle de ces usages. Elle devrait permettre de déboucher à terme sur l'élaboration d'indicateurs de pression sur le milieu.

### La mesure de la pression anthropique directe : état de l'art

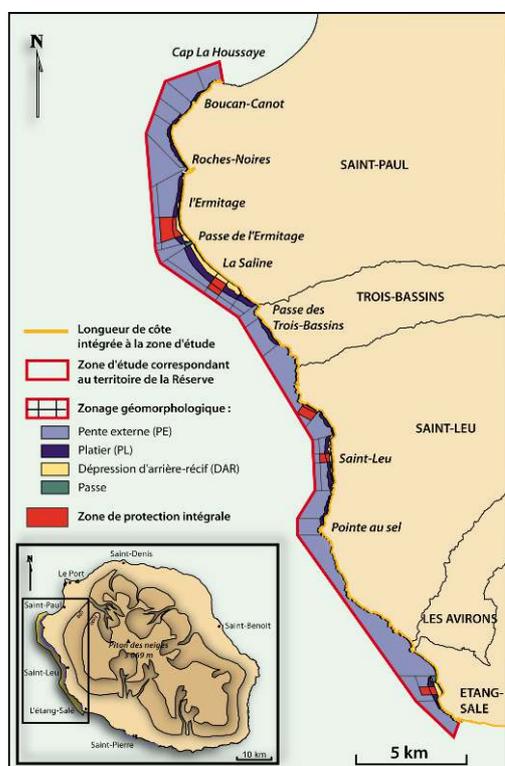
- 8 La mesure de la pression anthropique directe sur les milieux passe par une caractérisation et quantification des usages. Ne s'agissant pas de lieux de résidence, mais de présences ponctuelles ou fréquentes, le terme de « fréquentation » s'est largement imposé en français pour qualifier un type d'occupation momentanée de l'espace. Dans son dictionnaire critique de géographie, Brunet (2006) définit la fréquentation comme l'« utilisation d'un lieu, présence répétée de personnes dans un lieu ou sur une voie de circulation. Elle se mesure en nombre de visites par unités de temps (annuelle, saisonnière, voire horaire) ». Elle peut impliquer trois types d'approches, soit qualitative, quantitative et comportementale, en fonction de la problématique abordée et des moyens déployés (Le Berre *et al.*, 2010). 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) » par l'amélioration de la qualité d'accueil et des prestations existantes (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).
- 9 On distingue deux méthodes d'acquisition de données quantitatives. L'une procède par comptage indirect par le biais de l'exploitation de données secondaires, telles que les registres des maîtres nageurs sauveteurs (Dwight *et al.*, 2007), des enquêtes par téléphone, courriel, 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 (Audouit *et al.*, 2006 ; Audouit 2008 ; Le Corre *et al.*, 2011 ; Sahal, 2011).
- 10 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 elles sont amenées à varier en fonction 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 de récurrence des comptages, s'ils sont périodiques ou journaliers (Wallmo, 2003). Les protocoles de suivi déployés sur les aires terrestres protégées, espaces « fermés » dont les points d'entrée et de sortie constituent des lieux de passage obligé et donc de comptage potentiels (Arnberger et Branderburg, 2002), visent à mesurer des flux de visiteurs (Muhar *et al.*, 2002). Cette méthode nécessite un ou des observateurs fixes, ou du matériel de comptage automatique tel que des boucles magnétiques, capteurs infra-rouges ou sensoriels, etc. (Brigand et Le Berre, 2006). On retrouve ce protocole en contexte littoral lorsqu'il s'agit de plages à accès limités (Deacon and Kolstad, 2000 ; Audouit, 2008). 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, que l'on peut qualifier de « progressive » se réalise souvent dans un contexte universitaire où un grand nombre d'intervenants se rendent disponibles dans le cadre de stages de terrain comme dans les études de Cazes-Duvat en 2002 ou de Brigand et Le Berre en 2006.
- 11 L'apparition de nouvelles techniques d'acquisition ont récemment permis de tendre vers des méthodes d'acquisition « instantanée<sup>4</sup> » des données dont la propriété est de réduire le rapport distance-temps : le recourt à un aéronef (Ultra-Léger-Motorisé, Cessna), couplé à l'utilisation d'un appareil photographique permet notamment de réaliser ces « instantanés de fréquentation ». Ce procédé hérité de l'écologie (suivi de population faunique, Tasker *et al.*, 1984 ; Seber, 1986 ; Okamura, 2003 ; Certain et Bretagnolle, 2008 ; Rowat *et al.*, 2009) qui consiste à « figer les scènes » se trouve particulièrement utile dans un contexte de fortes densités d'individus, comme cela peut-être souvent le cas sur les plages (Robert *et al.*, 2008 ; Dormois *et al.*, 2000 ; Jollit, 2010 ; Le Berre *et al.*, 2010). Parce qu'ils présentent une meilleure précision, et permettent des observations instantanées, répétées ou en continu (Tasker *et al.*, 1984 ; Brigand *et al.*, 2008 ; Le Berre *et al.*, 2010), ces types d'outils sont amenés à être aujourd'hui de plus en plus utilisés par rapport aux comptages ponctuels ou « one-day counting » dont les modèles d'extrapolation sont peu ajustés à la réalité (Muhar *et al.*, 2002). Procéder par « instantanés » permet de cerner de façon exhaustive la population d'un espace à un instant « T » et se distingue souvent par l'analyse spatio-temporelle des données résultantes. Utilisé par de plus en plus d'auteurs (Cazes-Duvat et Pesmes 2002 ; Le Berre *et al.*, 2010 ; Lemahieu *et al.*, 2010), il est intéressant de noter que ce concept fait référence au code de la santé publique définissant un seuil à ne pas dépasser dans la fréquentation des espaces de baignade fermés. Cette mesure doit permettre d'approcher le concept de « Fréquentation Maximale Instantanée » ou FMI<sup>5</sup>.
- 12 À La Réunion, les mesures de fréquentation des côtes littorales récifales à partir de méthodes d'observation directe ont mobilisé de nombreux observateurs sur le terrain (DDE, 1982 ; Mirault, 2006 ; Cazes-Duvat, 2002). La méthode aéroportée a surtout été utilisée en écologie pour le suivi des populations de tortues marines (Jean *et al.* 2010). En matière de suivi des usages, quelques études ont posé les fondements de protocoles d'étude des activités de pêche (Oqueli Turcios, 2002 ; David et Thomassin, 2008a ; David et

Thomassin, 2008b), mais une seule étude portant sur l'activité de pêche sous-marine a visé à quantifier et spatialiser le nombre d'utilisateurs (Bertrand, 2000). Ces diagnostics ponctuels morcelés dans le temps et l'espace, ou recourant à de nombreux observateurs dans un cadre universitaire ne peuvent toutefois pas être assimilés à de véritables protocoles de suivis reproductibles.

- 13 *Protocole d'acquisition des données par voie aéroportée*
- 14 Le suivi de la fréquentation du territoire de la Réserve Marine de La Réunion porte sur l'Aire Marine Protégée et la bande côtière correspondant aux plages, soit une surface de 3790 ha du Cap La Houssaye sur la commune de Saint-Paul à la Roche aux Oiseaux sur la commune de l'Etang-Salé au sud pour 44 km linéaires côtiers (figure 2).

Figure 2. Localisation de la RNMR et zonage d'étude. Elaboré d'après des critères géomorphologiques, ce zonage dissocie les dépressions d'arrière-récifs, les platiers, les passes et les zones de pente externe. Il constitue le zonage de référence de nombreuses études et réseaux de suivis biologiques menés par les gestionnaires et les scientifiques, ce qui facilite la comparaison et la superposition des données.



Source : A. Lemahieu, 2012

- 15 Compte tenu de la forme linéaire et étendue de la réserve (44 km) et afin de recenser tous les usages, le choix méthodologique s'est porté sur la voie aéroportée. La présence à proximité de la Réserve d'une base ULM a garanti une acquisition ciblée dans le temps et aisément multipliable. L'appareil utilisé dans le cadre du projet est un ULM trois-axes Raus S7 courrier dont la configuration haute des ailes et la position du passager à l'arrière du pilote facilitent l'observation. Les données ont été acquises à une vitesse de 90 km/h et à une altitude minimale autorisée de 300m<sup>6</sup>. Aussi, compte tenu de la vitesse de croisière de l'aéronef et des fortes densités d'utilisateurs attendues au vu des études précédentes (DDE, 1982 ; Mirault, 2006 ; Cazes-Duvat, 2002), un appareil photographique de type réflex numérique à 12 millions de méga pixels de résolution a été nécessaire pour « fixer » à un

instant « T » la fréquentation au sein de la réserve, tous usages confondus, en vue d'un post-comptage.

- 16 Les contraintes de visibilité liées à l'altitude de vol (Cook et Jacobson, 1979 ; Quang et Lanctot, 1991 ; Certain et Bretagnolle, 2008), ne rendent pas toujours aisée l'identification et la différenciation des différentes activités. La typologie des usages élaborée par Mirault (2006) et fondée sur leur différenciation selon leur niveau d'interaction avec l'écosystème (usages directs ou indirects) a servi de base de travail. Certaines catégories d'usages ont dû être refondues lors du calibrage de la méthode afin d'intégrer le biais de visibilité dans la reconnaissance des activités lorsque d'autres ont pu, grâce à l'utilisation de l'appareil photographique et le post-comptage, être différenciées (ex. : PMT). Au final, 10 catégories incluant les activités de pêche, les activités nautiques, de plage et de baignade ont résulté de cette adaptation (tableau 1).

Tableau 1. Typologie des activités en 10 principales catégories et 2 sous catégories.

	Typologie de référence	Typologie adaptée	Sous-catégories	Description	Zones privilégiées de répartition
Usages directs	Pêche professionnelle embarquée	Pêche embarquée		Sont comptabilisées dans cette classe toutes les embarcations, plaisancières ou professionnelles sans distinction (visibilité).	PE
	Pêche à pied	Pêche à pied		Cette catégorie désigne les pratiques de pêche qui ne nécessitent aucune embarcation (tous types à l'exception de la pêche sous-marine).	Côte, DAR, PL et PE
	Chasse sous-marine	Chasse sous-marine		Dans cette catégorie se comptabilisent les activités de plongée à vocation de pêche.	PE, Passes
Non-extractifs	Découverte du milieu marin	Activités découverte		Sont considérées comme appartenant à cette catégorie toutes les embarcations à vocation touristique (bateaux à fond de verre, voiliers et catamarans de tourisme, etc.)	PE
	Plongée sous-marine	Plongée sous-marine		Sont considérées comme activités de plongée celles qui nécessitent des bouteilles et très souvent une embarcation pour rallier le site. A dire d'expert, le nombre moyen de plongeur par bateau est de 6, seul le bateau est comptabilisé.	PE, Passes
Usages semi-direts	Fréquentation "balnéaire et plagique"	Plage		Sont considérées par défaut comme usagers des plages les personnes se trouvant sur les plages ou rochers et ne pratiquant aucune activité particulière relative à la pêche.	Côte
		Baignade		Sont affectés à la catégorie « Baignade » ceux qui ont au moins de l'eau jusqu'aux chevilles.	DAR, PL et PE
	Sports de glisse	Sports de glisse	Surf	Par la catégorie sports de glisse est concerné tout type d'activité nécessitant l'utilisation d'une planche.	PL, PE et Passes
			Windsurf Kitesurf		
Autres activités nautiques	Activités nautiques	Palmes-Masque- Tuba (PMT) Canoë Kayak/Paddle Pédalo	Cette catégorie regroupe les activités nécessitant l'utilisation de petites embarcations (kayak, canoë etc.) ou de petit matériel (Palmes).	DAR, PL et PE	
		Jet ski	Les Jet-ski sont des motos marines propulsées par hydrojet. Leur circulation est prohibée au sein de la réserve, sauf pour sortir ou entrer d'un port.	PE, Passes	

DAR = Dépression d'Arrière Récif, PL = Platier, PE = Pente Externe, adaptée de la typologie de Mirault (2006).

Source : A. Lemahieu *et al.*, 2012, adapté de Mirault.

- 17 Chaque parcours du linéaire de la réserve impose un trajet aller-retour de 50 minutes en moyenne depuis la base. Sur le trajet aller est déployée une méthode de comptage avec report immédiat sur carte des activités localisées dans les zones de pente externe (pêche embarquée, activités de découverte, de plongée) et sur le platier externe (canoës, pêcheurs à pied). Sur le trajet retour, la portion de côte comprenant les plages, la dépression d'arrière récif (DAR) et le platier interne sont photographiés en continu, afin de recenser les usages terrestres, l'activité de baignade et les activités nautiques (figure 3).

## Stratification temporelle

- 18 La fréquentation ne peut être temporellement constante à l'échelle d'une journée, d'une semaine ou d'une saison (Poulin, 1980 ; Mirault, 2006 ; Brigand et Le Berre, 2006 ; Cambert *et al.*, 2007). Dans le cadre du projet, 48 vols en ULM ont ainsi été alloués et réalisés de janvier à juin 2010. Une stratification temporelle a été appliquée afin de représenter les dynamiques de la fréquentation. La définition de l'échantillonnage s'est effectuée selon plusieurs critères :
- En premier lieu une distinction entre le matin et l'après-midi a été faite. Ainsi, la pêche sous-marine est surtout pratiquée le matin (Bertrand, 2000) alors que le pic de fréquentation balnéaire (usagers des plages et baignade) se situe dans l'après-midi (Mirault, 2006). La réglementation de la réserve influence aussi cette temporalité : ainsi la pêche à pied n'est autorisée que de 5 h à 12 h dans les zones consacrées à cet usage<sup>7</sup> ;
  - une seconde distinction a été faite entre les jours de la semaine et le week-end, durant lequel la fréquentation est en règle générale plus importante (Cambert *et al.*, 2007) ;
  - une troisième distinction a été faite entre les vacances et la période scolaire ;
  - enfin, le nombre de vols alloués a été réparti de façon égale entre été austral (marqué par des températures chaudes et un temps pluvieux, Janvier-Avril) et hiver austral (températures un peu plus douces et temps sec mais plus venteux (mai-juillet), même s'il est à noter qu'une faible amplitude thermique régit le climat réunionnais (21 °C-26 °C).
- 19 Les heures de survol ont d'abord été fixées à 8 h et 15 h 30 en été d'après les observations terrain des écogardes de la réserve et la littérature existante (Mirault, 2006 ; Cazes-Duvat et Pesme, 2002) en vue de cerner un maximum d'activités pratiquées au sein de la réserve. Après calibration, l'horaire du matin a été repoussé à 10 h en hiver, car les activités focalisant l'intérêt des gestionnaires (pêche à pied notamment) étaient représentées de façon égale à ces deux horaires, le créneau de 10 h, présentant l'avantage de favoriser la présence de plusieurs autres activités et en plus grand nombre (plongée sous-marine, usagers des plages et du bain, sports de glisse, etc.). Les dates de survol ont été tirées de façon aléatoire sur la période concernée.

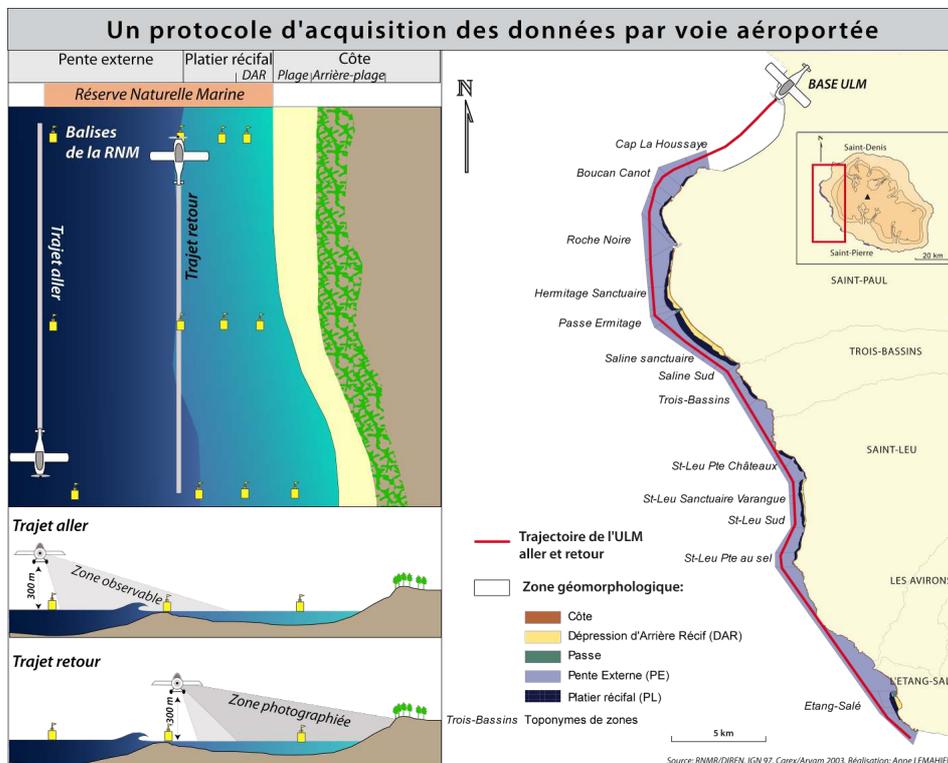
## Le référentiel géographique, support des fréquences

- 20 En partant du postulat que la géomorphologie côtière contraint les usages (type de plage, type de zone de bain, etc.), un zonage élaboré lors de programmes précédents a été utilisé. Il a été élaboré à partir d'un découpage de la RNMR en unité homogène et fait office de maillage de référence pour les gestionnaires depuis l'avant-réserve au début des années 2000. Les 115 zones du maillage délimitent des unités géomorphologiques homogènes, dont plus de la moitié recouvrent les zones de pente externe. La taille de ces polygones est variable (de 0,003 à 2,8 km<sup>2</sup>) pour une taille moyenne de 0,324 km<sup>2</sup>. Lors des survols, les bouées jaunes qui balisent les différentes zones de la réserve en mer et au sol facilitent le repérage (figure 2). En l'absence de ces derniers, l'urbanisation côtière peut contribuer à déterminer des points de repère.

## L'alimentation de la base d'information

- 21 Chacune des 115 zones est assimilée à un polygone et renseignée en termes de fréquence des usages après chaque vol. Un temps non négligeable doit être accordé au retour de mission au comptage par photo-interprétation, sur 250 clichés en moyenne. Un temps moyen de 50 minutes est nécessaire pour compter 1000 individus<sup>8</sup>. Le choix organisationnel s'est porté sur la production d'une couche d'information géographique par vol, dont les champs sont les différentes zones spatiales, et les attributs les différentes catégories d'usages. De la même façon, les paramètres météorologiques susceptibles de constituer des facteurs de variation de la fréquentation (Deacon et Kolstad, 2000 ; Masseau, 2002) ont été renseignés pour chaque vol sous forme d'attributs (Température, couverture nuageuse, vent, etc.) (Figure 3).

Figure 3. Protocole d'acquisition des données : plan de vol et méthode d'acquisition. À l'aller sont recensées les activités présentes sur la pente externe, et lorsque visible, sur le platier, et au retour, le linéaire côtier de la réserve est photographié en continu en vue d'un post-comptage sur photographies.



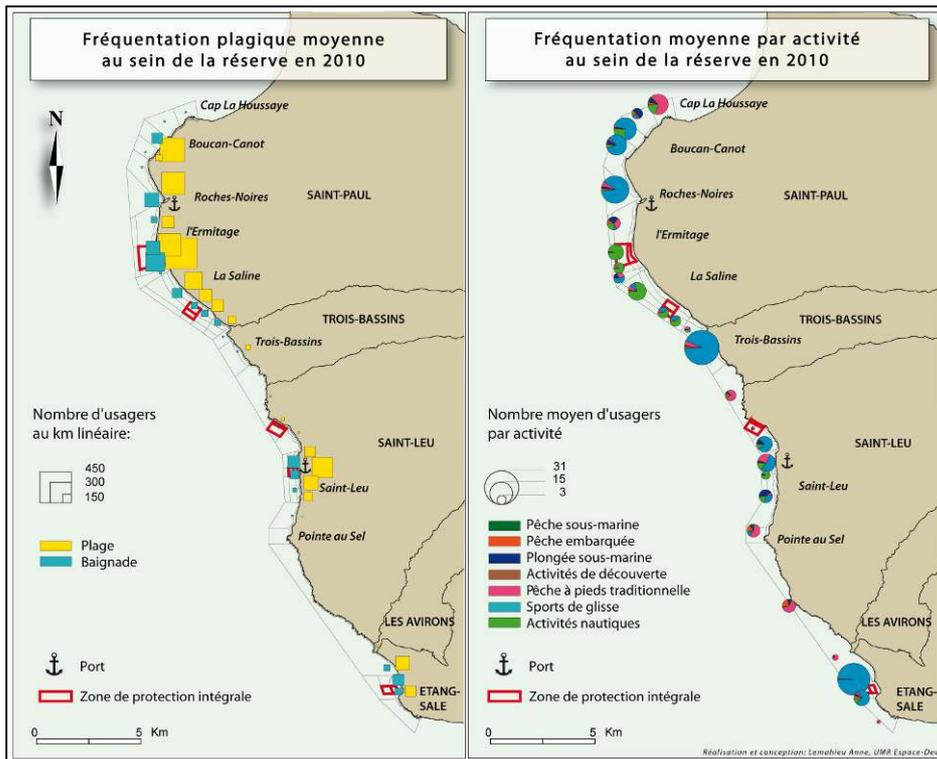
- 22 La méthode déployée pour ce protocole de suivi de type « instantané de fréquentation » inscrit donc par essence la démarche dans une dimension spatio-temporelle. Pour chaque type d'unité géomorphologique, chaque unité de temps ou chaque usage, l'information récoltée permet d'obtenir des indicateurs de pression, en données brutes ou en densités. En fonction des problématiques abordées, il sera possible d'extraire des données moyennées, des maximums de fréquentation, des données à l'hectare, et des indicateurs d'évolution. À terme, des indicateurs spatialisés de pression ou de gouvernance, de l'échelle de la réserve à l'échelle de la zone, devraient pouvoir être élaborés. Le choix des

supports (tableur Excel et couches d'information) assure à la RNMR qui s'est dotée d'un Système d'Information Géographique (SIG) rapidement après sa création et utilise le même zonage de référence, la prise en main aisée et rapide de la base de données ainsi que la bonne compatibilité des données de fréquentation aux données biologiques existantes.

## Résultats

- 23 Les premiers résultats de cette étude sont d'ordre spatial et temporel. Quelques chiffres clés permettent de dresser un diagnostic rapide de la fréquentation au sein de la réserve, la répartition spatiale des activités sur toute la période étudiée au sein de la réserve est cartographiée et la répartition temporelle représentée sous forme de graphique pour toutes les strates temporelles étudiées.
- 24 Les résultats statistiques et cartographiques ont fait apparaître une « fréquentation différentielle » (Poulin, 1980) dans le temps et l'espace. Lors de cette première campagne d'acquisition, 132 506 observations tous usages confondus ont été faites, soit 2761 observations par vol en moyenne. Lors de précédentes enquêtes (Mirault, 2006) 76 % des enquêtés<sup>9</sup> ont affirmé aller à la plage quelque soit la saison, phénomène qui a pu être observable lors de cette campagne puisque l'écart entre le nombre moyen d'observations par vol en été (2805) et en hiver (2603) s'est avéré faible. Les scores de fréquentation quant à eux peuvent aller jusqu'à 9425 usagers pour le pic estival (dimanche 11 avril après-midi) et 5970 usagers pour le pic hivernal (dimanche 30 mai après-midi) ce qui se traduit par une densité moyenne sur la plage de 358,7 usagers/ha en été et 367,2 usagers/ha en hiver pour le site très fréquenté de l'Ermitage (figure 4).

Figure 4. Répartition de la fréquentation des plages et des différentes activités recensées. Les zones les plus fréquentées correspondent aux plages qui disposent d'une zone de baignade et sont souvent équipées en postes de maîtres-nageurs sauveteurs, toilettes, casse-croûte, etc. La répartition des activités nautiques se superpose à la fréquentation des plages, alors qu'on retrouve les sports de glisse, la pêche ou la plongée sur des sites différents, réunissant les conditions nécessaires à leur pratique (conditions de la mer, ressources halieutiques, esthétique des paysages sous-marins).



Source : A. Lemahieu *et al.*, 2012.

25 La fréquentation des plages (par les usagers des plages et des zones de bain) se répartit de façon inégale du nord au sud de la réserve (figure 4). On distingue 3 catégories de zones plus particulièrement attrayantes :

- Les sites de Boucan-Canot et de Roche-Noires au nord, qui sont des plages ouvertes sans barrière récifale, et située en contexte urbain pour la dernière. Ils disposent des plages les plus larges de la réserve (jusqu'à 55 mètres de large pour Boucan-Canot), d'un poste de Maître-Nageur Sauveteur (MNS) chacun et de nombreux casse-croûte. Les stationnements y sont peu nombreux et/ou distants du site. On y enregistre une moyenne de 350 personnes sur la plage au kilomètre linéaire, et 88,7 dans la zone de bain pour une densité maximale observée de 96,4 usagers/km<sup>2</sup> pour Boucan-Canot, et 394,4 personnes et 131,4 usagers des baignades en moyenne par kilomètre linéaire pour le site de Roches Noires pour une densité maximale de 193 usagers/km<sup>2</sup>.
- Les zones de l'Ermitage, la Saline et Saint-Leu dans la partie médiane de la réserve, qui se caractérisent par de grandes arrière-plages ombragées, un estran de largeur plus faible (entre 20 et 35 mètres), un récif corallien frangeant pourvu d'une DAR propice à la baignade, ainsi que de plusieurs postes de MNS et casse-croûte. Les stationnements sont généralement attenants à la plage et offrent de grandes capacités, à l'exception de Saint-Leu qui est une plage en contexte urbain. On compte en moyenne pour la zone la plus fréquentée de l'Ermitage 453,5 personnes au kilomètre linéaires et 118,6 baigneurs en moyenne en 2010

pour une densité maximale de 367,2 usagers par km<sup>2</sup>. Il s'agit du site qui enregistre les plus fortes pressions humaines au sein de la réserve.

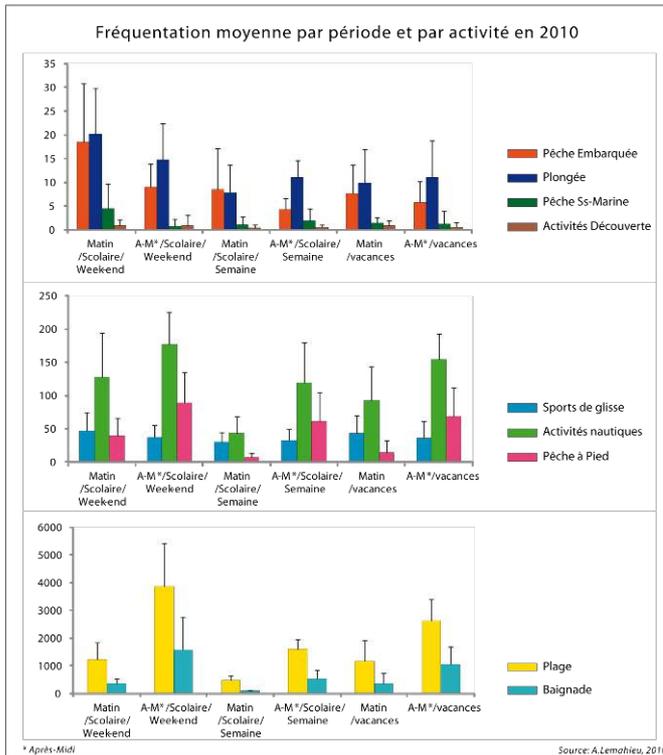
- La zone de l'Etang-Salé, qui contrairement aux sites précités, offre une plage de sable noir basaltique plus difficilement praticable en été à cause de la chaleur qui y est accumulée. Une plus grande partie de la plage dont l'estran est le plus large au sein de la réserve (jusqu'à 65 mètres) est dépourvue de récif corallien et ouverte sur le large, alors que sa partie méridionale correspondant au « Bassin Pirogues » offre les mêmes caractéristiques que les plages de l'Ermitage, à savoir un récif frangeant et une DAR propices à la baignade. Sa proximité à la ville, la présence des habitations en fait une plage en contexte urbain, tout comme le site Saint-Leusien, bien qu'elle dispose de stationnements de grandes capacités plus ou moins à proximité. Ce site enregistre un nombre moyen de 94,8 personnes sur la plage et 23,51 baigneurs au kilomètre linéaire pour une densité maximale de 63,3 usagers/km<sup>2</sup>.

26 Le constat est unanime que les usagers d'un site naturel auront tendance à se concentrer sur les sites offrant les meilleures aménités (type de plage, ombre, etc.) (Deacon et Kolstad, 2000 ; Dormois *et al.*, 2000 ; Mirault, 2006). Ainsi leur choix sera dicté par la « beauté du site » (45 % des réponses), la « qualité de la baignade » (23,9 % des réponses) ou « l'ombre » existante sur le site (22,9 %) (Mirault, 2006). Sur les 44 kilomètres de côtes que compte la Réserve du Cap la Houssaye à l'Etang-Salé, 15 kilomètres sont des plages de sable blanc corallien, et 5 kilomètres des plages de sable noir basaltique. En moyenne, 90 % des usagers se concentrent sur les plages de sable, dont 80 % sur les plages de sable blanc. Par ailleurs, 50 % des usagers se répartissent systématiquement entre 4 sites : Etang-salé nord, Boucan-Canot, Ermitage Sanctuaire et Saline Nord (10 % du linéaire côtier) à proximité des zones de protection intégrale<sup>10</sup> de la réserve. Ainsi, lorsque 9425 usagers sont recensés le jour de pic du dimanche 11 avril 2010 à 16 h, plus de la moitié se répartissent sur moins de 5 kilomètres de plage ce qui représente une pression très localisée non négligeable.

27 À l'exception des activités nautiques, qui se pratiquent généralement sur le récif et dont la présence plus ou moins accentuée fait écho à la répartition des usagers sur les plages (Ermitage, Saline, Boucan-Canot et Saint-Leu), le reste des activités marines n'obéit pas aux mêmes lois de répartition. Les facteurs qui vont déterminer leur présence sur un site sont tout autres : présence d'un port, courantologie, vent, présence de vagues et ressources halieutiques. Ainsi, on assiste à la « spécialisation » de certains sites dans une ou deux catégories d'activités. L'activité de pêche à pied traditionnelle est plus particulièrement représentée sur les portions de linéaire côtier rocheux, où la pêche est autorisée<sup>11</sup>, comme c'est le cas pour le Cap la Houssaye au nord de Boucan-Canot (9,1 pêcheurs par vol), ou pour la Pointe au Sel à Saint-Leu (4,14 par vol). On retrouve cette répartition chez les pratiquants de pêche sous-marine, néanmoins peu représentés du fait de la réglementation de la réserve, très contraignante pour cette activité (0,23 par vol au Cap la Houssaye et 0,47 à Pointe-au-Sel). La plongée se pratique préférentiellement sur les sites de Cap Champagne, au nord de Boucan-Canot (2,2 bateaux par vol) et de Saint-Leu Sud (2,4 bateaux par vol). Cette répartition privilégiée implique d'importantes pressions sur ces sites où l'on peut recenser des maximums de 8 bateaux à Saint-Leu et 7 à Cap Champagne. À l'échelle de la réserve, le maximum recensé est de 27 bateaux lors du vol du 29 mai à 10 h. Les activités de découverte vouées essentiellement à l'observation du milieu marin et des cétacés restent à proximité du port de Roches Noires afin d'optimiser la journée et maximiser le nombre de sorties, aussi les retrouve-t-on surtout entre

Boucan-Canot et l'Ermitage. Enfin, les sports de glisse, plus particulièrement le surf qui représente 97 % des usagers de cette catégorie, se pratiquent dans 3 principaux spots : Roches Noires (19,3 surfeurs par vol), Trois-Bassins qui abrite une passe propice à la pratique (28,5 par vol) et l'Etang-Salé (26,7 par vol) (figure 4).

Figure 5. La répartition temporelle de chaque activité. La fréquentation globale est plus importante en période de vacances scolaire, le matin pour les activités de pêche et les activités de découverte du milieu marin, et l'après-midi pour la fréquentation balnéaire et plagique.



Source : A. Lemahieu *et al.*, 2012

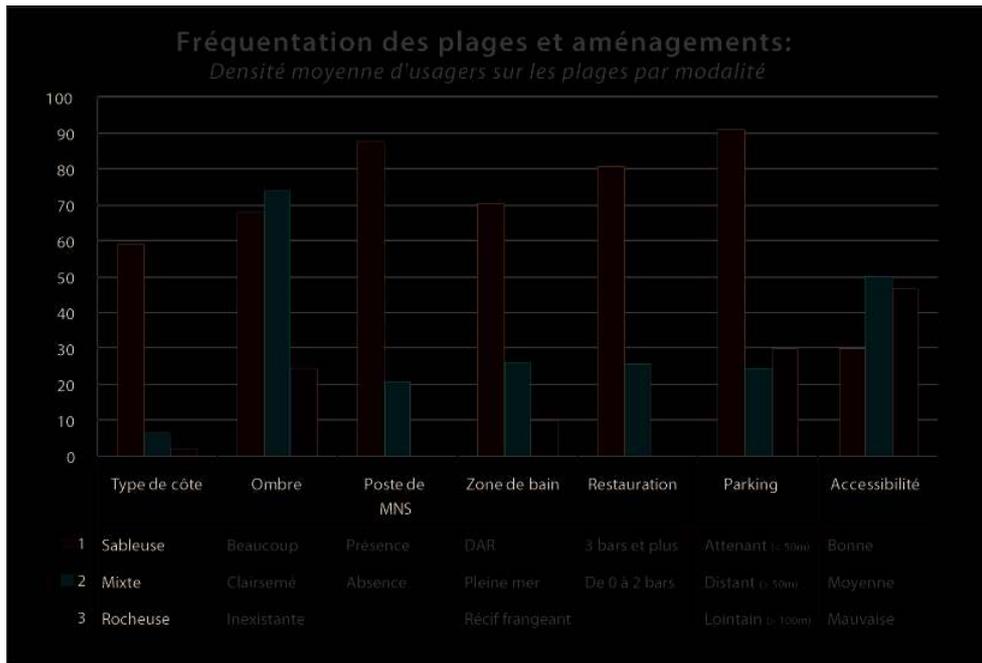
- 28 Dans la répartition temporelle des différentes activités, on peut distinguer plusieurs effets : l'effet période scolaire/vacances, l'effet semaine/week-end et l'effet matin/après-midi. L'ensemble des activités est plus représenté en période scolaire durant les week-ends qu'en période de vacances. On observe une présence plus marquée des activités dites « directes » qu'elles soient extractives (activités de pêche) ou non (activités de découverte) le matin de week-end en période scolaire (en moyenne, 18,6 bateaux de pêche, 20,1 bateaux de plongée, 4,4 pêcheurs sous-marins et 47,4 pêcheurs à pied). Les activités à connotation de loisirs, quant à elles, sont davantage représentées les après-midi de week-end en période scolaire (177,1 sports de glisse, 89,3 activités nautiques, 3878,1 personnes sur la plage et 1565,6 baigneurs). Néanmoins, pour certaines activités, les scores moyens enregistrés durant les vacances restent importants puisqu'ils atteignent une moyenne de 153,8 pratiquants de sports de glisse, 2617,4 personnes sur la plage et 1054,6 baigneurs durant les après-midi. Une seule activité reste significativement présente durant les matinées en vacances : la pêche à pieds traditionnelle (43 pêcheurs en moyenne) (figure 5). Toutes strates confondues, on compte en moyenne 3 fois plus d'activités de loisirs et 0,7 fois moins d'activités « directes » l'après-midi par rapport au matin. Seules les activités de découverte sont également représentées le matin et l'après-midi.

## Discussion

### Des pressions localisées

- 29 Les usagers des plages, « plageurs » et baigneurs » tendent à se concentrer dans les espaces offrant les meilleures aménités : plages de sable corallien, DAR, récif corallien offrant aux potentiels pratiquants de palmes-masque-tuba de paysages sous-marins d'intérêt, arrières-plages ombragés, etc. Mais les aménités ne peuvent expliquer à elles seules la répartition de la fréquentation des plages. Même si la morphologie de la côte apparaît comme un facteur prédominant, la proximité des équipements (stationnement, toilettes), la bonne accessibilité<sup>12</sup> ou la présence de services (poste de maître-nageur sauveteur) ont également un poids dans la présence des usagers dans les différentes zones (figure 6). En effet, si pour des aménités communes, certains sites demeurent néanmoins moins fréquentés que d'autres (Ermitage sanctuaire et sud > Ermitage nord) cela s'explique souvent par d'autres avantages comparatifs (ici, présence d'un poste de Maître-nageur sauveteur et de bars). En 2006, 60 % des enquêtés préfèrent le site de l'Ermitage pour la sécurité de la baignade (poste MNS, absence de courants et de requins), puis Saint-Leu en second choix (20 % et enfin Trou d'eau (17 %). Les aménagements ont aussi un poids dans cette répartition. Déjà en 2006, 41 % des enquêtés disaient préférer le site de l'Ermitage pour les facilités de stationnement (puis Saint-Leu 33 % et la Saline 23 % ) (Mirault, 2006). Ces sites très fréquentés s'avèrent être pour une bonne partie d'entre eux, à proximité des zones sanctuaires de protection intégrale. Historiquement, lors de la création de la réserve marine en 2007, une très longue et tumultueuse concertation en amont (2004-2007) entre scientifiques, différents acteurs et une dizaine de groupes d'usagers a finalement abouti en août 2007 au balisage, entre autres zones, des « zones sanctuaires » (Thomassin, 2011). Ces dernières correspondent à des zones qui étaient déjà fortement appréciées et fréquentées par les usagers (plageurs, baigneurs et pratiquants d'activités nautiques) durant la période d'avant-réserve. Il donc peu envisageable qu'on assiste à un « effet zone sanctuaire » qui déterminerait la présence de nombreux usagers sur leurs abords, mais plutôt à une persistance des pratiques.

Figure 6. La densité moyenne croisée avec les paramètres morphologiques, d'accessibilité, de services et d'équipement sur la présence des usagers. On observe un effet significatif de la présence de postes de MNS, de la qualité sableuse de la côte, de la présence d'une zone de baignade de type DAR, et des différents services dans la répartition des personnes sur les plages au sein de la RNMR



. Source : A. Lemahieu *et al.*, 2012

- 30 Chaque usage a son territoire privilégié de pratique, lequel est contraint à la fois par la réglementation, la morphologie, la météorologie ou encore les aménagements. Du Cap la Houssaye à Trois-Bassins, on dénombre 19 sites de plongée dont la moitié se concentre entre le Cap la Houssaye et Cap Champagne. Le caractère attrayant de ces sites réside non seulement dans leur proximité au port (27 minutes de bateau), mais également dans leur qualité esthétique grâce à un relief sous-marin atypique, particulièrement au Cap Champagne. Ce constat reste valable pour les sites de Saint-Leu Sud situés à 10 minutes de trajet en bateau depuis le port Saint-Leusien (Mirault, 2006). De même, on retrouve les pratiquants de surf dans les zones de passe ou de fausses passes telles que la passe de Trois-Bassins, la passe de l'Etang-Salé, ou sur les zones de pente-externe qui favorisent le déferlement des vagues. À La Réunion, on peut distinguer les vagues de récifs-barrières, souvent accessibles par des passes (spot de Saint-Leu gauche, spot de la passe de l'Ermitage), et les vagues de récifs frangeant, contexte dans lequel la hauteur d'eau sera déterminante pour la pratique (Boucan-Canot, Roche-Noire). La particularité des activités de plongée sous-marine et de surf est leur sédentarité sur des sites réunissant les conditions optimales pour leur pratique ou dont l'établissement n'a jamais été remis en question. Tout l'enjeu qui se noue autour de ces usages potentiellement impactants (Rouphael et Inglis, 1997, Hawkins et Roberts, 1993, 1994) est relatif aux dégradations que pourrait induire une surfréquentation des sites, et doit pousser les gestionnaires à réfléchir aux stratégies de réduction des impacts, par exemple par l'implantation de nouveaux sites de plongée. Ce type d'option reste moins envisageable pour le surf, davantage dépendant des conditions physiques du milieu.

## La fréquentation en période scolaire plus importante

- 31 Le constat que les scores de fréquentation les plus importants se situent pendant les week-ends en période scolaire peut s'expliquer de plusieurs façons. Le tourisme, qui est en constante hausse à La Réunion depuis 2006, connaît des pics aux mois de novembre et avril<sup>13</sup>, comme identifié dans cette étude. Le fait que 80 % des touristes proviennent de métropole, et que le calendrier scolaire métropolitain coïncide avec ces pics (vacances de la Toussaint du 10 au 26 avril 2010 pour la zone A). Par ailleurs, les conditions météorologiques peuvent aussi constituer un paramètre déterminant puisqu'à cette période, La Réunion sort de la saison pluvieuse. Aussi, la population locale contribue à augmenter les scores de fréquentation à cette période. Durant les week-ends de vacances scolaires, la majeure partie des activités qui répartissent en deux groupes distincts : les usages du matin, et ceux de l'après-midi. Les activités « directes » liées à la pêche (pêche embarquée, pêche sous-marine et pêche à pied) sont plus fortement représentées le matin. Au nombre de pêcheurs professionnels viennent s'ajouter les pêcheurs amateurs du week-end, ce qui peut expliquer que cette catégorie soit plus représentée le week-end par rapport aux matinées de semaine. Les activités qui sont plus représentées l'après-midi correspondent à toutes les activités de loisirs ou « usages semi-directs » (sports de glisse, activités nautiques, baignade et plage). Cette prédominance de la strate temporelle « week-ends en période scolaire » démontre que les sorties à la plage sont fortement associées au week-end pour de nombreux Réunionnais, ce qui n'a pas toujours été le cas. Les Réunionnais ont longtemps tourné le dos à la mer, et, les activités halieutiques ont toujours eu un rôle secondaire dans l'histoire de La Réunion, mais des bouleversements dans les pratiques se sont opérés après la départementalisation, avec l'arrivée de nombreux métropolitains (Mirault, 2006).
- 32 On observe que ce schéma de répartition global se répète dans le temps, d'une mission sur l'autre. Des premiers tests réalisés à partir des résultats de 2010 ont laissé entrevoir la possibilité d'une modélisation de la fréquentation spatio-temporelle. Les tests de corrélation réalisés à partir des 48 vols entre tous les secteurs pour les activités plage et baignade, ont permis d'identifier un lien significatif entre les secteurs les plus fréquentés de la réserve. En effet, de nombreuses zones de plages sont fortement corrélées entre elles ( $0,6 < r^2 > 0,98$ ,  $n=48$ ), et se trouvent être les plages les plus fréquentées. Cette relation ne répond pas systématiquement à une règle de proximité, ni à des critères géomorphologiques spécifiques communs (type de plage) puisque certains sites sont opposés sur ces deux paramètres (par exemple Boucan Canot et sa plage de sable blanc se trouvent au nord de la réserve et le site de l'Etang-Salé et sa plage de sable noir se trouvent à l'extrême opposé au sud). Elle s'expliquerait plutôt par une configuration similaire des sites concernés, en termes d'aménagements et de services que les plages ont en commun (stationnement, bars, postes MNS, etc.). Le traitement des nouvelles données acquises en 2011 et 2012 va accroître l'échantillonnage et permettre ainsi la construction des bases protocolaires d'analyses statistiques permettant de suivre l'évolution et les tendances de la fréquentation d'une année sur l'autre. Ces nouvelles données devraient permettre également de vérifier si le modèle spatial évoqué précédemment se maintient suite à la recrudescence des attaques de requins en 2011, des épisodes de pollution du lagon à Saint-Leu en 2012 et des arrêtés municipaux de baignade résultants. En outre, les données 2011 et 2012 devraient permettre de cerner les seuils de saturation des sites les plus fréquentés, à savoir un report d'usagers sur des plages habituellement peu ou pas

fréquentées lors d'un pic. En 2006, 18 % des usagers enquêtés déclarent préférer les sites peu fréquentés (7<sup>e</sup> critère cité par les enquêtés ; Mirault, 2006).

## Avantages et limites de la méthode aéroportée

- 33 Les vols ont d'abord été programmés à 8h durant toute la période estivale (janvier-avril) puisque l'un des objectifs du gestionnaire était de mieux cerner les dynamiques spatio-temporelles de l'activité de pêche à pied traditionnelle. Cette activité puise en effet dans les ressources du récif et implique que le pêcheur peut être amené à piétiner le récif afin d'arriver au plus près de la barrière de corail. Elle demeure donc encore aujourd'hui l'un des points noirs du gestionnaire en termes de conflit d'usages et d'acceptation de la réserve (Thomassin et David, 2008). Les mesures de suivi au sol (cycles journaliers), menées parallèlement aux survols, ont permis d'établir que le nombre de pêcheurs à pied était égal, voire supérieur au créneau de 10 heures, par rapport à celui de 8 heures. Par ailleurs, de nombreuses autres activités étant plus représentées à 10 heures (fréquentation des plages, activités nautiques, plongée), le choix a été fait de décaler l'horaire de vol du matin de 8 heures à 10 heures afin de mieux optimiser le vol matinal. Aussi, cette résolution rend la comparaison entre vols matinaux d'été et d'hiver peu fiable, et toutes les figures et l'ensemble des calculs statistiques présentés dans cet article ont été réalisés en tenant compte de ce biais. Les données de la côte à la pente externe ont été agrégées pour avoir un meilleur aperçu de la spécialisation de chaque site (figure 4). Les moyennes ont été réalisées à partir des données matinales d'hiver uniquement (12 répliques) et des données estivales et hivernales de l'après-midi (24 répliques).
- 34 La combinaison des outils ULM et appareil photographique tend à se répandre dans le domaine du suivi des populations humaines ou fauniques, mais son application en milieu corallien est plus exceptionnelle (Smallwood *et al.*, 2011) à plus forte raison lorsqu'il s'agit de recenser tous les usages (Lemahieu *et al.*, 2010). Ces outils permettent de répondre à l'impératif de reproductibilité pour le gestionnaire (Tasker *et al.*, 1984), moyennant un budget alloué à cette fin (150 euros par vol). Les conditions météorologiques et la disponibilité du pilote d'ULM sont deux contraintes auxquelles nous avons dû faire face et qui ont modifié notre plan d'échantillonnage initial. Aussi, si certains survols ont dû être reportés du fait de mauvaises conditions météorologiques, 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. Ainsi, aucun vol n'a pu être réalisé en février durant lequel de nombreux épisodes de fortes pluies tropicales ont été enregistrés d'une part, et des travaux sur la piste d'ULM ont été réalisés d'autre part. Toutes les données utilisées pour la production de résultats statistiques ou de cartes sont issues de vols réalisés dans de bonnes conditions, de « très ensoleillé » à « nuageux avec éclaircies ».

Figure 7. Illustration du biais de visibilité dû au rayonnement oblique matinal et de l'ombre portée des filaos : à 16 h à gauche et à 10 h à droite sur la plage de l'Ermitage.



Source : A. Lemahieu,

Clichés du 18 mars 2010 à 15h50 gauche, et du 21 mars 2010 à 10h45 à droite.

- 35 La méthode comporte d'autres biais intrinsèques à l'utilisation de l'outil photographique et de l'ULM. Les photographies ne sont pas de qualité constante et de ce fait le comptage comporte un biais inhérent à la résolution du cliché. En outre, cette méthode ne permet pas, contrairement à une méthode de comptage au sol, de prendre en compte les populations d'usagers qui se trouvent en arrière-plage. En 2010, une campagne de comptage au sol menée parallèlement aux vols (36 missions dont 15 simultanément aux vols) et intégrant des comptages journaliers (tous les 3/4 d'heure) de l'arrière-plage au platier a permis de déterminer qu'une forte corrélation<sup>14</sup> existait entre la fréquentation d'arrière-plage et la plage. Par ailleurs on a pu déterminer que les comptages au sol dénombraient 1,1 fois plus d'usagers que depuis l'aéronef (n=15). À partir de ce constat, une estimation des valeurs en arrière-plage avec quantifications des marges d'erreur pour les quelques sites présentant une même configuration peut être envisageable. La méthode au sol contribue dans ce cas présent à rendre la méthode aéroportée plus autonome. Néanmoins, dans la perspective d'obtenir des données journalières sur un site donné, la méthode au sol devient indispensable. La diversité des problématiques pouvant être abordées fait que ces deux méthodes trouvent une utilité et une complémentarité à travers le thème de la fréquentation.
- 36 Enfin, la méthode de suivi comprend d'autres biais, de visibilité, de disponibilité des sujets au moment du passage de l'appareil (parasols, usagers sous l'eau), et de perception (Cook et Jacobson, 1979 ; Quang et Lanctot, 1991 ; Certain et Bretagnolle, 2008) dont l'effet tient dans une sous-estimation de la fréquentation. Caughley (1977) avait estimé qu'en écologie, 50 à 60 % des sujets n'étaient pas comptabilisés du fait de ces biais méthodologiques. L'ombre portée des végétaux sur la plage le matin (rayonnement d'est) a aussi pour conséquence une sous-estimation des usagers des plages lors des vols matinaux (figure 7). Pour toutes ces raisons, certaines méthodes, en écologie notamment, privilégient parfois le recours à deux observateurs embarqués pour les méthodes de suivi linéaire en aéronef afin de réduire un biais de sous-estimation (Marsh et Sinclair, 1989 ; Alpizar-Jara et Pollock, 1996).
- 37 Il n'en demeure pas moins que la méthode ULM présente l'avantage de ne requérir qu'un seul observateur ce qui, tout en excluant le biais inter-observateur (Cook et Jacobson, 1979 ; Lemahieu *et al.*, 2010), représente un argument non négligeable pour un gestionnaire. Une comparaison des méthodes aéroportée et au sol, qui avait permis en 2010 de mettre en avant les coûts-avantages comparatifs de chaque méthode, avait abouti

à la conclusion que les coûts de revient de chaque méthode se valaient pour une portion de plage donnée (Lemahieu *et al.*, 2010), à la différence près que la méthode aéroportée permet de couvrir de grands espaces tout en requérant peu de temps et de main-d'œuvre. Par ailleurs, l'originalité de cette méthode réside dans la résolution de sa typologie des usages puisque pas moins de 10 catégories d'usages terrestres et marins sont recensées lorsque la plupart des études ne prennent pour objet d'étude qu'une seule activité (Bertrand, 2000 ; Robert *et al.*, 2008 ; Jollit, 2010) ou au mieux une activité et ses sous-catégories telles que la pêche (Le Berre *et al.*, 2010 ; Smallwood *et al.*, 2011). En outre, aucune étude ne propose une résolution temporelle aussi élevée pour étudier les pressions humaines sur le littoral récifal aux heures de pointe. Smallwood et ses collègues (2011) ont réalisé une campagne isolée de 34 vols à l'échelle d'une année pour le suivi des bateaux sur le récif de Ningaloo en Australie, mais elle n'a pas été reproduite d'une année sur l'autre.

Tableau 2. Marges d'erreur intra et inter-observateur(s).

	Observateur 1	Observateur 2	Observateur 3	Moyenne inter-observateur	Ecart-type inter-observateur	% d'erreur inter-observateur
Comptage 1	432	453	448	444,33	10,97	2,47
Comptage 2	470	429	457	452,00	20,95	4,64
Comptage 3	451	496	459	468,67	24,01	5,12
Moyenne intra-observateur	451	459,33	454,67			
Ecart type intra-observateur	19	33,95	5,86			
% d'erreur intra-observateur	4,21	7,39	1,29			

Source : A. Lemahieu *et al.*, 2012

- 38 Les post-comptages manuels sur photographies 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. Afin de quantifier ce biais, une même zone a été soumise au comptage de trois observateurs différents. Trois comptages successifs pour une même zone et par un même observateur ont permis d'estimer une marge d'erreur variable selon le sujet, de 1,29 à 7,39 % (Marge d'erreur intra-observateur). En outre cette marge d'erreur qui pour un même observateur augmente du premier comptage au troisième comptage (tableau 2), est également valable d'une année sur l'autre et devra faire l'objet d'une quantification.

## Un outil de la gestion

- 39 Smallwood *et al.* (2011) constatent que les protocoles développés au sein des AMP ne correspondent pas, ou peu, aux attentes des gestionnaires, car ils ne permettent pas de cerner la variabilité spatiale et temporelle de la pression et produisent des données souvent inaccessibles. Afin de pallier ces lacunes, le protocole développé ici dans la perspective d'être reproduit d'une année sur l'autre est le fruit d'une collaboration entre

chercheurs et gestionnaires. D'une part, il permet d'apporter et actualiser annuellement une information quantitative rigoureuse à des schémas spatiaux et temporels de répartition pour chaque activité, ce qui devrait aboutir à la définition d'un échantillonnage de vol réduit et optimisé afin de garantir sa reproductibilité par le gestionnaire. En effet, les coûts actuels (150 euros par vol) et le temps de traitement des données demandent un investissement trop élevé pour que le protocole soit intégrable au plan de gestion et nécessitent un ré-échantillonnage sur mesure.

- 40 En outre, ce protocole s'est avéré être un outil de détection et de spatialisation des infractions à la réglementation de la réserve par les nageurs, pratiquants de PMT, chasseurs sous-marins. Il est à noter que plus de la moitié de ces infractions est commise au sein des zones intégrales de protection situées à proximité des zones les plus fréquentées (zones sanctuaires de l'Ermitage et de la Saline). Les données produites peuvent également être analysées à travers le prisme des conflits d'usages, et permettre de valider ou d'améliorer les outils juridiques délimitant les territoires de pratique de chacun (zonage réglementaire, surveillance). Toutes ces perspectives garantissent l'élaboration future d'indicateurs de pression et de gouvernance durablement intégrables au plan de gestion, et les pistes sont nombreuses (Tessier *et al.*, 2011 ; David, 2011a et b), mais nécessitent l'achèvement et le traitement des 3 années de données (2010-2012). Par ailleurs, cet outil peut contribuer à court terme à l'optimisation des missions de surveillance et sensibilisation, ou à une meilleure allocation des ressources pour les aménagements et les services aux usagers (Pomeroy *et al.*, 2004 ; Griffin *et al.*, 2010).

## Un outil de capitalisation scientifique

- 41 La campagne de comptage en 2010 constitue un point zéro de la fréquentation à l'échelle de la réserve. Cet état initial est à la fois valable pour la fréquentation globale et pour chaque usage, de telle sorte que leur répartition spatio-temporelle pourra faire l'objet d'un suivi sur le long terme. En outre, les données du milieu ont été acquises par les écologistes et les biologistes depuis les années 1980 à La Réunion sur de nombreux transects au sein de la réserve (Tessier *et al.*, 2008), et les problématiques d'impacts parfois abordées (Chabanet *et al.*, 1995), sans que les sources d'impact d'origine anthropique n'aient jamais fait l'objet d'une étude plus poussée. Par ailleurs, par le biais de l'analyse des données en densité de population, cette étude peut contribuer à l'évaluation des capacités de charge, concept controversé, mais dont l'une des composantes cruciales est la quantification des pressions anthropiques (Cazes-Duvat et Pesme, 2002 ; Pereira da Silva, 2002 ; Cole, 2005, Audouit, 2008). L'étude n'a pour l'instant pas porté sur la définition et la quantification des facteurs naturels forçant la fréquentation, mais tous les paramètres météorologiques (vent, température, houle, état du ciel) ont été relevés pour chaque mission, et des analyses statistiques à réaliser à l'échelle des trois années de suivi (2010-2012) devraient permettre de déterminer si un lien significatif se dégage. En outre, dans le cadre du projet CHARC<sup>15</sup> qui a vu le jour suite aux six attaques de requins qui sont survenues sur la côte ouest entre janvier et octobre 2011, les données de fréquentation acquises cette même année (et celle de 2012) devraient contribuer à estimer les enjeux humains et économiques, et à analyser l'effet « crise requin » sur la fréquentation.

## Conclusion

42 À mesure que se créent des aires marines protégées à travers le monde et en France, le territoire de l'homme est amené à se superposer au territoire de la conservation. En effet, de plus en plus d'AMP s'établissent en milieu anthropisé, autour desquels se nouent des nouvelles problématiques de la gestion et de nouveaux enjeux liés à l'amélioration des connaissances des interactions homme-milieu et à l'élaboration d'outils et d'indicateurs dédiés. Pionnier en milieu insulaire récifal, le protocole de suivi de la fréquentation balnéaire à La Réunion initié en 2010 a d'ores et déjà posé les fondements d'un outil reproductible à long terme par le gestionnaire en vue de développer des indicateurs intégrables au plan de gestion. Si cette étude ne prend pas en compte les dimensions comportementales de la fréquentation et n'a de qualitatif que la dissociation des différents usages, elle se trouve tout particulièrement adaptée dans la perspective d'analyse des relations spatiales impact/activités (Smallwood *et al.*, 2011). En effet, le choix de l'outil ULM et la haute résolution temporelle de l'échantillonnage ont permis de dresser un diagnostic de fréquentation spatio-temporel complet (10 catégories d'activités) sur la période concernée, et ce, à l'échelle de la réserve (44 kilomètres de linéaire côtier). Ainsi, les premiers schémas de répartition temporelle et spatiale de la fréquentation issus de cette première campagne de comptage ont mis en lumière une « fréquentation différentielle » dont les logiques de répartition sont dictées par un ensemble de facteurs relevant des aménités du site, des aménagements ou des services, mais dont le poids n'a pour le moment pas encore été quantifié. Le pic de fréquentation enregistré en 2010 est de 9425 usagers, dont une moitié se concentre sur 4 principaux sites : Boucan-Canot, L'Ermitage, La Saline et L'Etang-Salé, soit 10 % du linéaire côtier de la réserve. Cela se traduit par de fortes densités sur les plages pouvant atteindre 367,2 usagers/ha pour le seul site de L'Ermitage. Il est également apparu que les périodes les plus « fréquentées » ne correspondaient pas aux vacances scolaires, mais plutôt aux week-ends en période scolaire. Ce constat, valable pour de nombreuses activités, qu'elles soient « directes » (activités de pêche) ou « semi-directes » (activités de loisir), met en lumière la prédominance dominicale dans les pratiques balnéaires à La Réunion. Ce protocole a entre autres prouvé qu'il pouvait constituer un outil à la gestion sur de nombreux points : spatialisation des différentes activités, des infractions et de possibles projections de fréquentation à partir d'un modèle à venir. Cette campagne 2010 constitue le « point zéro » d'une série de campagnes réalisées sur la période 2011-2012. Afin de garantir sa reproductibilité et à partir des trois années de données, l'échantillonnage initial devra être réduit afin de répondre aux contraintes du gestionnaire en termes de temps et de finances tout en garantissant la mise à jour des indicateurs qui auront été développés à l'issue de cette étude (indicateurs de gouvernance, de pression, d'évolution).

## Remerciements

43 Nos remerciements s'adressent à la RNMR, à l'IRD Réunion, le LGP et l'université Paris 1 pour les financements. Nous remercions également l'entreprise FELIX ULM, la RNMR pour leur accueil et les écogardes pour le partage de leur précieuse expérience.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- Ahamada S., J. Bijoux, L. Bigot, B. Cauvin, M. Koonjul, J. Maharavo, S. Meunier, M. Moine-Picard, J.-P. Quod et R. Pierre-Louis, 2004, Status of the coral Reefs of the South West Indian Ocean Island States, in C. Wilkinson (ed.), Status of coral reefs of the world, 2004, Vol 1., Australian Institute of Marine Science, Townsville, Queensland, Australia, pp. 189-212.
- Allison, W.R., 1996, Snorkeler damage to reef corals in the Maldives Islands. *Coral Reef*, vol. 15, n° 4, Springer Berlin, p. 215-218.
- Alpizar-Jara, R. et K.H. Pollock, 1996, A combination line transect and capture-recapture sampling model for multiple observers in aerial surveys. *Journal of Environmental and Ecological Statistics*, 3,4, pp. 311-327.
- Arnberger, A. et C. Brandenburg, 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.
- Audouit, C., G. David, A. Honegger et D. Puech, 2006, Apports et limites d'une démarche de recherche en co-construction gestionnaires/scientifiques : exemple à partir de deux études de fréquentation sur le littoral languedocien, Actes du colloque international : Interactions, nature-société, analyses et modèles, Cdrom et mise en ligne sur le site du colloque [En ligne], URL : <http://legt.univ-nantes.fr>, 5 p.
- Audouit, C., 2008, L'occupation et la fréquentation liées aux activités récréatives et leurs impacts. À la recherche d'une gestion intégrée du littoral du Languedoc-Roussillon. Université de Montpellier III, Thèse de géographie.
- Bertrand, G., 2000, La pêche sous-marine à La Réunion. Mémoire de Master 2, Université de La Réunion, dir. J.-L. Guebourg, 59 p.
- Brigand, L. et S. Le Berre, 2006, Etude de fréquentation de l'archipel des îles Chausey. Rapport Laboratoire Géomer - Université de Bretagne Occidentale, Conservatoire du littoral, 115 p.
- Brigand, L., S. Le Berre, N. Le Corre et I. Peuziat, 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, [en ligne], URL : [www.atout-france.fr/system/files/04-lbrigand.pdf](http://www.atout-france.fr/system/files/04-lbrigand.pdf).
- Brunet, R., R. Ferras et H. Théry, 2006, Les mots de la Géographie. Dictionnaire critique. Reclus, la documentation française, Paris, 518 p.
- 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.
- Cambert, H., Russo, C., Nicet, J.B., Quod J.-P., 2007, Etude de l'impact de la fréquentation d'aménagements liés à la Réserve Naturelle : le sentier sous-marin de l'Ermitage. ARVAM report for Marine Reserve of Reunion Island, 52 p.
- Coughley, G., 1977, Analysis of vertebrate populations. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y. 234 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*, n° 188, pp. 29-48.
- Chaboud, C. et F.Galletti, 2007, Les aires marines protégées, catégorie particulière pour le droit et l'économie ? *Monde en Développement*, n° 138, pp. 27-42.
- Chaboud, C., F. Galletti, G. David, J. Ferrari, A. Breier, P. Méral et F. Andriamahefazafy, 2008, Regards disciplinaires sur les Aires marines protégées. In Aubertin, C. et Rodary, E. (ed.), *Aires protégées et développement durable*. Marseille, IRD, chapitre 2, p. 55-81.
- Cazes-Duvat, V., 2002, La fréquentation des côtes coralliennes de l'île de La Réunion. *The Journal of Nature*, vol. 14, n° 1, pp. 14-20.
- Cazes-Duvat, V. et J.-O. Pesme, 2002, Étude de capacité de charge des plages des côtes ouest et sud de l'île de La Réunion. Rapport de synthèse pour Région Réunion, 63 p.
- Certain, G., et V. Bretagnolle, 2008, Monitoring seabirds population in marine ecosystem: the use of strip-transect aerial surveys. *Remote sensing of environment*, n° 112, pp. 3314-3322.
- Cole, D.N., 1995, Wilderness management principles: Science, Logical Thinking or Personal Opinion? *Trends, Wilderness Research*, 32(1), p. 6-9.
- Colson, V., 2006, La fréquentation des massifs forestiers à des fins récréatives et de détente par la population wallonne et bruxelloise, *Forêt wallonne*, n° 81, pp. 26-38.
- Conand, F., F. Marsac, E. Tessier et C. Conand, 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 J. Mar. Sci.*, vol. 6, p. 1-16.
- Cook, R.D. et J.O. Jacobson, 1979, A design for estimating visibility bias in aerial surveys. *Biometrics*, vol. 35, n° 4, pp. 735-742.
- 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., E. Mirault, J.-P. Quod et A. Thomassin, 2006, Les concordances territoriales au Coeur 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, [en ligne], URL : <http://letg.univnantes.fr/colloque/actes.htm>.
- David, G. et A. Thomassin, 2008a, *Protocole pour l'étude de la pêche plaisancière à La Réunion*. IRD, St Denis de La Réunion, PAMPA/WP3 et WP4/chantier Réunion/Meth.1, 14 p.
- David, G. et A. Thomassin, 2008 b, *Protocole pour l'étude de la chasse sous-marine à La Réunion*. IRD, St Denis de La Réunion, 2008, PAMPA/WP3 et WP4/chantier Réunion/Meth.2, 13 p.
- David, G., M. Antona, A. Botta, W. Dare, J. Denis, L. Durieux, M. Lointier, E. Mirault et A. Thomassin, 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, Des îles dans les îles : les aires protégées ou comment la gestion environnementale génère des dynamiques fermeture/ouverture des espaces insulaires. In Sevin, O., Seysset, M. (dir.). *Comme un parfum d'îles, Hommage à C. Huetz de Lemps*. Paris, Presses universitaires de la Sorbonne, pp. 367-377.

- David, G., 2011a, Petit voyage autour de la notion de gouvernance des AMP. Brest, PAMPA, WP4, rapport final n° 1, 56 p.
- David, G., 2011b, Les indicateurs de gouvernance des AMP, du concept au tableau de bord. PAMPA, WP4, rapport final n° 2, 19 p.
- DDE, 1982, Enquête de fréquentation des plages de La Réunion. Saint-Denis, DDE, 66 p.
- Deacon, R.T. et C.D. Kolstad, 2000, Valuing beach recreation lost in environmental accidents. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), pp. 374-381.
- Dormois, R. (sous la dir.), Dolle, C., Rocher, A., Schneider, M., 2000, Fréquentation touristique des plages, Odit France, Afit, 53 p.
- Dwight, R.H., M.V. Brinks, G. SharavanaKumar et J.C. Semenza, 2007, Beach attendance and bathing rates for Southern California beaches. *Ocean and Coastal Management*, n° 50, pp. 847-858.
- Faure, G., 1982, Recherche sur les peuplements de sclératinières des récifs coralliens de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien Occidental). Thèse d'état, Université d'Aix-Marseille II, Faculté des sciences de Luminy, 206 p.
- Foucault, A. et J.F. Raoult, 2005, Dictionnaire de géologie. Collection UniverSciences, Dunod éd., 6ème édition. 380 p.
- Guillaume, M., J. Turquet et H. Bruggeman, 2005, « Réseau Récif Réunion » : le blanchissement des coraux à La Réunion en 2005. Rapport APMR, ARVAM, ECOMAR, MNHN.
- Griffin, T., S.A. Moore, G. Crilley, S. Darcy et S. Schweinsberg, 2010, Protected Area Management, Collection and Use of Visitor Data. In: Summary and Recommendations, vol. 1. Sustainable Tourism CRC, Queensland, Australia.
- Hawkins, J.P. et C.M. Roberts, 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. et C.M. Roberts, 1994, The growth of coastal tourism in the Red Sea: present and possible future effects on coral reefs. *Ambio*, vol. 23, pp. 503-508.
- Jean, C., S. Ciccione, K. Ballorain, J.-Y. Georges et J. Bourjeau, 2010, Ultralight aircraft surveys reveal marine turtle population increases along the west coast of Reunion Island. *Oryx*, 44(2), pp. 223-229.
- 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 p.
- Kay, A.M. et M.J. Liddle, 1989, Impact of Human Trampling in Different Zones of a Coral Reef Flat. *Environmental Management*, vol. 13, n° 4, pp. 509-520.
- Le Berre, S., J. Courtel et L. Brigand, 2010, 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 Corre, N., S. Le Berre, M. Meunier, L. Brigand, J. Boncoeur et F. Alban, 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.
- Lemahieu, A., L. Gérard et R. Lecomte, 2010, Elaboration d'un suivi de fréquentation au sein de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Rapport d'étude RNMR, 136 p.

- Masseau, D., 2002, *Météorologie et fréquentation touristique*. Actes du séminaire du 5 juillet 2001, Paris, la Défense, 78 p.
- Meur-Férec, C., 2007, *Entre surfréquentation et sanctuarisation des espaces littoraux de nature*. Espace Géographique, tome 36, Belin, Paris, pp. 41-50.
- 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.
- Mirault, E. et G. David, 2008, *Le rôle structurant des récifs coralliens dans la mise en tourisme du littoral réunionnais*. In Dehoorne, O. et Saffache, P (dir.), *Mondes insulaires tropicaux : Géopolitique, économie et développement durable*. Paris, Ellipses, 2008, dossier n° 4, pp. 80-104.
- Mirault, E. et G. David, 2009, *Fonctions et logiques d'interface des récifs coralliens sur le littoral de La Réunion*. Les Cahiers d'Outre-Mer, n° 248, pp. 571- 588.
- Muhar, A., A. Arnberger et C. Brandenburg, 2002, *Methods for Visitor monitoring in recreational and protected areas: an overview*. Conference Proceedings éd., pp. 1-6.
- Nicet, J.-B. et J. Turquet, 2004, *Réponse à un phénomène de blanchissement corallien observé en 2004 à La Réunion*. Rapport DIREN Réunion, 27 p.
- Nicet, J.-B., H. Cambert et B. Pribat, 2009, *Cartographie du blanchissement corallien à La Réunion en 2009*. Rapport RNMR, 26 p.
- Okamura, H., 2003, *A line transect method to estimate abundance of long-diving animals*. Fisheries science, n° 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.
- Pereira da Silva, C., 2002, *Beach carrying capacity assessment: how important is it?* Journal of Coastal Research, special issue 36, pp. 190-197.
- Pomeroy, R.S., J.E. Parks et L.M. Watson, 2004, *How Is Your MPA Doing? A Guidebook of Natural and Social Indicators for Evaluating Marine Protected Area Management Effectiveness*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Poulin, G., 1980, *La fréquentation différentielle d'une aire de camping en forêt : un indice et une application*. Cahiers de Géographie du Québec, vol. 24, n° 62, pp. 327-336.
- Quang, P.X., Lanctot, R.B., 1991, *A Line Transect Model for Aerial Survey*. Biometrics, n° 47, pp. 1089-1102.
- Robert, S., G. Sillère et S. Lizard, 2008, *Evaluer et représenter le nombre d'usagers sur une plage urbaine (les Ponchettes, Nice)*. Mappemonde, n° 91, [en ligne], URL : <http://mappemonde.mgm.fr/num19/articles/art08305.html>.
- Rodney, J.J., 2000, *From beaches to beach environments: linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia*. Ocean and Coastal Management, n° 43, pp. 495-514.
- Rouphael, A.B. et G.J. Inglis, 1997, *Impacts of recreational scuba diving at sites with different reef topographies*. Biological Conservation, n° 82, pp. 329-336.
- Rowat, D., M. Gore, M.G. Meekan, I.R. Lawler et C.J.A Bradshaw, 2009, *Aerial survey as a tool to estimate whale shark abundance trends*. Journal of experimental Marine Biology and Ecology, n° 368, pp. 1-8.

Sahal, A., 2011, Le risque tsunami en France : contributions méthodologiques pour une évaluation intégrée par scénarios de risque, thèse de Doctorat de Géographie, sous la direction des Pr. F. Lavigne et F. Leone, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 268p. + annexes.

Seber, G.A.F, 1986, A review of estimating animal abundance. *Biometrics*, n° 42, pp. 267-292.

Sidman, C.F., T.J. Fik et B. Sargent, 2004, A Recreational Boating Characterisation for Tampa and Sarasota Bays. Florida Sea Grant Program and Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida, USA.

Smallwood, C.B., L.E. Beckley, S.A. Moore et H.T. Kobryn, 2011, Assessing patterns of recreational use in large marine parks: A case study from Ningaloo Marine Park, Australia. *Ocean and Coastal management*, N° 54, pp. 330-340.

Tasker, M.L., P.H. Jones, T.J. Dixon et B.F. Blake, 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., L. Bigot, P. Chabanet, C. Conand, J.-P. Quod, B. Cauvin et C. Cadet, 2008, Les récifs coralliens de La Réunion : état des lieux et réseau de suivi, *Revue Ecologie (Terre & vie)*, vol. 63, pp. 1-18.

Tessier, E., K. Pothin, L. Bigot, P. Chabanet, P.-G. Fleury, C. Bissery, G. David, A. Thomassin, V. Lemoigne et N. Loiseau, 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.

Thomassin, A. et G. David, 2008, Caractérisation socio-économique de l'état initial de la réserve naturelle marine de La Réunion. *St Clotilde, La Réunion, IRD*, 165 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 de géographie, université de la Réunion, IRD, Dir. G. David et M. Robin, 563 p.

Turquet, J., E. C. Mirault, E. Conand, F. Conand, M. Rard, H. Cambert et J.-P. Quod, 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., R. Garnier, J.-P. Quod, L. Bigot, M. Moyne-Picard, O. Naïm et B. Cauvin, 2003, Réponse au phénomène de blanchissement corallien observé en 2003 à La Réunion. Rapport ARVAM pour le compte de la DIREN Réunion.

Wallmo, K., 2003, Assessment of techniques for estimating beach attendance. Beach sampling report of NOAA, 33 p.

## NOTES

1. Site coraux des Mascareignes : <http://coraux.univ-reunion.fr/spip.php?article19>
2. Institut Français de l'Environnement. Densités calculées à partir des populations des communes littorales.
3. Relief constitué par une coulée volcanique peu inclinée, disséquée par des ravins (Foucault et Raoul, 2005)
4. Cette appréciation ne saurait être valable dans un contexte où le terrain d'étude est très étendu (nécessitant plus d'une heure et demie à parcourir)
5. Code de la santé publique, Article annexe 13-6, URL [<http://www.legifrance.gouv.fr>]

6. 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.
  7. Arrêté préfectoral n° 4038 sur 26 novembre 2007.
  8. 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.
  9. Près de 400 personnes ont été enquêtées au cours de la réalisation de sa thèse (Mirault, 2006).
  10. Une zone de protection intégrale interdit la pratique de toute activité en son sein à moins qu'elle ne soit autorisée par décision préfectorale. Ces dernières, au nombre de 5 dans la RNMR, ont été établies sur des sites à la biodiversité remarquable, mais en proie à une activité intense.
  11. La pêche à pied traditionnelle, ou « à la gaulette » est autorisée, avec ou sans permis, depuis les côtes rocheuses dans les zones dépourvues de récif corallien.
  12. Calcul de l'accessibilité adapté de l'étude de Mirault, (2006) selon un rapport « nombre de voies d'accès/longueur de plage ».
  13. Source : Observatoire Régional du tourisme, URL : <http://observatoire.reunion.fr/accueil.html>
  14. Campagne de comptage menée sur les deux sites de l'Ermitage et l'Etang-Salé qui, bien qu'opposés sur le plan morphologique et distant l'un de l'autre, comportent une arrière-plage, à 10 h (22 répliques) et 15h (14 répliques), ( $r^2 = 0,66$  pour  $n = 22$  pour Ermitage et  $0,68$  pour  $n = 14$  pour l'Etang-Salé ;  $r^2 = 0,83$  pour les seules données matinales pour Ermitage et  $0,78$  pour Etang-Salé) (Lemahieu et al., 2010)
  15. Le projet CHARC (Connaissances de l'écologie et de l'Habitat de deux espèces de Requins Côtiers sur la côte ouest de La Réunion) subventionné par des fonds publics et mené par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et le projet de « taggage » financé par des fonds privés collectés auprès des professionnels de la mer et des commerçants de l'île et soutenu par la FFESSM (Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins).
- 

## RÉSUMÉS

Créée en 2007, La Réserve Naturelle Marine de La Réunion (RNMR) vise à préserver un récif frangeant qui s'étend sur près d'une quarantaine de kilomètres de linéaire côtier sur la façade occidentale de l'île. Rendue fortement attractive par ses nombreux atouts balnéaires, cette côte a été en proie à une urbanisation croissante au cours des dernières décennies. De façon concomitante, l'accroissement de la fréquentation et l'apparition de nouvelles pratiques nautiques ont alimenté la source potentielle d'impacts sur le milieu, ainsi que les risques de conflits. En vue d'apporter un meilleur éclairage sur ces problématiques et parce que la mesure de l'efficacité d'une AMP ne peut désormais plus se cantonner aux seuls indicateurs biologiques du milieu, une vaste campagne nationale visant à développer un cadre méthodologique commun de mesure de la fréquentation maritime a été initiée (Agence des Aires Marines Protégées). C'est dans ce contexte et par le biais de cette étude que la RNMR se pourvoit dès 2010 d'un cadre méthodologique et opérationnel de suivi de la fréquentation afin de développer et d'intégrer à leurs plans de gestion des indicateurs socio-économiques qui serviront, entre autres, à mesurer l'efficacité de la gestion. Entre janvier et juillet 2010, pas moins de 10 catégories d'usages dont les activités de baignade, plage, sports de glisse et pêche ont fait l'objet d'un suivi depuis un Ultra-Léger-Motorisé et à l'aide d'un appareil photographique. 48 vols ont été répartis sur cette période selon une stratification temporelle pré-établie (Été/Hiver, Vacances/Périodes scolaires, semaine/

week-end et matin/Après-midi). Les données ont été intégrées à une Base d'Information Géographique offrant un arsenal d'outils d'analyse spatiale et statistique. Les premiers résultats font état d'une « fréquentation différentielle » dans le temps et l'espace, dont les pics peuvent atteindre près de 10 000 usagers. La moitié des usagers reste concentrée sur une faible portion du linéaire côtier équivalente à 8 % de la longueur totale de la réserve et se répartit sur 4 principaux sites (Boucan-Canot, l'Ermitage, la Saline et Etang-Salé) qui s'avèrent être les plus pourvus en aménités (dépressions d'arrière-récif, sable corallien) et en aménagements (stationnements, bars, maîtres-nageurs sauveteurs). En outre, le protocole de suivi de la fréquentation de la RNMR présente de nombreuses potentialités en termes de gestion et de capitalisation scientifique, lesquelles sont présentées en discussion.

The Natural Marine Reserve of La Reunion (RNMR) was established in 2007 along a weakened fringing reef which extends over forty kilometers along the western coast. These last decades, this latter was submitted to a rapid and dense urbanization, namely due to its attractive seaside assets. Simultaneously, increasing coastal activity and emergence of new practices put new issues forward, such as potential impacts on the environment, and potential conflicts that may occur. Besides, Marine Protected Areas (MPAs) effectiveness cannot longer be evaluated from biological markers only, and socio-economical parameters tend to be taken into account by high national bodies (French Agency for MPA) and managers during management plan development. From 2010, a vast French national campaign was launched to assess socio-economical needs in terms of markers, and to develop a common methodological framework for marine and coastal uses monitoring. Through this study, the RNMR equipped themselves with a methodological and operational framework for uses monitoring in order to develop and integrate markers to their management plans, permitting the measurement of management effectiveness. Between January and July 2010, 14 uses including swimming, beach going, water sports and fishing have been monitored using an ultra-light aircraft and a camera. 48 flights were planned over this period according to a temporal stratification (Summer/Winter, Holidays/School days, week/weekend and morning/afternoon). Data were integrated to a Geographic Information Base offering a range of spatial analysis and statistics tools. Results show a heterogeneous users distribution in time and space which peaks can reach nearly 10,000 users. Half of users remains concentrated on a small portion of the coastline equivalent to 8% of the total coastal length of 44 kilometers and spread over four main sites (Boucan-Canot, Ermitage, La Saline and Etang-Salé) which correspond to the sites the most equipped with amenities (coral-free swimming areas, coral sand) and services (parks, bars, lifeguards). In addition, this uses' monitoring protocol has many potentialities in terms of management and scientific accumulation of learning outcomes, which are set forth in discussion.

## INDEX

**Mots-clés :** Fréquentation littorale, Aire Marine Protégée, île de La Réunion, suivis aéroportés, Systèmes d'Information Géographique, Base d'Information Géographique.

**Keywords :** Coastal uses, Marine Protected Areas, Reunion Island, Aerial surveys, Geographical Information Systems, Geographical Information Database.

**Index géographique :** Asie

## AUTEURS

### **ANNE LEMAHIEU**

UMR Espace-Dev, centre IRD de La Réunion, BP 50172 97492 Sainte-Clotilde Cedex, France ;  
Laboratoire de Géographie Physique, CNRS, 1 place Aristide Briand. FR-92195 Meudon CEDEX.  
Courriel : anne.lemahieu@gmail.fr

### **GWENAËLLE PENNOBER**

UMR Espace-Dev, centre IRD de La Réunion, BP 50172 97492 Sainte-Clotilde Cedex ; France,  
Courriel : gwenaelle.pennober@univ-reunion.fr

### **GILBERT DAVID**

UMR Espace-Dev, centre IRD de La Réunion, BP 50172 97492 Sainte-Clotilde Cedex, France,  
Courriel : gilbert.david@ird.fr

### **FRANCK LAVIGNE**

Laboratoire de Géographie Physique, CNRS, 1 place Aristide Briand. FR-92195 Meudon CEDEX,  
France, Courriel : Franck.Lavigne@univ-paris1.fr

### **KARINE POTHIN**

Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 39 rue du Lagon, Lot. Dayot I, 97434 la Saline-les-Bains  
France, Courriel : karine.pothin@reservemarinereunion.fr ;

### **LÉA GÉRARD**

Réserve Naturelle Marine de La Réunion, 39 rue du Lagon, Lot. Dayot I, 97434 la Saline-les-Bains,  
France, Courriel : lea.gerard@agroparistech.fr